



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MARMOYO TOL SUMO (SURABAYA-MOJOKERTO)
STA.41+400 DENGAN KONSTRUKSI *BOX GIRDER*
*USING TRAVELER***

MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

Dosen Pembimbing 1
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
NIP. 195004031976031003

Dosen Pembimbing 2
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D
NIP. 197003271997021001

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT – RC14-1501

***PLANNING MODIFICATION OF MARMOYO BRIDGE
TOLL SUMO (SURABAYA-MOJOKERTO) STA 41+400
WITH BOX GIRDER CONSTRUCTION USING
TRAVELER***

MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

1st Supervisor
Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA
NIP. 195004031976031003

2nd Supervisor
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D
NIP. 197003271997021001

Department Of Civil Engineering
Faculty Of Civil Engineering And Planing
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN MARMOYO
TOL SUMO (SURABAYA-MOJOKERTO) STA.41+400
DENGAN KONSTRUKSI BOX GIRDER USING TRAVELER**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP. 3113 106 011**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka, DEA (.....)

NIP : 1950 0403 1976 021003

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

NIP : 1970 0327 1997 021001

SURABAYA

JULI, 2016

**MODIFIKASI PERENCANAAN JEMBATAN
MARMOYO TOL SUMO(SURABAYA-MOJOKERTO)
STA. 41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX GIRDER
USING TRAVELER**

Nama Mahasiswa : Mahardika Bagus Purnama
NRP : 3113 106 011
Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka
2. Prof. Tavio, ST. MT. PhD

Abstrak

Jembatan Marmoyo merupakan jembatan yang berada di Tol Sumo (Surabaya-Mojokerto) STA 41+400. Konstruksi jembatan saat ini adalah jembatan beton pratekan I girder dengan lebar 2 x 12,5 m dan panjang 207 m yang terbagi menjadi 7 bentang, 5 bentang dengan panjang 35 m dan 2 bentang dengan panjang 16 m.

Pada Tugas Akhir ini Jembatan Marmoyo tersebut direncanakan ulang dari konstruksi beton pratekan I girder menggunakan konstruksi box girder prestressed segmental. Dengan menggunakan konstruksi box girder ini bentang yang dipakai bisa lebih panjang dan dapat menghemat pilar dari konstruksi yang sebelumnya. Box girder memiliki momen inersia yang tinggi dalam kombinasi dengan berat sendiri yang relatif ringan, karena adanya rongga ditengah penampang sehingga sangat cocok digunakan untuk struktur dengan bentang yang panjang.

Perencanaan jembatan ini dimulai dengan penjelasan mengenai pemilihan latar belakang pemilihan tipe jembatan, perumusan tujuan perencanaan, pembahasan, dan dasar-dasar perencanaan yang mengacu pada peraturan perencanaan pembebanan jembatan RSNI T-02-2005. Setelah itu barulah dilakukan perliminary design dengan menentukan dimensi-dimensi utama pada jembatan. Pada tahap awal perencanaan,

dilakukan perhitungan terhadap struktur sekunder jembatan seperti pagar pembatas. Kemudian menganalisa beban yang terjadi seperti : analisa berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas dan analisa pengaruh waktu seperti creep dan kehilangan gaya prategang.

Kemudian dari hasil analisa tersebut dilakukan kontrol tegangan yang terjadi pada struktur, perhitungan penulangan box, perhitungan kekuatan dan stabilitas struktur, perencanaan bangunan bawah dan tahap yang terakhir dari perencanaan ini adalah metode pelaksanaan jembatan dengan metode balance cantilever using traveler.

Akhir dari perencanaan ini adalah didapat bentuk dan dimensi penampang jembatan yang mampu menahan beban-beban yang bekerja, sehingga didapat suatu struktur jembatan yang aman.

Kata Kunci : modifikasi; jembatan marmoyo; box girder; traveler

**MODIFICATION PLANNING OF MARMOYO BRIDGE
TOLL SUMO (SURABAYA-MOJOKERTO) STA.41+400
WITH CONSTRUCTION BOX GIRDER USING
TRAVELER**

Name : *Mahrdika Bagus Purnama*
NRP : *3113 106 011*
Department : *Civil Engineering FTSP-ITS*
Advisors : *1. Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka*
2. Prof. Tavio, ST. MT. PhD

Abstract

Marmoyo bridge is located in Sumo highway (Surabaya-Mojokerto) STA 41 + 400. This time, construction of the bridge is still prestressed concrete bridge using the I girder with a width of 2 x 12.5 m and a length of 207 m is divided into 7 spans, including five spans with a length of 35 m and two spans with a length of 16 m.

In this final project, Marmoyo Bridges is replan of prestressed concrete I-girder construction using prestressed segmental box girder construction. By using this construction of box girder span longer used refraction and can economize the pillars of the previous construction. Box girder has high momeninersia in combination with its own relatively light weight, because their midst cavity cross section that is suitable for long-span structures.

The bridge planning begins with an explanation of the selection of background bridge type selection, formulation of objectives of planning, discussion, and the basics of planning refers to the planning regulations loading bridge RSNI T-02-2005. After it was done kanperliminary design to determine the dimensions of the main bridge. In the early stages of planning, the calculation of the secondary

structures such as the bridge guardrail. Then analyze the expenses incurred such as: analysis of its own weight, additional dead load, traffic load and analyze the effect of time such as creep and loss of prestressing force.

Then the results of the analysis carried out control voltages that occur in structures, reinforcement box calculation, calculation of the strength and stability of the structure, planning and building under the latter stages of this planning is the method of implementation of the balance cantilever bridge method using a traveler.

At the end of this planning is obtained cross-sectional shape and dimensions of the bridge is able to withstand the loads that work, in order to get a safe bridge structure.

Keywords: modification; Marmoyo bridge; box girder; Traveler

KATA PENGANTAR

Syukur *Alhamdulillah* saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan sesuai dengan yang telah direncanakan. Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik, jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dari penyelesaian Tugas Akhir ini, saya mendapat bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Untuk itu dengan segala kerendahan hati saya menyampaikan puji syukur kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan semua anugerah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Kedua, ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. I Gusti Putu Raka dan Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing 1 dan Pembimbing 2 yang telah membimbing saya dengan baik sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Tidak lupa dan paling utama, Saya ucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada kedua orang tua yang selalu mendoakan dan mendukung saya, baik secara materiil maupun moril. Dan telah memberikan saya kasih sayang dalam keluarga yang sangat harmonis. Dan juga pencapaian ini tentunya tidak akan pernah lepas dari figur panutan seperti beliau-beliau. Terima kasih Ibu dan Ayah

Serta, saya ucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Edijatno selaku Dosen Wali penyusun Tugas Akhir yang telah membimbing saya selama kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember .

Tidak lupa saya ucapkan terima kasih kepada teman-teman seperjuangan saya di jurusan Teknik Sipil Lintas Jalur angkatan 2013 semester genap, yang telah mendukung saya dalam menyelesaikan susunan Tugas Akhir ini. Semoga kita

bisa menjadi keluarga besar Teknik Sipil Lintas Jalur yang kompak dan solid. See you on the top my friends

Terakhir saya ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyelesaian Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan lancar.

Saya selaku penyusun dengan tangan terbuka menerima kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi perbaikan tugas saya di waktu mendatang.

Akhirnya, saya berharap Tugas Akhir ini dapat berguna bagi pembaca, khususnya Mahasiswa jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember . Aamiin.

Surabaya, Juli 2016

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| HALAMAN PENGESAHAN..... | i |
| ABSTRAK..... | iii |
| ABSTRACT..... | v |
| KATA PENGANTAR..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR TABEL..... | xv |
| DAFTAR GAMBAR..... | xix |
| BAB I : PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan..... | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Manfaat..... | 3 |
| BAB II : TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Jembatan..... | 5 |
| 2.1.1 Umum..... | 5 |
| 2.1.2 Pemilihan Tipe Jembatan..... | 5 |
| 2.2 Peraturan Struktur..... | 6 |
| 2.3 Beton Pratekan..... | 6 |
| 2.3.1 Gaya Pratekan..... | 7 |
| 2.3.2 Kehilangan Gaya Prategang..... | 7 |
| 2.3.3 Metode Sistem Prategang..... | 8 |
| 2.4 <i>Precast Segmental Box Girder</i> | 8 |
| 2.5 Balok Statis Tak Tentu..... | 11 |
| 2.6 Desain Tendon..... | 12 |
| 2.7 Struktur Bangunan Bawah..... | 12 |
| 2.8 Abutment..... | 12 |
| 2.9 Pilar..... | 12 |

| | |
|--|-----------|
| 2.10 Pondasi..... | 13 |
| 2.11 Metode <i>Erection</i> di Lapangan..... | 14 |
| BAB III : PRELIMINARY DESAIN | 17 |
| 3.1 Metodologi Tugas Akhir..... | 17 |
| 3.2 Preliminary Desain..... | 18 |
| 3.2.1 Gambar Eksisting..... | 18 |
| 3.2.2 Gambar Rencana..... | 19 |
| 3.2.3 Data Teknis Perencanaan..... | 19 |
| 3.2.4 Peraturan Struktural..... | 20 |
| 3.2.5 Data Bahan Beton..... | 20 |
| 3.2.6 Data Bahan Baja..... | 20 |
| 3.2.7 Tegangan Ijin Bahan..... | 20 |
| 3.2.8 Dimensi <i>Box Girder</i> | 21 |
| BAB IV : STRUKTUR SEKUNDER..... | 29 |
| 4.1 Perencanaan Pembatas Jalan..... | 29 |
| 4.1.1 Data Perencanaan..... | 29 |
| 4.1.2 Penulangan..... | 31 |
| 4.2 Kontrol Terhadap Geser Ponds..... | 33 |
| BAB V : ANALISA STRUKTUR UTAMA..... | 35 |
| 5.1 Analisa Penampang Box Girder..... | 35 |
| 5.2 Analisa Pembebanan..... | 39 |
| 5.2.1 Beban Mati..... | 39 |
| 5.2.2 Beban Hidup..... | 40 |
| 5.2.3 Beban Angin..... | 40 |
| 5.3 Perencanaan Tendon Prategang..... | 42 |
| 5.3.1 Perencanaan Tendon Kantilefer..... | 42 |
| 5.3.2 Perencanaan Tendon Menerus..... | 63 |
| 5.4 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang..... | 86 |
| 5.4.1 Tahap Pertama..... | 86 |
| 5.4.1.1 Perpendekan Elastis Beton..... | 86 |
| 5.4.1.2 Gesekan Kabel..... | 88 |

| | |
|---|------------|
| 5.4.1.3 Slip Angkur..... | 90 |
| 5.4.2 Kehilangan Gaya Prategang Tahap Kedua..... | 90 |
| 5.4.2.1 Rangkak Beton..... | 90 |
| 5.4.2.2 Susut Beton..... | 92 |
| 5.4.2.3 Relaksasi Baja..... | 93 |
| 5.4.3 Perhitungan Kehilangan Prategang Total..... | 95 |
| 5.4.4 Kontrol Setelah Kehilangan Prategang..... | 96 |
| 5.5 Perencanaan Tulangan Utama Box Girder..... | 106 |
| 5.6 Perencanaan Tulangan Geser Box Girder..... | 110 |
| 5.6.1 Perhitungan Gaya Geser..... | 114 |
| 5.6.2 Perhitungan Kemampuan Retak Geser pada Badan..... | 120 |
| 5.6.3 Perhitungan Kemampuan Retak Geser pada Tengah Bentang..... | 120 |
| 5.6.4 Perhitungan Tulangan Geser..... | 124 |
| 5.6.5 Kontrol Kekuatan dan Stabilitas Struktur.... | 124 |
| 5.6.5.1 Kontrol Momen Retak..... | 124 |
| 5.6.5.2 Kontrol Torsi..... | 125 |
| 5.6.5.3 Kontrol Lendutan..... | 128 |
| BAB VI : PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN BAWAH..... | 129 |
| 6.1 Analisa Beban Gempa..... | 129 |
| 6.2 Perencanaan Tumpuan..... | 135 |
| 6.3 Perencanaan Abutment..... | 136 |
| 6.3.1 Pembebanan..... | 136 |
| 6.3.2 Perhitungan beban lalu lintas dan tekanan tanah..... | 140 |
| 6.3.3 Kontrol Stabilitas Abutment..... | 144 |
| 6.3.4 Penulangan Dinding Abutment..... | 148 |
| 6.3.5 Perencanaan Pondasi Abutment..... | 150 |
| 6.3.5.1 Kongfigurasi Pondasi..... | 150 |
| 6.3.5.2 Perhitungan beban vertikal ekivalen..... | 151 |

| | | |
|--|---|------------|
| 6.3.5.3 | Daya dukung aksial berdasarkan uji SPT..... | 154 |
| 6.3.5.4 | Daya dukung aksial berdasarkan kekuatan bahan..... | 155 |
| 6.3.5.5 | Efisiensi <i>Group Pile</i> | 156 |
| 6.3.6 | Perencanaan <i>Pilecap /Poer</i> | 159 |
| 6.3.6.1 | Perhitungan gaya geser arah X..... | 159 |
| 6.3.6.2 | Penulangan <i>Pile Cap</i> | 162 |
| 6.4 | Perencanaan Pilar Jembatan..... | 164 |
| 6.4.1 | Perencanaan <i>Pier Head</i> | 164 |
| 6.4.1.1 | Penulangan Lentur <i>Pier Head</i> | 166 |
| 6.4.1.2 | Penulangan Geser <i>Pier Head</i> | 167 |
| 6.4.2 | Perencanaan Kolom Jembatan..... | 168 |
| 6.4.2.1 | Penulangan Utama Kolom/Pilar..... | 170 |
| 6.4.2.2 | Penulangan Geser Kolom..... | 170 |
| 6.4.3 | Perencanaan Pondasi Pilar..... | 172 |
| 6.4.3.1 | Kongfigurasi Pondasi..... | 174 |
| 6.4.3.2 | Perhitungan beban vertikal ekuivalen..... | 175 |
| 6.4.3.3 | Daya dukung aksial berdasarkan uji SPT..... | 178 |
| 6.4.3.4 | Daya dukung aksial berdasarkan kekuatan bahan..... | 179 |
| 6.4.3.5 | Efisiensi <i>Group Pile</i> | 180 |
| 6.4.6 | Perencanaan <i>Pilecap /Poer</i> | 183 |
| 6.4.6.1 | Kontrol Geser pons pada pilecap..... | 183 |
| 6.4.6.2 | Penulangan <i>Pile Cap</i> | 186 |
| BAB VII : METODE PELAKSANAAN..... | | 189 |
| 7.1 | Umum..... | 189 |
| 7.2 | Prinsip Tahap Konstruksi..... | 189 |
| 7.3 | Prinsip Tahap Stressing..... | 190 |
| 7.4 | Tahap Pelaksanaan <i>Stressing Temporary Tendon (Post Tension)</i> | 190 |
| 7.5 | Tahap Pelaksanaan <i>Stressing Continuity Tendon (Post Tension)</i> | 191 |

| | |
|---------------------|-----|
| BAB VIII : | |
| PENUTUP..... | 193 |
| 7.1 Kesimpulan..... | 194 |
| 7.2 Saran..... | 194 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Tipe Jembatan | 5 |
| Tabel 4.1 Preliminary Box Girder | 27 |
| Tabel 5.1 Perhitungan penampang box girder segmen 15..... | 36 |
| Tabel 5.2 Rekap perhitungan penampang setiap segmen..... | 39 |
| Tabel 5.3 Data Penampang segmen 15 dan 14..... | 43 |
| Tabel 5.4 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 15 | 47 |
| Tabel 5.5 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 14 dan 16..... | 48 |
| Tabel 5.6 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 13 dan 17 | 49 |
| Tabel 5.7 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 12 dan 18..... | 51 |
| Tabel 5.8 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 11 dan 19..... | 52 |
| Tabel 5.9 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 10 dan 20..... | 53 |
| Tabel 5.10 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 9 dan 21 | 54 |
| Tabel 5.11 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 8 dan 22..... | 55 |
| Tabel 5.12 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 7 dan 23..... | 56 |
| Tabel 5.13 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 6 dan 24..... | 57 |
| Tabel 5.14 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 5 dan 25 | 58 |

| | |
|---|----|
| Tabel 5.15 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 4 dan 26 | 59 |
| Tabel 5.16 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 3 dan 27 | 60 |
| Tabel 5.17 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 2 dan 27 | 61 |
| Tabel 5.18 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 1 dan 28 | 62 |
| Tabel 5.19 Tabel beban ekivalen arah tendon | 70 |
| Tabel 5.20 Perpindahan eksentrisitas akibat tendon menerus ... | 72 |
| Tabel 5.21 Tabel Perhitungan kontrol tendon menurus kombinasi 1 | 78 |
| Tabel 5.22 Tabel Perhitungan kontrol tendon menurus kombinasi 2 | 79 |
| Tabel 5.23 Tabel Perhitungan kontrol tendon menurus kombinasi 3 | 80 |
| Tabel 5.24 Tabel Perhitungan kontrol tendon menurus kombinasi 4 | 81 |
| Tabel 5.25 Tabel Perhitungan kontrol tendon menurus kombinasi 5 | 82 |
| Tabel 5.26 Tabel Perhitungan kontrol tendon menurus kombinasi 6 | 83 |
| Tabel 5.27 Tabel Perhitungan kontrol tendon menurus kombinasi 7 | 84 |
| Tabel 5.28 Tabel Perhitungan kontrol tendon menurus kombinasi 8 | 85 |
| Tabel 5.29 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis pada Tahap Kantilefer..... | 87 |
| Tabel 5.30 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis pada Tahap Servis | 87 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 5.31 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Gesekan Kabel pada Tahap Kantilefer..... | 89 |
| Tabel 5.32 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Gesekan Kabel pada Tahap Servis..... | 89 |
| Tabel 5.33 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Rangkak Beton pada Tahap Kantilefer..... | 91 |
| Tabel 5.34 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Rangkak Beton pada Tahap Servis..... | 91 |
| Tabel 5.35 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Susut pada Tahap Kantilefer..... | 93 |
| Tabel 5.36 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Susut pada Tahap Servis..... | 94 |
| Tabel 5.37 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja pada Tahap Kantilefer..... | 94 |
| Tabel 5.38 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja pada Tahap Servis..... | 95 |
| Tabel 5.39 Tabel Kehilangan Prategang Total Tahap Kantilefer..... | 95 |
| Tabel 5.40 Tabel Kehilangan Prategang Total Tahap Servis..... | 96 |
| Tabel 5.41 Tabel kontrol tegangan setelah kehilangan prategang pada tendon kentilefer | 97 |
| Tabel 5.42 Tabel kontrol tegangan setelah kehilangan prategang pada tendon menerus kombinasi 1..... | 98 |
| Tabel 5.43 Tabel kontrol tegangan setelah kehilangan prategang pada tendon menerus kombinasi 2..... | 99 |
| Tabel 5.44 Tabel kontrol tegangan setelah kehilangan prategang pada tendon menerus kombinasi 3..... | 100 |
| Tabel 5.45 Tabel kontrol tegangan setelah kehilangan prategang pada tendon menerus kombinasi 4..... | 101 |

| | |
|--|-----|
| Tabel 5.46 Tabel kontrol tegangan setelah kehilangan prategang pada tendon menerus kombinasi 5 | 102 |
| Tabel 5.47 Tabel kontrol tegangan setelah kehilangan prategang pada tendon menerus kombinasi 6 | 103 |
| Tabel 5.48 Tabel kontrol tegangan setelah kehilangan prategang pada tendon menerus kombinasi 3 | 104 |
| Tabel 5.49 Tabel kontrol tegangan setelah kehilangan prategang pada tendon menerus kombinasi 3 | 105 |
| Tabel 5.50 Tabel Gaya Geser pada Tahap Kantilefer..... | 118 |
| Tabel 5.51 Tabel Gaya Geser pada Tahap Servis..... | 120 |
| Tabel 5.52 Perhitungan retak geser pada badan | 121 |
| Tabel 5.51 Perhitungan kemampuan retak geser pada badan tengah bentang..... | 123 |
| Tabel 6.1 Tabel koefisien situs F_a | 132 |
| Tabel 6.2 Tabel koefisien situs F_v | 133 |
| Tabel 6.3 Tabel niali S_{DS} | 133 |
| Tabel 6.4 Tabel niali S_{D1} | 134 |
| Tabel 6.5 Tabel spektrum respon desain hubungan T dan S_a | 135 |
| Tabel 6.7 Joint reaction beban mati..... | 139 |
| Tabel 6.8 Joint reaction beban hidup..... | 140 |
| Tabel 6.9 Rekapitulasi inersia pada abutment | 142 |
| Tabel 6.10 Rekapitulasi momen terhadap titik O | 145 |
| Tabel 6.11 Perhitungan letak titik berat abutment..... | 146 |
| Tabel 6.12 Perhitungan gaya geser total..... | 147 |
| Tabel 6.13 Rekapitulasi gaya yang terjadi..... | 149 |
| Tabel 6.14 Perhitungan kombinasi 1 | 149 |
| Tabel 6.15 Perhitungan kombinasi 2 | 150 |
| Tabel 6.16 Perhitungan kombinasi 3 | 150 |
| Tabel 6.17 Perhitungan kombinasi 4 | 150 |
| Tabel 6.18 Perhitungan kombinasi 5 | 151 |

| | |
|---|-----|
| Tabel 6.19 Rekapitulasi kombinasi beban..... | 151 |
| Tabel 6.20 Tabel analisa data tanah..... | 155 |
| Tabel 6.21 Tabel konfigurasi tiang pancang | 157 |
| Tabel 6.22 Reaksi pada tiang pancang | 158 |
| Tabel 6.23 Spesifikasi tiang pancang PT.Gemilan Beton Precast..... | 160 |
| Tabel 6.24 Tabel hasil kombinasi pembebanan pierhead... | 169 |
| Tabel 6.25 Tabel hasil kombinasi pembebanan pada kolom | 173 |
| Tabel 6.26 Tabel hasil kombinasi pembebanan pondasi | 176 |
| Tabel 6.27 Tabel hasil kombinasi 1 pembebanan pondasi | 176 |
| Tabel 6.28 Tabel hasil kombinasi 2 pembebanan pondasi | 176 |
| Tabel 6.29 Tabel hasil kombinasi 3 pembebanan pondasi | 177 |
| Tabel 6.30 Tabel hasil kombinasi 4 pembebanan pondasi | 177 |
| Tabel 6.31 Tabel hasil kombinasi 5 pembebanan pondasi | 177 |
| Tabel 6.32 Tabel analisa data tanah | 180 |
| Tabel 6.33 Tabel konfigurasi tiang pancang | 182 |
| Tabel 6.34 Reaksi pada tiang pancang | 183 |
| Tabel 6.35 Spesifikasi tiang pancang PT.Gemilan Beton Precast..... | 185 |

“halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Ilustrasi Sistem Pratarik (<i>Prestension</i>)..... | 9 |
| Gambar 2.2 Ilustrasi Sistem Pascatarik (<i>Posttension</i>)..... | 10 |
| Gambar 2.3 Tipe segmen box girder | 11 |
| Gambar 2.4 Bagian abutment dan pilar yang telah dicor | 15 |
| Gambar 2.5 Pengecoran segmen box girder menggunakan traveler..... | 16 |
| Gambar 2.6 Proses pembuatan segmen box girder | 16 |
| Gambar 2.7 Jembatan yang terhubung | 16 |
| Gambar 3.1 Gambar diagram alir pengerjaan tugas akhir..... | 18 |
| Gambar 3.2 Gambar denah eksisting | 18 |
| Gambar 3.3 Gambar elevasi eksisting..... | 19 |
| Gambar 3.4 Gambar elevasi rencana..... | 19 |
| Gambar 3.5 Tebal pelat kantilefer | 23 |
| Gambar 3.6 Tebal minimum pelat atas | 24 |
| Gambar 3.7 Tebal minimum pelat bawah | 25 |
| Gambar 3.8 Tebal minimum pelat dinding..... | 25 |
| Gambar 3.9 Bentuk jembatan box girder variable depth..... | 27 |
| Gambar 4.1 Penampang pembatas jalan..... | 29 |
| Gambar 4.2 Gambar pembebanan geser ponds | 33 |
| Gambar 5.1 Penampang box girder segmen 15..... | 35 |
| Gambar 5.2 Letak titik berat penampang box girder segmen 15..... | 36 |
| Gambar 5.3 Bentuk pembebanan tahap kantilefer | 42 |
| Gambar 5.4 Hasil pembebanan tahap kantilefer..... | 43 |
| Gambar 5.5 Gambar lampiran strand and tendon properties..... | 44 |
| Gambar 5.6 Gambar tegangan pada joint 16 segmen 15..... | 46 |
| Gambar 5.7 Gambar pemasangan segmen 15 | 47 |
| Gambar 5.8 Gambar pemasangan segmen 14 dan 16..... | 48 |

| | |
|---|----|
| Gambar 5.9 Gambar pemasangan segmen 13 dan 17..... | 49 |
| Gambar 5.10 Gambar pemasangan segmen 12 dan 18..... | 50 |
| Gambar 5.11 Gambar pemasangan segmen 11 dan 19..... | 51 |
| Gambar 5.12 Gambar pemasangan segmen 10 dan 20..... | 52 |
| Gambar 5.13 Gambar pemasangan segmen 9 dan 21..... | 53 |
| Gambar 5.14 Gambar pemasangan segmen 8 dan 22..... | 54 |
| Gambar 5.15 Gambar pemasangan segmen 7 dan 23..... | 55 |
| Gambar 5.16 Gambar pemasangan segmen 6 dan 24..... | 56 |
| Gambar 5.17 Gambar pemasangan segmen 5 dan 25..... | 57 |
| Gambar 5.18 Gambar pemasangan segmen 4 dan 26..... | 58 |
| Gambar 5.19 Gambar pemasangan segmen 3 dan 27..... | 59 |
| Gambar 5.20 Gambar pemasangan segmen 2 dan 28..... | 60 |
| Gambar 5.21 Gambar pemasangan segmen 1 dan 29..... | 61 |
| Gambar 5.22 Gambar beban lalu lintas kombinasi 1..... | 64 |
| Gambar 5.23 Gambar momen akibat beban kombinasi 1..... | 64 |
| Gambar 5.24 Gambar beban lalu lintas kombinasi 2..... | 64 |
| Gambar 5.25 Gambar momen akibat beban kombinasi 2..... | 64 |
| Gambar 5.26 Gambar beban lalu lintas kombinasi 3..... | 64 |
| Gambar 5.27 Gambar momen akibat beban kombinasi 3..... | 65 |
| Gambar 5.28 Gambar beban lalu lintas kombinasi 4..... | 65 |
| Gambar 5.29 Gambar momen akibat beban kombinasi 4..... | 65 |
| Gambar 5.30 Gambar beban lalu lintas kombinasi 5..... | 65 |
| Gambar 5.31 Gambar momen akibat beban kombinasi 5..... | 65 |
| Gambar 5.32 Gambar beban lalu lintas kombinasi 6..... | 66 |
| Gambar 5.33 Gambar momen akibat beban kombinasi 6..... | 66 |
| Gambar 5.34 Gambar beban lalu lintas kombinasi 7..... | 66 |
| Gambar 5.35 Gambar momen akibat beban kombinasi 7..... | 66 |
| Gambar 5.36 Gambar beban lalu lintas kombinasi 8..... | 66 |
| Gambar 5.37 Gambar momen akibat beban kombinasi 8..... | 67 |
| Gambar 5.38 Gambar Grafik momen beban kombinasi..... | 69 |
| Gambar 5.39 Gambar plot eksentrisitas tendon menerus..... | 70 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 5.40 Gambar pola arah gaya tendon | 71 |
| Gambar 5.41 Gambar momen sekunder | 71 |
| Gambar 5.42 Plot perpindahan eksentrisitas | 72 |
| Gambar 5.43 Gambar lampiran strand dan tendon properties..... | 73 |
| Gambar 5.44 Gambar ankur hidup | 74 |
| Gambar 5.45 Gambar ankur mati | 75 |
| Gambar 5.46 Pemodelan dengan CSI bridge V.16..... | 106 |
| Gambar 5.47 Bidang geser akibat beban kombinasi | 111 |
| Gambar 6.1 Gambar peta gempa maksimum Ss | 131 |
| Gambar 6.2 Gambar peta gempa maksimum S1 | 132 |
| Gambar 6.3 Sketsa dimensi abutment | 139 |
| Gambar 6.4 Segmen abutment | 144 |
| Gambar 6.5 Letak titik berat abutment..... | 146 |
| Gambar 6.6 Gambar sket konfigurasi tiang kelompok..... | 156 |
| Gambar 6.7 Gambar sket pembebanan pada pilecap..... | 165 |
| Gambar 6.8 Gambar pier head jembatan..... | 168 |
| Gambar 6.9 Gambar pilar jembatan | 172 |
| Gambar 6.10 Gambar dimensi pilar jembatan..... | 173 |
| Gambar 6.11 Gambar diagram interaksi M dan P kolom pilar jembatan dari PCA Coloumn | 174 |
| Gambar 6.12 Gambar sket konfigurasi tiang kelompok..... | 181 |
| Gambar 6.13 Gambar sket pembebanan pada pilecap..... | 191 |

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan Marmoyo merupakan jembatan yang berada di Tol Sumo (Surabaya-Mojokerto) STA 41+400. Konstruksi jembatan saat ini adalah jembatan beton pratekan *I girder* dengan lebar 2 x 12,5 m dan panjang 207 m yang terbagi menjadi 7 bentang, 5 bentang dengan panjang 35 m dan 2 bentang dengan panjang 16 m. Jembatan ini memiliki 2 abutment dan 5 pilar dimana ada 2 pilar yang berada di aliran sungai.

Pada penulisan Tugas Akhir ini Jembatan Marmoyo tersebut direncanakan ulang dari konstruksi beton pratekan *I girder* menggunakan konstruksi *box girder prestressed segmental*. Dengan menggunakan konstruksi *box girder* bentang yang dipakai bisa lebih panjang dan dapat menghemat pilar dari konstruksi yang sebelumnya. *Box girder* memiliki momen inersia yang tinggi dalam kombinasi dengan berat sendiri yang relatif ringan, karena adanya rongga ditengah penampang sehingga sangat cocok digunakan untuk struktur dengan bentang yang panjang.

Box girder bridge adalah jembatan dengan struktur utama berupa box / kotak yang berlubang. Dibandingkan dengan balok I, *box girder* memiliki keunggulan yaitu (Zhongguo, Tadros, dan Sun 2004) :

1. Lebih kuat menahan torsi.
2. Dimensi box yang lebih besar bisa dibuat, karena dimensi sayap yang lebih lebar dapat menahan berat sendiri lebih besar.
3. Semua permukaan dari penampang terlihat, sehingga memudahkan dalam pengecekan.
4. Dapat digunakan untuk bentang yang panjang.
5. Dimensi badan box dapat dikurangi sesuai dengan penampang yang biasa digunakan. Hal tersebut berdampak pada penghematan pada kebutuhan material beton dan strukturnya lebih efisien.

6. Tidak memerlukan adanya balok melintang pada balok.
7. Mengurangi berat struktur, akan menghasilkan penghematan pada biaya total.

1.2. Rumusan Masalah

Dari penulisan latar belakang diatas, permasalahan utamanya adalah bagaimana merencanakan Jembatan Marmoyo Tol Sumo yang semula menggunakan beton pratekan *I girder* dimodifikasi dengan menggunakan konstruksi *box girder prestressed segmental*. Adapun beberapa permasalahan penunjang yang akan di tinjau antara lain :

1. Bagaimana *preliminary design box girder* ?
2. Bagaimana menentukan skema pembebanan terhadap Jembatan Marmoyo Tol Sumo?
3. Bagaimana analisa perhitungan kekuatan *box girder* untuk menahan gaya-gaya yang berkerja?
4. Bagaimana menganalisa kehilangan gaya prategang yang terjadi pada *box girder prestressed* ?
5. Bagaimana mengontrol desain *box girder prestressed* terhadap kekuatan kesetabilan struktur?
6. Bagaimana merencanakan bangunan bawah jembatan ?
7. Bagaimana menuangkan hasil desain dan analisa kedalam bentuk gambar teknik?

1.3. Tujuan

Adapun beberapa tujuan dari Tugas Akhir ini antara lain :

1. Menentukan *preliminary design box girder*.
2. Menentukan skema pembebanan terhadap struktur Jembatan Marmoyo Tol Sumo.
3. Menganalisa kekuatan profil terhadap gaya-gaya yang bekerja.
4. Menganalisa kehilangan gaya prategang yang terjadi pada *box girder prestressed*.
5. Mengontrol *design box girder* terhadap kekuatan dan kesetabilan struktur.

6. Dapat merencanakan bangunan bawah jembatan.
7. Menuangkan hasil desain dan analisa ke dalam bentuk gambar teknik.

1.4. Batasan Masalah

Adapun beberapa batasan masalah dalam penyusunan Tugas Akhir ini antara lain :

1. Metode pelaksanaan hanya dibahas secara umum.
2. Tidak merencanakan perkerasan dan desain jalan.
3. Tidak memperhitungkan analisa biaya konstruksi dan waktu pelaksanaan.
4. Tidak membandingkan dengan model struktur yang lainnya.
5. Tidak menghitung gempa saat pelaksanaan.

1.5. Manfaat

Beberapa manfaat yang akan diperoleh dari penyusunan Tugas Akhir ini antara lain :

1. Dapat memahami konsep perencanaan struktur jembatan yang menggunakan konstruksi *box girder prestressed*.
2. Dapat dijadikan sebagai alternatif lain dalam teknik perencanaan jembatan dengan bentang yang panjang.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

2.1.1 Umum

Jembatan adalah bagian jalan yang berfungsi untuk menghubungkan antara dua jalan yang terpisah karena suatu rintangan seperti sungai, lembah, laut, jalan raya, dan rel kereta api. Jembatan sangat vital fungsinya terhadap kehidupan manusia, dan mempunyai arti penting bagi setiap orang. Akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagi tiap orang, sehingga akan menjadi suatu bahan studi yang menarik (Bambang supriyadi, 2007).

Jembatan menurut bentangnya terbagi menjadi 3 (Naaman, 1982):

1. Bentang pendek (*Short span*) dengan panjang bentang kurang dari 15 meter.
2. Bentang menengah (*Moderate span*) dengan panjang bentang antara 15 sampai 30 meter.
3. Bentang panjang (*Long span*) dengan bentang lebih dari 30 meter.

2.1.2 Pemilihan Tipe Jembatan

Tabel 2.1 Tipe Jembatan

| Bentang (m) | Tipe Jembatan |
|-------------|--|
| 5-25 | Gelagar |
| 15-40 | Gelagar <i>Prestressed I</i> |
| 30-60 | Gelagar <i>Box Prismatic Section</i> |
| 60-200 | <i>Box Free Cantilever</i> |
| 50-250 | Pelengkung |
| 40-400 | Rangka |
| 100-250 | <i>Cable-Stayed</i> |
| 100-2000 | Gantung |
| 1500-3500 | <i>Hybrid (Gantung plus Cable-Stayed)</i> |

Aspek-aspek pemilihan tipe jembatan (Ari Irianto dan Reza Febriano, 2008) :

- Kekuatan dan stabilitas struktur.
- Ekonomis.
- Kenyamanan.
- Durabilitas (keawetan dan kelayakan jangka panjang).
- Hemat pemeliharaan.
- Estetika.
- Dampak lingkungan pada tingkat yang wajar/minimal.
- Kemudahan dan kecepatan pelaksanaan.

2.2 Peraturan Struktur

1. Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan RSNI T-02-2005 dan SNI T-12-2008.
2. Pedoman perencanaan pembebanan jembatan jalan raya SKBI-1.3.28.1987 Departemen Pekerjaan Umum.
3. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung SNI 2847 2013.

2.3 Beton Pratekan

Beton adalah suatu bahan yang memiliki kuat tekan tinggi tetapi memiliki kuat tarik rendah, sedangkan baja adalah material yang memiliki kuat tarik tinggi. Dengan mengkombinasikan kedua bahan tersebut, diharapkan mendapatkan bahan yang kuat menerima tekan maupun tarik, yaitu tekan diterima oleh beton sedangkan tarik diterima oleh baja (Budiadi, 2008).

Kombinasi yang terjadi dari beton dan baja pada beton prategang merupakan kombinasi aktif. Yaitu dengan menarik baja dengan gaya tertentu yang sudah dihitung dan melepaskannya sehingga membuat beton dalam keadaan tertekan (T.Y Lin dan Burns, 1989).

Beton pratekan yaitu beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja (SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 3.17).

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar akibat *stressing* dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. (T.Y Lin, 1989).

Dengan memanfaatkan momen sekunder akibat *stressing* untuk mengimbangi momen akibat beban luar tinggi komponen beton prategang berkisar antara 65 sampai 80% tinggi komponen beton bertulang pada bentang dan beban yang sama, dengan demikian beton prategang membutuhkan lebih sedikit beton dan sekitar 20 sampai 35% banyaknya tulangan. (Edward G.Nawy, 2001)

2.3.1 Gaya Prategang

Gaya prategang dipengaruhi oleh momen total yang terjadi. Gaya prategang yang disalurkan harus memenuhi kontrol batas pada saat kritis. Persamaan berikut menjelaskan hubungan antara momen total gaya prategang (T.Y Lin, 1988).

$$F=T=\frac{M_T}{e_s \cdot h}$$

Dimana : M_T = Momen total.
 h = Tinggi balok

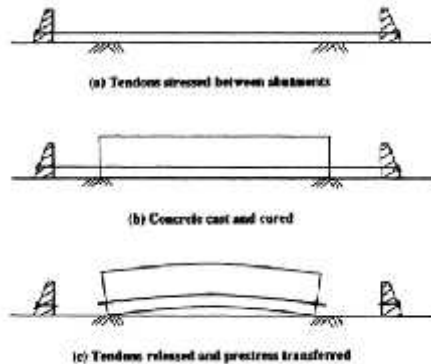
2.3.2 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain (T.Y Lin, 1988) :

- Perpendekan elastis beton.
- Rangkak.
- Susut.
- Relaksasi tendon.
- Friksi.
- Pengangkuran.

2.3.3 Metode Sistem Prategang

- Pre-tensioned Prestressed adalah konstruksi dimana tendon ditegangkan dengan pertolongan alat pembantu sebelum beton mengeras dan gaya prategang dipertahankan sampai beton cukup keras.



Gambar 2.1 Ilustrasi Sistem Pratarik (*Pretension*).

(Sumber :Design of Prestressed Concrete. R.I. Gilbert & N.C. Mickleborough)

Adapun prinsip dari Pratarik ini secara singkat adalah sebagai berikut :

Tahap 1 : Kabel (Tendon) prategang ditarik atau diberi gaya prategang kemudian diangker pada suatu abutment tetap (gambar A)

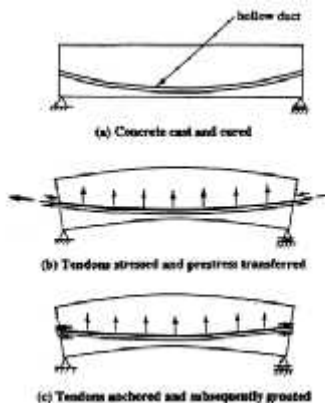
Tahap 2 : Beton dicor pada cetakan (formwork) dan landasan yang sudah disediakan sedemikian sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan mengering (gambar B).

Tahap 3 : Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang,tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton (gambar C).

Setelah gaya prategang ditransfer kebeton,balok beton tersebut akan melengkung keatas sebelum menerima beban

kerja. Setelah beban kerja bekerja, maka balok beton tersebut akan rata

- Post-tensioned Prestressed adalah konstruksi dimana setelah betonnya cukup keras, barulah bajanya yang tidak melekat pada beton diberi tegangan.



Gambar 2.2 Ilustrasi Sistem Pascatarik (*Posttension*)

(Sumber :Design of Prestressed Concrete. R.I. Gilbert & N.C. Mickleborough)

Secara singkat metode ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

Tahap 1 : Dengan cetakan (formwork) yang telah disediakan lengkap dengan saluran/selongsong kabel prategang (tendon duct) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok, beton dicor (gambar A).

Tahap 2 : Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong (tendon duct), kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya prategang. Metode pemberian gaya prategang ini, salah satu ujung kabel diangker, kemudian ujung lainnya ditarik (ditarik dari satu sisi). Ada pula yang ditarik dikedua sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah diangkur, kemudian saluran di grouting melalui lubang yang

telah disediakan. (Gambar B).

Tahap 3 : Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan, jadi gaya prategang telah ditransfer kebeton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan beban merata kebalok yang arahnya keatas, akibatnya balok melengkung keatas (gambar C).

2.4 Precast Segmental Box Girder

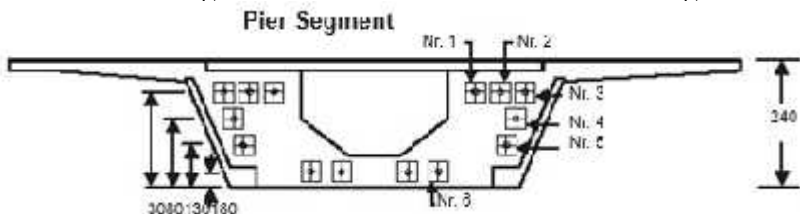
Precast segmental box girder banyak digunakan di lapangan karena lebih meningkatkan efisiensi dalam segi konstruksi, fabrikasi, dan distribusi (Arie Irianto dan Reza Febriano, 2008).

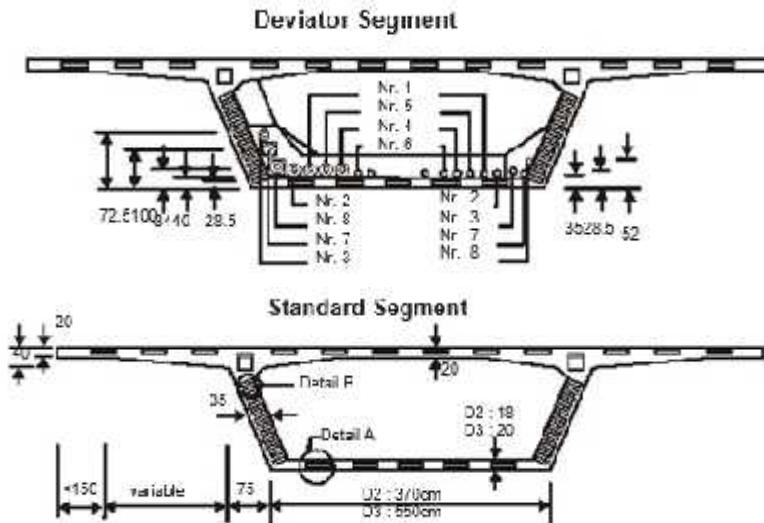
Precast segmental box girder adalah salah satu perkembangan penting dalam teknik jembatan yang tergolong baru dalam beberapa tahun terakhir. Berbeda dengan sistem konstruksi monolit, sebuah jembatan *segmental box girder* terdiri dari elemen-elemen pracetak yang diprategang bersama-sama oleh tendon eksternal (Prof. Dr.-Ing. G. Rombach,2002).

2.4.1 Elemen struktural Jembatan Segmental Box Girder

Jembatan *segmental Box Girder* seharusnya dibangun seperti sturktur bentang tunggal untuk menghindari adanya sambungan kabel post-tension. Sehubungan dengan adanya eksternal post-tension maka diperlukan tiga macam segmen yang berbeda, diantaranya (Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002):

- Pier Segment : Bagian ini terletak tepat diatas abutment.
- Deviator segment : Bagian ini dibutuhkan untuk pengaturan deviasi tendon.
- Standard segment : Dimensi standard box girder





Gambar 2.3 Tipe Segmen Box Girder
Sumber : jurnal Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002

2.5 Balok Pratekan Menerus Statis Tak Tentu

Seperti halnya dengan struktur menerus lainnya, lendutan pada balok menerus akan lebih kecil daripada lendutan pada balok sederhana (diatas dua tumpuan) (T.Y Lin dan Ned H. Burn, 1988). Kontinuitas pada konstruksi beton prategang dicapai dengan memakai kabel-kabel melengkung atau lurus yang menerus sepanjang beberapa bentangan. Juga dimungkinkan untuk menimbulkan kontinuitas antara dua balok pracetak dengan memakai “kabel tutup” (cap cable). Alternatif lain, tendon-tendon lurus yang pendek dapat dipakai diatas tumpuan untuk menimbulkan kontinuitas antara dua balok prategang pracetak (N. Krishna Raju, 1989)

Struktur statis tak tentu yang penerapannya pada balok menerus digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan kekakuan struktur pada jembatan bentang panjang (Arie Irianto dan Reza Febriano, 2008).

2.6 Desain Tendon

Berdasarkan waktu pemakaiannya tendon dibedakan menjadi 2, yaitu :

- Tendon sementara
- Tendon tetap

Berdasarkan letaknya tendon dibedakan menjadi 2, yaitu :

- Tendon kantilever
- Tendon menerus (midspan tendon)

2.7 Struktur bangunan bawah

Bangunan bawah jembatan adalah bagian dari konstruksi jembatan yang berfungsi sebagai pemikul dari beban bangunan atas yang selanjutnya diteruskan kepada pondasi (SNI-2451-2008).

Struktur bawah jembatan berfungsi memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air dan hanyutan, tumbukan, gesekan pada tumpuan dsb. untuk kemudian disalurkan ke pondasi. Selanjutnya beban-beban tersebut disalurkan oleh pondasi ke tanah dasar.

2.7.1 Abutment

Abutment adalah suatu konstruksi beton bertulang menumpu di atas pondasi tiang pancang dan terletak menjorok ke arah darat yang berfungsi sebagai pemikul ujung bentangan tepi bangunan atas jembatan (SNI-2451-2008).

2.7.2 Pilar

Pilar adalah suatu konstruksi beton bertulang menumpu di atas pondasi tiang-tiang pancang dan terletak di tengah sungai atau yang lain yang berfungsi sebagai pemikul antara bentang tepi dan bentang tengah bangunan atas jembatan (SNI-2451-2008).

Pilar merupakan tumpuan gelagar yang terletak di antara ke dua abutment, dimana tujuannya untuk membagi kedua bentang jembatan agar di dapatkan bentang jembatan yang kecil

atau tidak terlalu panjang untuk menghindari adanya penurunan yang besar pada bangunan atas.

2.7.3 Pondasi

Pondasi adalah suatu konstruksi yang menopang beban dari atas yang kemudian meneruskannya ke tanah atau batuan yang terletak di sekitarnya. Untuk itu, dalam hal ini dapat dikatakan bahwa pondasi itu merupakan bagian dari suatu konstruksi bangunan yang mempunyai bidang kontak langsung dengan dasar tanah yang keras yang ada di bawahnya (Bowles, 1992).

A. Jenis jenis pondasi

Secara umum pondasi di golongkan atas dua bagian yaitu: Pondasi langsung adalah pondasi yang di tempatkan di atas tanah dasaryang cukup keras yang kedalamannya tidak lebih dari 1 m yang terdiri dari:

1. Pondasi dari pasangan batu-bata.
2. Pondasi dan pasangan batu kali/gunung.
3. Pondasi dari beton bertulang terdiri dari pondasi pias, pondasi platkaki, pondasi balok sloof.

Pondasi tidak langsung adalah pondasi yang kedalamannya lebih dari 1 mdan konstruksinya tidak langsung pada penerimaan dinding atau gaya diatasnya, perencanaan ini di sesuaikan dengan lapisan tanah yang terdiridari:

1. Pondasi umpak.
2. Pondasi umpak dengan plat kaki.
3. Pondasi sumuran.
4. Pondasi tiang straus.
5. Pondasi borect pile.
6. Pondasi tiang pancang.

B. Syarat-syarat yang harus di penuhi dalam perencanaan pondasi

Secara umum, pondasi harus memenuhi syarat stabilitas dan deformasi, sebagai berikut:

1. Kedalaman pondasi harus memadai, untuk menghindari pergerakan lateral dari bawah pondasi, khususnya pada pondasi telapak.
2. Kedalaman harus berada di bawah daerah volume perubahan musiman yang disebabkan oleh pergeseran, pencairan, atau pertumbuhan tanaman.
3. Sistem harus tahan terhadap guling, rotasi, gelincir, atau kegagalan kekuatan geser.
4. Sistem harus tahan terhadap korosi atau bahan lainnya yang mengurangi daya dukung.
5. Sistem harus mampu beradaptasi terhadap perubahan geometri konstruksi, atau perubahan lapangan lainnya, dan mudah di modifikasi bila perlu perubahan.
6. Metode pelaksanaan pondasi sedapat mungkin dilaksanakan secara efisien dan ekonomis

2.8 Metode Erection dilapangan

- Sistem Peluncuran (*Launching*)
- Sistem Perancah (*Falsework*)
- Sistem Kantilever (*Balance Cantilever*)

Untuk sistem kantilever (*Balance Cantilever*), dalam pelaksanaannya terdapat pula beberapa jenis metode konstruksi (VSLID), yaitu :

1. Metode *Balance Cantilever* dengan *Launching Gantry*
2. Metode *Balance Cantilever* dengan *Lifting Frame*
3. Metode *Balance Cantilever* dengan *Crane*
4. Metode *Balance Cantilever* dengan Sistem Bentang Penuh

5. Metode *Balance Cantilever* dengan *Form Traveler Method*

2.8.1 Metode *Balance Cantilever* dengan *Form Traveler Method*

Sistem ini disebut *balance cantilever*, karena selama proses pelaksanaan balok jembatan berfungsi sebagai kantilever. Berikut adalah urutan pelaksanaannya (Asiyanto, 2005) :

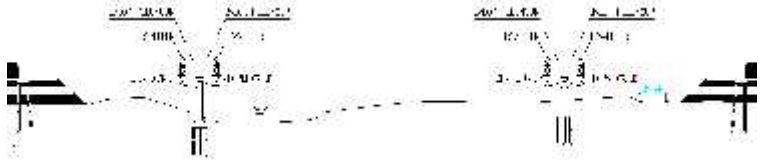
1. Selesaikan terlebih dahulu bagian abutmen dan pilar jembatan.



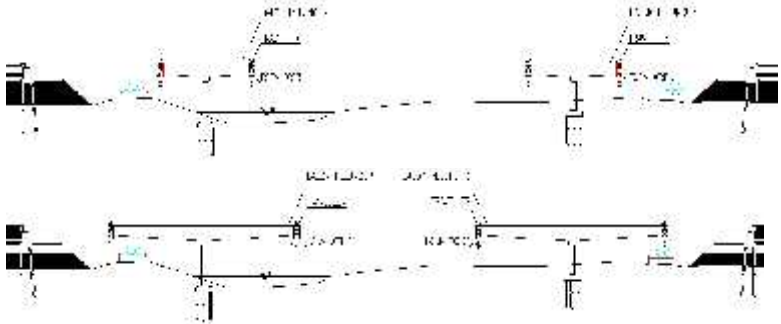
Gambar 2.4 Bagian abutmen dan pilar yang telah dicor

2. Pembuatan segmen *box girder* dengan cara cor di tempat dengan traveller.
3. Memasang dan menyetel traveller pada segmen *box girder* yang akan di cor (bertumpu pada bagian yang telah di cor).
4. Dilakukan pengecoran segmen, yang sementara ditahan oleh traveller yang bertumpu pada beton yang telah dicor sebelumnya.
5. Setelah kekuatan beton cukup, dilakukan stressing pada tendon kantilever pada segmen tersebut untuk mengimbangi berat sendiri *box girder* pada saat pelaksanaan.
6. Kendorkan/ lepaskan traveler dari segmen yang telah selesai distressing.

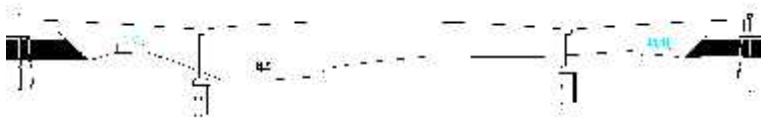
7. Traveler digeser maju untuk pengecoran segmen berikutnya.



Gambar 2.5 Pengecoran segmen *box girder* menggunakan traveler



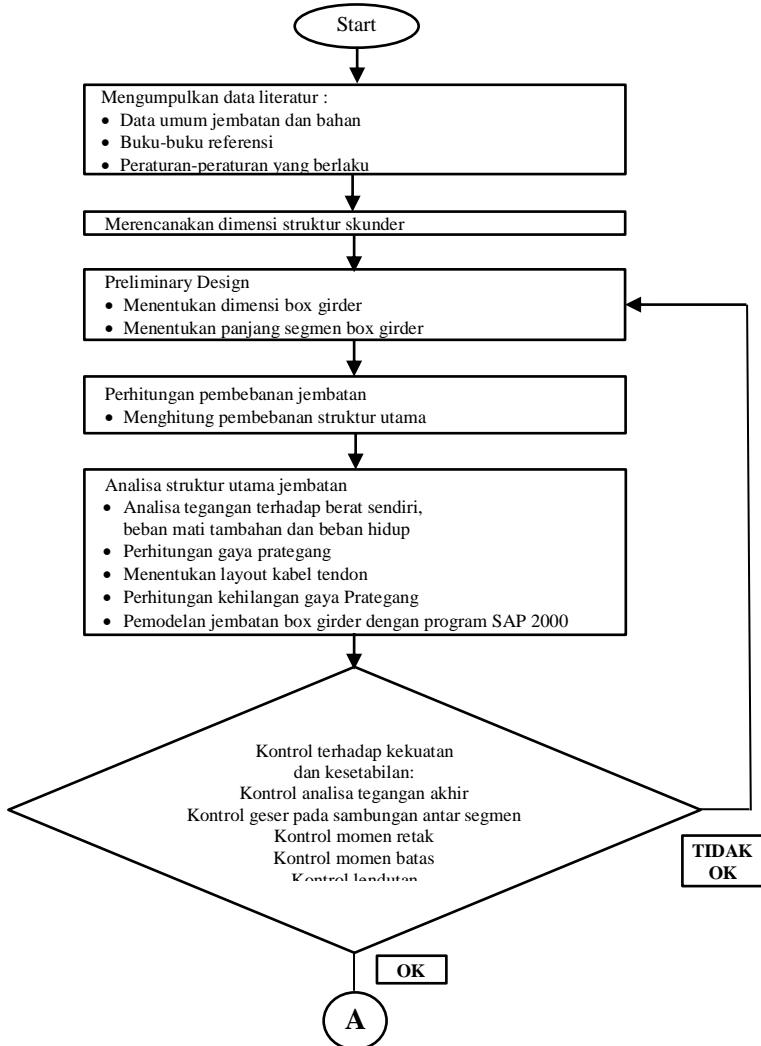
Gambar 2.6 Proses pembuatan segmen *box girder*

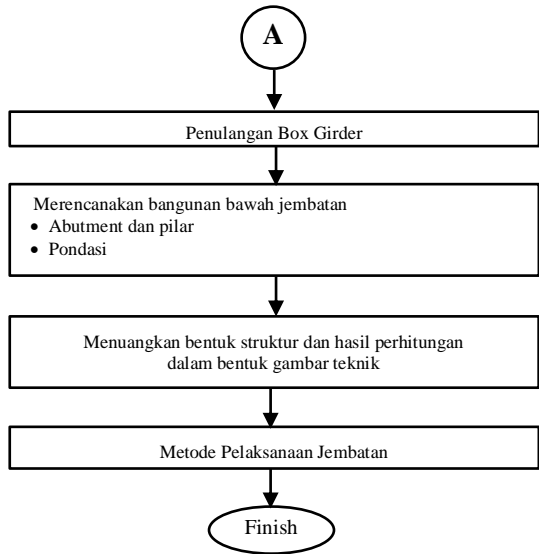


Gambar 2.7 Jembatan yang terhubung

BAB III PRELIMINARY DESAIN

3.1 Metodologi Tugas Akhir

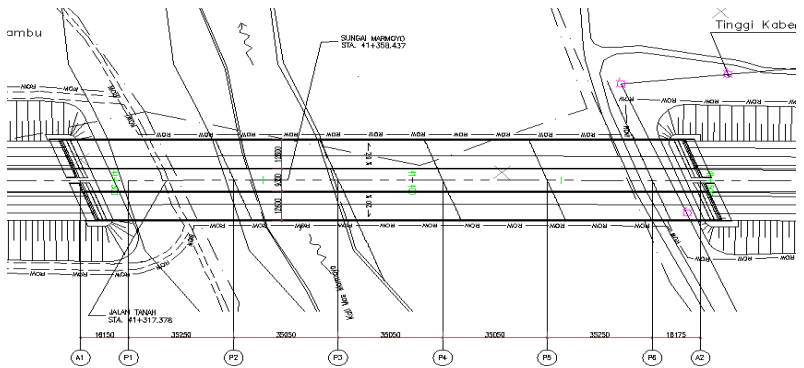




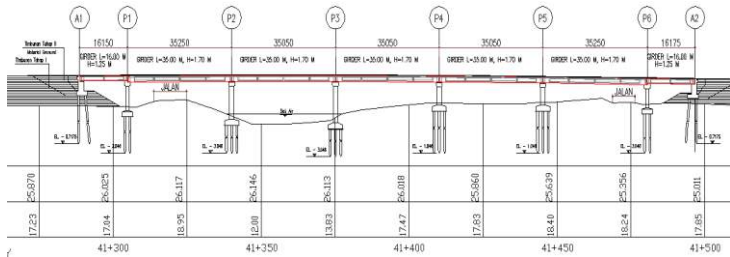
Gambar 3.1 Gambar Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Preliminary Desain

3.2.1 Gambar Eksisting

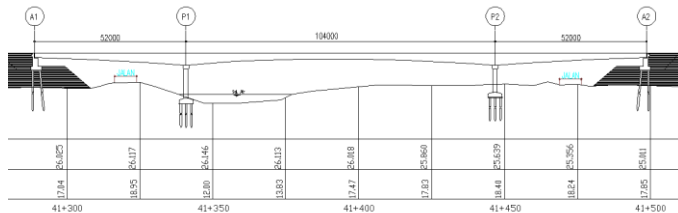


Gambar 3.2 Gambar Denah Eksisting



Gambar 3.3 Gambar Elevasi Eksisting

3.2.2 Gambar Rencana



Gambar 3.4 Gambar Elevasi Rencana

3.2.3 Data Teknis Perencanaan

- Nama Jembatan : Jembatan Marmoyo Tol Sumo
 Lokasi Jembatan : Tol Surabaya-Mojokerto
 STA. 41+400
- Tipe Jembatan : *Prestressed Box girder Cast in situ*
- Fungsi : Sebagai penghubung ruas jalan tol Surabaya-Mojokerto.
- Panjang Perencanaan : 208 m, terdiri dari 3 bentang. 52m, 104 m, 52 m dengan menggunakan struktur beton pratekan tipe *single box*
- Metode Pelaksanaan : *Balance Cantilever using Form Traveler*
- Lebar Total : 12,5 m (termasuk pagar tepi)

Jumlah Lajur : 3 Lajur 1 arah @3,5 m

3.2.4 Peraturan Struktur

1. RSNI T-02-2005 (Perencanaan Teknik Jembatan)
2. SNI T-12-2004 (Perencanaan Beton untuk Jembatan)
3. SNI 2847:2013 (Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung)
4. Tabel VSL Indonesia (Produsen Material)

3.2.5 Data Bahan Beton

1. Struktur Prategang $f'c = 60 \text{ MPa}$
2. Struktur Primer $f'c = 35 \text{ MPa}$
3. Struktur Sekunder $f'c = 30 \text{ MPa}$

3.2.6 Data Bahan Baja

1. Mutu baja prategang jenis strand seven wires stress relieved (7 kawat untaian) VSL – uncoated 7 wire super strands ASTM A-416-90 grade 270 0,6” :

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| Diameter | = 15,2 mm |
| A_{strand} | = 143,3 mm ² |
| Minimum Breaking Load | = 250 kN |
| Modulus Elastisitas | = 200.000 MPa |
2. Mutu baja pada penulangan pelat lantai jembatan, $f_y = 400 \text{ MPa}$
3. Mutu baja pada penulangan struktur sekunder, $f_y = 240 \text{ MPa}$

3.2.7 Tegangan Ijin Bahan

3.2.7.1 Beton Prategang ($f'c = 60 \text{ MPa}$)

❖ Saat Transfer

Tahap saat gaya prategang dipindahkan ke beton dan belum ada beban luar selain berat sendiri. Pada tahap ini gaya prategang maksimum. Kuat tekan beton yang direncanakan pada umur saat dilakukan transfer :

$$\begin{aligned}
 f_{ci}' &= 70\% \times f_c' \\
 &= 70\% \times 60 \\
 &= 42 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan ijin beton (SNI T-12-2004 ps 4.4.1.2)

Tegangan Tekan

Tegangan tekan dalam penampang beton tidak boleh melampaui nilai sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{tekan}} &= 0,6 \times f_{ci}' \\
 &= 0,6 \times 42 \\
 &= 25,2 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan Tarik

Untuk struktur jembatan cast in situ tegangan tarik yang diijinkan :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{tarik}} &= 0,25 \times \sqrt{f_{ci}'} \\
 &= 0,25 \times \sqrt{42} \\
 &= 1,62 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

❖ Saat Service

Tahap saat beban bekerja, setelah terjadi kehilangan gaya prategang. Pada saat ini gaya prategang minimum dan kombinasi beban luar maksimum. Tegangan ijin tekan pada saat keadaan service (SNI T-12-2004 ps 4.4.1.2.1)

Tegangan Tekan

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{tekan}} &= 0,45 \times f_c' \\
 &= 0,45 \times 60 \\
 &= 27 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan Tarik

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{tarik}} &= 0,5 \sqrt{f'_c} \\ &= 0,5 \sqrt{60} \\ &= 3,872 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(SNI T-12-2004 ps 4.4.1.2.3)

❖ Modulus Elastisitas (E)

Beton normal dengan massa jenis 2400 kg/m³, Es diambil sebesar $4700 \sqrt{f'_c}$.

$$\begin{aligned}E &= 4700 \times \sqrt{f'_c} \\ &= 4700 \times \sqrt{60} \\ &= 36406,04 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

❖ Tegangan Retak

$$\begin{aligned}f_r &= 0,62 \times \sqrt{f'_c} \\ &= 0,62 \times 60 \\ &= 4,8 \text{ MPa}\end{aligned}$$

3.2.7.2 Baja Prategang

Baja prategang jenis strand seven wires stress relieved (7kawat untaian) VSL

$$\begin{aligned}f_{pu} &= \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{A_s} \\ &= \frac{250.000}{143,3} \\ &= 1744,592 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Modulus Elastisitas = 200.000 MPa

Tegangan Putus Kabel (f_{pu}) = 1744,592 MPa

Tegangan Leleh Kabel (f_{py}) = 0,85 x 1744,592 MPa
= 1482,903 MPa

Tegangan Tarik Ijin Kabel (Jacking)

$$\begin{aligned}&= 0,95 \times f_{pu} \\ &= 0,95 \times 1744,592 \text{ MPa} \\ &= 1657,362 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan Tarik Ijin Kabel (Setelah Pengangkuran)} \\
 &= 0,74 \times f_{pu} \\
 &= 0,74 \times 1744,592 \text{ MPa} \\
 &= 1290,998 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3.2.8 Dimensi *Box Girder*

3.2.8.1 Tinggi *Box Girder*

Langkah awal dalam menentukan box girder adalah menentukan tinggi tafsiran penampang tersebut. Dalam merencanakan (H_{tafsiran}) diambil nilai sebagai berikut :

- H_{tafsiran} pada tengah bentang :

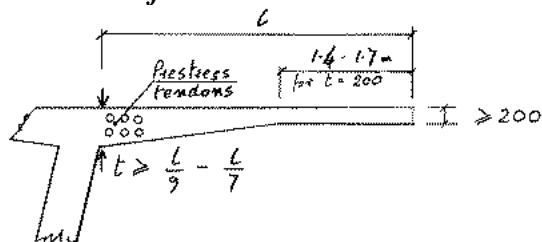
$$\begin{aligned}
 H_{\text{tafsiran}} &= 1/45 \times L \\
 &= 1/45 \times 104 \\
 &= 2,3 \text{ m} \approx \text{dipakai } 2,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menurut Robert Benaim 2008 rasio panjang bentang dan kedalaman deck adalah antar 15 m sampai 30 m.

- H_{tafsiran} pada tumpuan :

$$\begin{aligned}
 H_{\text{tafsiran}} &= 1/20 \times L \\
 &= 1/20 \times 104 \\
 &= 5,2 \text{ m} \approx \text{dipakai } 5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.2.8.2 Pelat Kantilefer



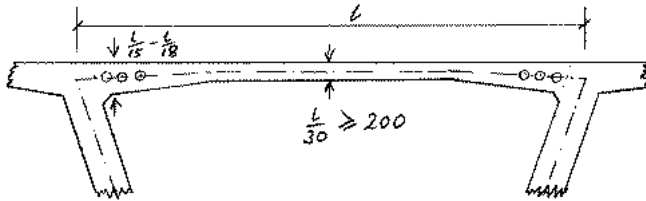
Gambar 3.5 Tebal Pelat Kantilefer

Untuk bagian lengan pada Kantilefer direncanakan panjang 3 m

Tebal Pelat (t) :

Tebal Pelat minimum kantilefer adalah 200 mm, direncanakan 450 mm.

3.2.8.3 Pelat Atas



Gambar 3.6 Tebal minimum pelat atas

Tebal minimum pada bentang tengah yang diperlukan yaitu $L/30$

$$\text{Sehingga} = \frac{L}{30} = \frac{6.5}{30} = 0,216 \text{ m} = 216 \text{ mm}$$

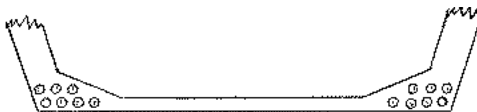
Direncanakan 450 mm

Tebal Pelat di daerah pertemuan web

$$= \frac{L}{15} = \frac{6.5}{15} = 0,433 \text{ m} = 433 \text{ mm}$$

Direncanakan 700 mm

3.2.8.4 Pelat Bawah



a) Internal prestress



b) External prestress

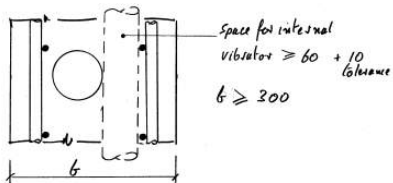
Gambar 3.7 Tebal minimum pelat bawah

Pada bagian pelat bawah dilakukan pendekatan $L/20$ jarak antar pelat dinding dan tidak boleh kurang dari 200 mm. Sehingga tebal pelat bawah

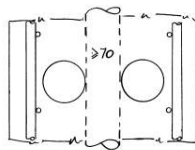
$$= \frac{L}{20} = \frac{6,5}{20} = 0,325 \text{ m} = 325 \text{ mm}$$

Direncanakan 400 mm

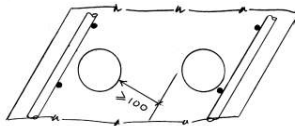
3.2.8.5 Pelat Dinding



a) Precast segmental girder with vertical webs



b) Two rows of ducts



c) Two rows of duct and inclined webs

Gambar 3.8 Tebal minimum *pelat dinding*

Tebal web yang dibutuhkan tidak boleh kurang dari 300 mm
 Direncanakan 650 mm

3.2.8.6 Panjang Segmen

Dalam pengambilan panjang setiap segmen box girder berdasarkan (Robbert Benaim, 2008) adalah minimum 2 m (kecuali segmen dibagian pier).

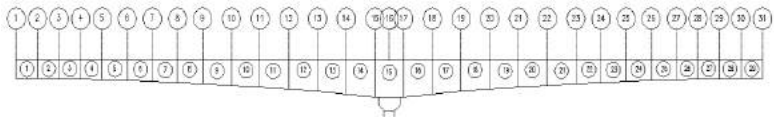
Sehingga pada perencanaan ini diambil panjang setiap segmen adalah 3,5 m.

Dari hasil preliminary desain diatas kemudian diinput kedalam CSI Bridge V.16 , sehingga diperoleh tinggi box girder parabolik disetiap segemennya yaitu :

Tabel 3.1 Preliminary box girder

| No. Joint | H (m) | No Segment | L (m) |
|-----------|-------|------------|-------|
| 16 | 5.000 | 15 | 2 |
| 15 | 5.000 | 14 | 3.5 |
| 14 | 4.665 | 13 | 3.5 |
| 13 | 4.353 | 12 | 3.5 |
| 12 | 4.065 | 11 | 3.5 |
| 11 | 3.800 | 10 | 3.5 |
| 10 | 3.559 | 9 | 3.5 |
| 9 | 3.342 | 8 | 3.5 |
| 8 | 3.152 | 7 | 3.5 |
| 7 | 2.988 | 6 | 3.5 |
| 6 | 2.847 | 5 | 3.5 |
| 5 | 2.729 | 4 | 3.5 |

| | | | |
|---|-------|---|-----|
| 4 | 2.635 | 3 | 3.5 |
| 3 | 2.565 | 2 | 3.5 |
| 2 | 2.522 | 1 | 3.5 |
| 1 | 2.504 | 0 | 1 |
| 0 | 2.500 | | |



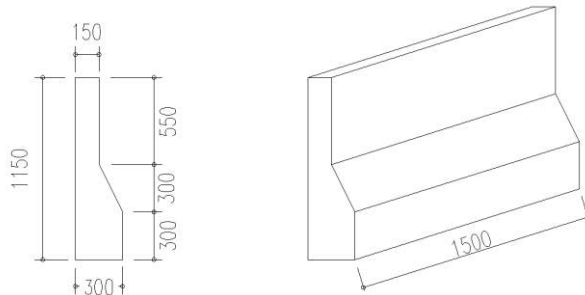
Gambar 3.9 bentuk jembatan box girder variable depth

“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV STRUKTUR SEKUNDER

4.1 Perencanaan pembatas jalan dari beton

Pembatas jalan direncanakan setinggi 115 cm dihitung dari permukaan box girder, lebar bawah 30 cm dan lebar atas 15 cm. Berdasarkan RSNI T-02-2005 penghalang lalu lintas harus direncanakan untuk menahan beban tumbukan rencana ultimit arah menyilang sebesar $P = 100 \text{ kN}$ untuk $h \leq 800 \text{ mm}$. Penyebaran menyilang rencana harus direntangkan dengan jarak memanjang 1500 mm pada bagian atas penghalang dan disebarakan dengan sudut 45° kebawah pada lantai yang memikulnya.



Gambar 4.1 Penampang pembatas jalan

Selain pembatas jalan menerima beban tumbukan, pembatas juga menerima beban angin sebesar :

$$H_w = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \rightarrow \text{kN}$$

Dimana :

H_w = Kecepatan angin rencana

V_w = Kecepatan angin rencana untuk keadaan batas yang ditinjau (m/det).

C_w = Koefisien seret

A_b = Luas koefisien bagian samping jembatan (m^2)

4.1.1. Data Perencanaan :

1. Panjang total jembatan = 208 m
2. Mutu beton f_c' = 30 Mpa
3. Mutu baja f_y = 240 Mpa
4. Beban angin yang diterima oleh pembatas jalan :

Tinggi rencana box girder diperoleh oleh rasio tinggi terhadap bentang yang disebutkan pada pembahasan sebelumnya, diperoleh tinggi box girder diarea tumpuan sebesar $H_{\text{tafsiran}} = 5$ m.

$$\frac{b}{d} = \frac{12500}{6150} = 2,03$$

Dimana :

$$\begin{aligned} d &= \text{tinggi box girder} + \text{tinggi pembatas} \\ &= 5 \text{ m} + 1,15 \text{ m} \\ &= 6,15 \text{ m} \end{aligned}$$

Keterangan :

b = Lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi terluar box girder

d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi pembatas jalan.

Dari nilai b/d diperoleh nilai C_w dengan cara menginterpolasi yang terdapat pada tabel 27 RSNI T-02-2005. Dengan nilai b/d sebesar 2,03 diperoleh :

Nilai koefisien $C_w = 1,48$

Nilai $V_w = 30$ m/s karena letak jembatan jauh dari pantai.

Nilai $A_s = \text{tinggi pembatas jalan} \times \text{lebar terbebani}$
 $= 1,15 \times 1,5$
 $= 1,725 \text{ m}^2$

Sehingga, H_w diperoleh sebesar :

$$\begin{aligned}\text{Nilai } H_w &= 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \\ &= 0,0006 \times 1,48 \times 30^2 \times 1,725 \\ &= 1,38 \text{ kN}\end{aligned}$$

Jadi momen ultimate yang dipikul oleh pembatas jalan sebesar :

$$\begin{aligned}M_u &= (\text{beban tumbukan} - \text{beban angin } T_{ew}) \times \text{tinggi} \\ &\quad \text{pembatas jalan} \\ &= ((\cos 45^\circ \times 100) - 1,38 \text{ kN}) \times 1,15 \text{ m} \\ &= 79,73 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{79,73}{0,8} \\ &= 99,66 \text{ kNm} \\ &= 99,73 \times 10^6 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

4.1.2 Penulangan

Dimensi pembatas jalan : 1,5 m x 0,3 m.

Beton decking : 40 mm.

Direncanakan menggunakan tulangan utama D16.

Direncanakan menggunakan tulangan sengkang $\emptyset 10$.

$$\begin{aligned}M_n &= 99,73 \times 10^6 \text{ Nmm} \\ d &= 300 - 40 - (0,5 \times \text{tulangan utama}) \\ &= 300 - 40 - (0,5 \times 13) \\ &= 253,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{99,22 \times 10^6}{1500 \times 253,5^2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,04 \text{ N/mm}^2 = 1,04 \text{ MPa} \\
 m &= \frac{fy}{0,85 f'c} = \frac{240}{0,85 \times 30} = 9,41 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{240} = 0,0058 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \beta_1 f'c}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30}{240} \left(\frac{600}{600 + 300} \right) \\
 &= 0,06
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}} = 0,75 \times 0,06 = 0,045$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}} \right) \\
 &= \frac{1}{9,41} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,41 \times 1,04}{240}} \right) \\
 &= 0,0044
 \end{aligned}$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\max}$

Dipakai $\rho_{\min} = 0,0058$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho. b.d \\
 &= 0,0058 \times 1500 \times 253,5 \\
 &= 2205,45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan utama **16D13**

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan sengkang} &= 20\% \times A_s \text{ tulangan utama} \\
 &= 20\% \times 2205,45 \\
 &= 441,09 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan sengkang **Ø10 – 150**

4.2 Kontrol terhadap geser ponds

Berdasarkan peraturan SNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan

$$V_n = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{\frac{f'_c}{6}} \times U \times d$$

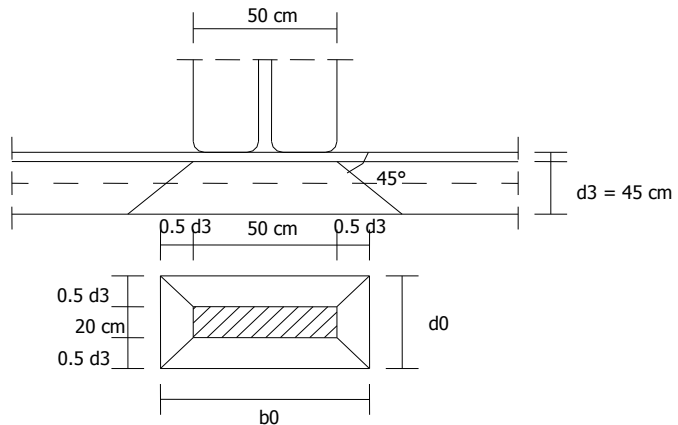
Dimana :

U = keliling kritis

d = tinggi efektif diambil dari rata-rata di sekeliling garis keliling geser kritis

β = perbandingan antara dimensi terpanjang dari luas efektif yang dibebani “y” dengan dimensi “x” (y/x)

Muatan “T” = 112,5 kN dengan luas bidang kontak roda 500 mm x 200 mm



Gambar 4.2 Gambar Pembebanan Geser Ponds

Keliling kritis :

$$\begin{aligned} U &= 2 \times (b_0 + d_0) \\ &= 2 \times (90 + 60) \\ &= 300 \text{ cm} = 3000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{50}{20} = 2,5$$

Gaya geser ultimate

$$\begin{aligned} V_u &= KU^{TT} \times 112500 \times (1 + FDB) \\ &= 1,8 \times 112500 \times (1 + 0,3) \\ &= 263250 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{n_c} &= \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{\frac{f'_c}{6}} \times U \times d \\ &= \left(1 + \frac{2}{2,5}\right) \sqrt{\frac{60}{6}} \times 3000 \times 450 \\ &= 7684334,714 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \sqrt{\frac{f'_c}{3}} \times U \times d \\ &= \sqrt{\frac{60}{3}} \times 3000 \times 450 \\ &= 6037383,539 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat penampang pada geser harus memenuhi :

$$\begin{aligned} V_u &\leq \phi V_{n_c} \\ 263250 \text{ N} &\leq 0,6 \times 7684334,714 \text{ N} \\ 263250 \text{ N} &\leq 4610600,828 \dots \text{ (OK!!)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &> \phi V_{n_c} \\ 6037383,539 \text{ N} &> 4610600,828 \dots \text{ (OK!!)} \end{aligned}$$

BAB V ANALISA STRUKTUR UTAMA

5.1 Analisa penampang box girder

Dalam perencanaan penampang box girder terdapat beberapa ketentuan untuk menentukan nilai efisiensi penampang, jika nilai efisien penampang :

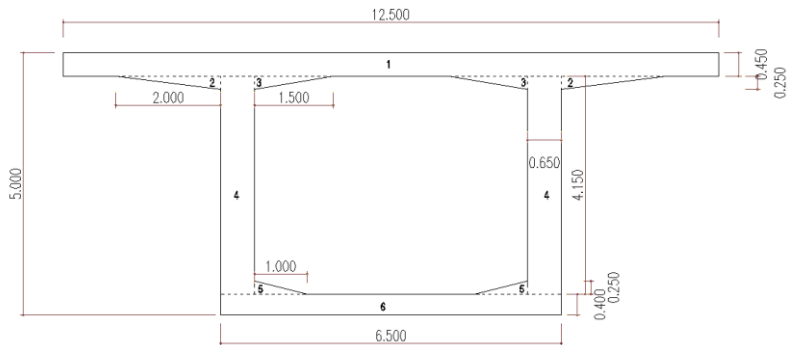
Efisien $\leq 0,45$ penampang terlalu gemuk

Efisien $\geq 0,55$ penampang terlalu langsing

Contoh perhitungan penampang box girder pada segmen 15 sebagai berikut :

Tinggi total box girder = 5 m

Lebar total box girder = 12,5 m



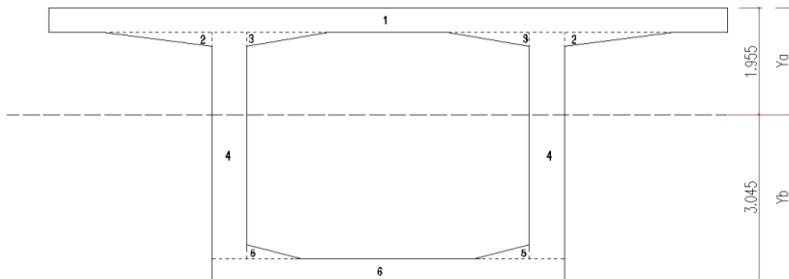
Gambar 5.1 Penampang box girder segmen 15

Tabel 5.1 Perhitungan penampang box girder segmen 15

| no | Lebar (m) | Tinggi (m) | Shape Factor | Jumlah Penampang | Luas Penampang (m ²) | Jarak terhadap alas Y (m) | Statis momen A x Y | A.Y ² | I _o |
|----|-----------|------------|--------------|------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------|------------------|----------------|
| 1 | 12.5 | 0.45 | 1 | 1 | 5.625 | 4.775 | 26.859 | 128.254 | 0.095 |
| 2 | 2 | 0.25 | 0.5 | 2 | 0.5 | 4.467 | 2.233 | 9.976 | 0.001 |
| 3 | 1.5 | 0.25 | 0.5 | 2 | 0.375 | 4.467 | 1.675 | 7.482 | 0.001 |
| 4 | 0.65 | 4.15 | 1 | 2 | 5.395 | 2.5 | 13 | 33.719 | 3.871 |
| 5 | 1 | 0.25 | 0.5 | 2 | 0.25 | 0.48 | 0.121 | 0.058 | 0.000 |
| 6 | 6.5 | 0.4 | 1 | 1 | 2.6 | 0.2 | 0.520 | 0.104 | 0.035 |
| | | | | | 5 | 14.745 | 44.896 | 179.592 | 4.003 |

$$\begin{aligned} \text{Letak titik berat} : Y_b &= \frac{\sum Axy}{\sum A} \\ &= \frac{44,896}{14,745} \\ &= 3,045 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} : Y_a &= H - Y_b \\ &= 5 - 3,045 \\ &= 1,955 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 5.2 Letak titik berat penampang box girder segmen 15

- Inersia terhadap alas balok :

$$\begin{aligned} I_b &= \sum Axy^2 + \sum I_0 \\ &= 179,592 + 4,003 \\ &= 183,594 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- Inersia terhadap titik berat balok :

$$\begin{aligned} I_x &= I_b - A \cdot y_b^2 \\ &= 183,594 - 14,745 \times 3,045^2 \\ &= 46,894 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

- Tahanan momen sisi atas:

$$\begin{aligned} W_a &= \frac{I_x}{y_a} \\ &= \frac{46,894}{1955} \\ &= 23,985 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Tahanan momen sisi bawah :

$$\begin{aligned} W_b &= \frac{I_x}{y_b} \\ &= \frac{46,894}{3,045} \\ &= 15,401 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

- Kern sisi atas :

$$\begin{aligned} K_a &= \frac{W_b}{\sum A} \\ &= \frac{15,401}{14,745} \\ &= 1,045 \text{ m} \end{aligned}$$

- Kern sisi bawah :

$$K_b = \frac{W_a}{\sum A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{23,985}{14,745} \\
 &= 1,627 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dimana :

I = momen inersia

Bentuk segitiga $= 1/36 \times b \times h^3$

Bentuk persegi $= 1/12 \times b \times h^3$

$$r^2 = \frac{I_x}{A} = \frac{46,894}{14,745} = 3,180$$

Perhitungan efisiensi pada penampang box girder

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi} &= \frac{r^2}{Y_a \times Y_b} \\
 &= \frac{3,180}{1,955 \times 3,045} = 0,534
 \end{aligned}$$

Ketentuan : $0,45 \geq \mathbf{0,534} \leq 0,55$

Jadi penampang box girder sudah seimbang dan baik.

Tabel 5.2 Rekap perhitungan penampang setiap segmen

| No. Joint | H (m) | A (m ²) | Ya (m) | Yb (m) | I (m ⁴) | Wa (m ³) | Wb (m ³) | Ka (m) | Kb (m) | BERAT (N) |
|-----------|-------|---------------------|--------|--------|---------------------|----------------------|----------------------|--------|--------|------------|
| 16 | 5.000 | 14.745 | 1.955 | 3.045 | 46.894 | 23.985 | 15.401 | 1.045 | 1.627 | 751995.00 |
| 15 | 5.000 | 14.745 | 1.955 | 3.045 | 46.894 | 23.985 | 15.401 | 1.045 | 1.627 | 751995.00 |
| 14 | 4.665 | 14.310 | 1.814 | 2.851 | 39.784 | 21.934 | 13.953 | 0.975 | 1.533 | 1277122.88 |
| 13 | 4.353 | 13.904 | 1.684 | 2.669 | 33.741 | 20.040 | 12.640 | 0.909 | 1.441 | 1240923.08 |
| 12 | 4.065 | 13.530 | 1.565 | 2.500 | 28.647 | 18.307 | 11.458 | 0.847 | 1.353 | 1207507.88 |
| 11 | 3.800 | 13.185 | 1.457 | 2.343 | 24.364 | 16.724 | 10.398 | 0.789 | 1.268 | 1176761.25 |
| 10 | 3.559 | 12.872 | 1.360 | 2.199 | 20.798 | 15.296 | 9.457 | 0.735 | 1.188 | 1148799.23 |
| 9 | 3.342 | 12.590 | 1.273 | 2.069 | 17.850 | 14.020 | 8.629 | 0.685 | 1.114 | 1123621.80 |
| 8 | 3.152 | 12.343 | 1.198 | 1.954 | 15.471 | 12.910 | 7.919 | 0.642 | 1.046 | 1101577.05 |
| 7 | 2.988 | 12.129 | 1.134 | 1.854 | 13.567 | 11.960 | 7.319 | 0.603 | 0.986 | 1082548.95 |
| 6 | 2.847 | 11.946 | 1.080 | 1.767 | 12.039 | 11.148 | 6.813 | 0.570 | 0.933 | 1066189.43 |
| 5 | 2.729 | 11.793 | 1.035 | 1.694 | 10.837 | 10.473 | 6.396 | 0.542 | 0.888 | 1052498.48 |
| 4 | 2.635 | 11.671 | 0.999 | 1.636 | 9.928 | 9.938 | 6.068 | 0.520 | 0.852 | 1041592.13 |
| 3 | 2.565 | 11.580 | 0.972 | 1.593 | 9.280 | 9.542 | 5.827 | 0.503 | 0.824 | 1033470.38 |
| 2 | 2.522 | 11.524 | 0.956 | 1.566 | 8.894 | 9.300 | 5.680 | 0.493 | 0.807 | 1028481.30 |
| 1 | 2.504 | 11.500 | 0.950 | 1.554 | 8.735 | 9.199 | 5.619 | 0.489 | 0.800 | 1026392.85 |
| 0 | 2.500 | 11.495 | 0.948 | 1.552 | 8.699 | 9.176 | 5.605 | 0.488 | 0.798 | 293122.50 |

5.2 Analisa Pembebanan

5.2.1 Beban Mati

a. Berat sendiri

Diambil nilai A terbesar, yaitu pada segmen 15

$$\begin{aligned}
 q &= A \times \text{Berat Jenis Beton} \\
 &= 14,745 \times 25 \text{ kN/m}^3 \\
 &= 368,625 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

b. Beban mati tambahan

- Aspal

$$\begin{aligned}
 &\text{Tebal aspal} \times \text{lebar lantai kendaraan} \times B_j \text{ Aspal} \times K_{MA}^u \\
 &0,05 \text{ m} \times 10,5 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^3 \times 2 = 23,1 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Air hujan (5 cm)

$$\begin{aligned}
 &\text{Tebal} \times \text{lebar jembatan} \times B_j \text{ Air} \\
 &0,05 \text{ m} \times 12,5 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 6,25 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Pembatas jalan

Dimensi pembatas jalan x Bj Beton

$$0,24 \text{ m}^2 \times 24 \text{ kN/m}^3 = \underline{5,76 \text{ kN/m}}$$

$$\text{Total beban mati tambahan} = 35,11 \text{ kN/m}$$

5.2.2 Beban hidup

a) Beban lajur “D”

Dimana :

$$q = 9 \text{ kN/m}^2 \quad (L < 30 \text{ meter})$$

$$q = 9 \times (0,5 + 15/L) \quad (L > 30 \text{ meter})$$

- Beban terbagi rata (BTR), untuk bentang 52 m

$$q = 9 \times (0,5 + 15/52)$$

$$= 7,09 \text{ kN/m}$$

Untuk menanggulangi beban apabila terjadi macet diasumsikan beban per lajur adalah beban 100% dengan jumlah lajur 3 masing masing memiliki lebar 3,5 m

$$qL_{100\%} = 100\% \times q \times \text{lebar lajur} \times \text{jumlah lajur} \times K^u$$

$$= 100\% \times 7,09 \times 3,5 \times 3 \times 1,8$$

$$= 134 \text{ kN/m}$$

- Beban terbagi rata (BTR), untuk bentang 104 m

$$q = 9 \times (0,5 + 15/104)$$

$$= 5,798 \text{ kN/m}$$

Untuk menanggulangi beban apabila terjadi macet diasumsikan beban per lajur adalah beban 100% dengan jumlah lajur 3 masing masing memiliki lebar 3,5 m

$$qL_{100\%} = 100\% \times q \times \text{lebar lajur} \times \text{jumlah lajur} \times K^u$$

$$= 100\% \times 5,798 \times 3,5 \times 3 \times 1,8$$

$$= 109,58 \text{ kN/m}$$

b) Beban garis (BGT)

$$P = 49 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{lajur}} = P \times \text{lebar lajur}$$

$$= 49 \times 3,5$$

$$= 171,5 \text{ kN/lajur}$$

$$P1 = 100\% \times P \times \text{jumlah lajur}$$

$$= 100\% \times 171,5 \times 3$$

$$= 614,5 \text{ kN}$$

$$P2 = 50\% \times P \times \text{jumlah lajur}$$

$$= 50\% \times 171,5 \times 3$$

$$= 257,25 \text{ kN}$$

c) Beban truck "T"

$$\text{Beban roda truk} = 112,5 \text{ kN}$$

$$\text{Beban roda dinamik} = 30\%$$

$$\text{Faktor beban} = 2$$

$$T_{\text{tr}} = 112,5 \times (1 + \text{FBD}) \times \text{Faktor beban}$$

$$= 112,5 \times (1 + 0,3) \times 2$$

$$= 292,5 \text{ kN}$$

5.2.3 Beban Angin

a. Akibat angin

$$H_w = 0,0006 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_b$$

$$= 0,0006 \times 1,48 \times 30^2 \times 5$$

$$= 3,996 \text{ kN}$$

b. Akibat angin yang mengenai kendaraan

$$T_{\text{ew}} = 0,0012 \times C_w \times (V_w)^2$$

$$= 0,0012 \times 1,48 \times 30^2$$

$$= 1,598 \text{ kN}$$

5.3 Perencanaan Tendon Prategang

- **Tahap Kantilefer (tahap 1)**

Pada tahap ini segmen box girder dicor secara berpasangan (*balance*) dimulai dari pilar jembatan sampai ke ujung. Dalam pelaksanaan tahap ini digunakan metode *traveler formwork*. Dimana *traveler* sendiri adalah suatu alat bantu yang digunakan untuk menopang/menggantung *formwork* guna pengecoran box girder.

- **Tahap Service (tahap 2)**

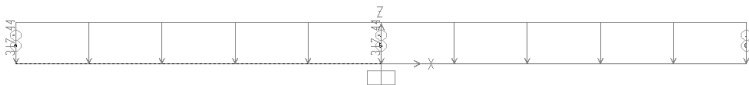
Pada tahap ini dilakukan pemasangan komponen-komponen non-struktural seperti : aspal, pembatas jalan, dll.

Dengan mengetahui metode pelaksanaan tersebut maka akan didapat asumsi pembebanan yang sesuai untuk dapat mengetahui momen yang terjadi ditiap tahap. Berikut adalah perhitungan gaya pratekan dan analisis tegangan yang terjadi ditiap tahap.

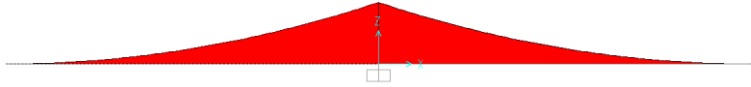
5.3.1 Perencanaan tendon kantilefer (Tahap 1)

1. Menghitung momen

Pada perencanaan ini perhitungan momen akibat berat sendiri box girder dan beban saat pelaksanaan (pekerja, alat dan traveller formwork) yang dilakukan dengan bantuan aplikasi SAP 2000, sehingga didapatkan momen didaerah tumpuan sebagai berikut :



Gambar 5.3 Bentuk pembebanan Tahap *Kantilefer*

Gambar 5.4 Hasil pembebanan Tahap *Kantilefer*

2. Merencanakan gaya pratekan dan perhitungan tendon pada saat pemasangan box girder segmen 14 dan 16 :

Direncanakan menggunakan tendon strand seven wire relived (7 kawat untaian) dengan mengacu pada tabel VSL, berikut adalah jenis dan karakteristik dari kabel tendon dan box girder yang akan dipasang :

- Diameter = 15,2 mm
- Luas nominal (A_s) = 143,3 mm²
- Minimum beaking load = 250 kN
- Modulus elastisitas (E_s) = 200000 Mpa
- Berat traveller formwork CCC (*Consortium China Contractor*) (+/- 435000 N)

Tabel 5.3 Data penampang segmen 15 dan 14

| No. Joint | H (m) | A (m ²) | Y _a (m) | Y _b (m) | I (m ⁴) | W _a (m ³) | W _b (m ³) | K _a (m) | K _b (m) |
|-----------|-------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|
| 16 | 5.000 | 14.745 | 1.955 | 3.045 | 46.894 | 23.985 | 15.401 | 1.045 | 1.627 |
| 15 | 5.000 | 14.745 | 1.955 | 3.045 | 46.894 | 23.985 | 15.401 | 1.045 | 1.627 |
| 14 | 4.665 | 14.310 | 1.814 | 2.851 | 39.784 | 21.934 | 13.953 | 0.975 | 1.533 |

Dari perhitungan SAP 2000 diperoleh nilai momen pada tumpuan saat pemasangan box girder segmen 14 dan 16 sebesar 1.068E+10 Nmm.

STRAND PROPERTIES – TO AS1311

| Nominal Diameter | Nominal Steel Area | Nominal Mass | Minimum Breaking Load | Minimum Proof Load (0.2% Offset) | Min. Elong. to Fracture in 600mm | Relaxation After 1,000hrs at 0.7 Breaking Load | Modulus of Elasticity |
|------------------|--------------------|--------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|-----------------------|
| mm | mm ² | kg/m | kN | kN | % | % | MPa |
| 12.7 | 100.1 | 0.786 | 184 | 156.4 | 3.5 | 2.5 | 180-205 |
| 15.2 | 143.3 | 1.125 | 250 | 212.5 | 3.5 | 2.5 | $\times 10^3$ |

TENDON PROPERTIES

| STRAND TYPE 12.7mm | | | |
|--------------------|----------------|--------------------------|---------------------------------|
| TENDON UNIT | No. OF STRANDS | Minimum Breaking Load kN | STEEL DUCT Internal Diameter mm |
| 5-3 | 2 | 368 | 39 |
| | 3 | 552 | 39 |
| 5-7 | 4 | 736 | 51 |
| | 5 | 920 | 51 |
| | 6 | 1100 | 51 |
| | 7 | 1280 | 51 |
| 5-12 | 8 | 1470 | 69 |
| | 9 | 1660 | 69 |
| | 10 | 1840 | 69 |
| | 11 | 2020 | 69 |
| 5-19 | 12 | 2210 | 69 |
| | 13 | 2390 | 84 |
| | 14 | 2580 | 84 |
| | 15 | 2760 | 84 |
| | 16 | 2940 | 84 |
| | 17 | 3130 | 84 |
| 5-22 | 18 | 3310 | 84 |
| | 19 | 3500 | 84 |
| | 20 | 3680 | 90 |
| | 21 | 3860 | 90 |
| 5-27 | 22 | 4050 | 90 |
| | 23 | 4230 | 96 |
| 5-31 | 24 | 4420 | 96 |
| | 25 | 4600 | 96 |
| | 26 | 4780 | 96 |
| | 27 | 4970 | 96 |
| 5-37 | 28 | 5150 | 105 |
| | 29 | 5340 | 105 |
| | 30 | 5520 | 105 |
| | 31 | 5700 | 105 |
| 5-42 | 32 | 5890 | 115 |
| | 33 | 6070 | 115 |
| | 34 | 6260 | 115 |
| | 35 | 6440 | 115 |
| | 36 | 6620 | 115 |
| 5-48 | 37 | 6810 | 115 |
| | 38 | 6990 | 118 |
| | 39 | 7180 | 118 |
| | 40 | 7360 | 118 |
| | 41 | 7540 | 118 |
| 5-55 | 42 | 7730 | 118 |
| | 43 | 7910 | 127 |
| | 44 | 8100 | 127 |
| | 45 | 8280 | 127 |
| | 46 | 8460 | 127 |
| 5-55 | 47 | 8650 | 127 |
| | 48 | 8830 | 127 |
| | 49 | 9020 | 135 |
| | 50 | 9200 | 135 |
| | 51 | 9380 | 135 |
| | 52 | 9570 | 135 |
| | 53 | 9750 | 135 |
| | 54 | 9940 | 135 |
| | 55 | 10120 | 135 |

| STRAND TYPE 15.2mm | | | |
|--------------------|----------------|--------------------------|---------------------------------|
| TENDON UNIT | No. OF STRANDS | Minimum Breaking Load kN | STEEL DUCT Internal Diameter mm |
| 6-3 | 2 | 500 | 39 |
| | 3 | 750 | 39 |
| 6-4 | 4 | 1000 | 51 |
| | 5 | 1250 | 51 |
| 6-7 | 6 | 1500 | 69 |
| | 7 | 1750 | 69 |
| 6-12 | 8 | 2000 | 84 |
| | 9 | 2250 | 84 |
| | 10 | 2500 | 84 |
| | 11 | 2750 | 84 |
| 6-19 | 12 | 3000 | 84 |
| | 13 | 3250 | 96 |
| | 14 | 3500 | 96 |
| | 15 | 3750 | 96 |
| | 16 | 4000 | 96 |
| | 17 | 4250 | 96 |
| 6-22 | 18 | 4500 | 96 |
| | 19 | 4750 | 96 |
| | 20 | 5000 | 105 |
| 6-27 | 21 | 5250 | 105 |
| | 22 | 5500 | 105 |
| | 23 | 5750 | 115 |
| 6-31 | 24 | 6000 | 115 |
| | 25 | 6250 | 115 |
| | 26 | 6500 | 115 |
| | 27 | 6750 | 115 |
| | 28 | 7000 | 118 |
| 6-37 | 29 | 7250 | 118 |
| | 30 | 7500 | 118 |
| | 31 | 7750 | 118 |
| | 32 | 8000 | 127 |
| 6-42 | 33 | 8250 | 127 |
| | 34 | 8500 | 127 |
| | 35 | 8750 | 127 |
| | 36 | 9000 | 135 |
| 6-48 | 37 | 9250 | 135 |
| | 38 | 9500 | 135 |
| | 39 | 9750 | 135 |
| | 40 | 10000 | 135 |
| | 41 | 10250 | 135 |
| | 42 | 10500 | 135 |
| 6-55 | 43 | 10750 | 144 |
| | 44 | 11000 | 144 |
| | 45 | 11250 | 144 |
| | 46 | 11500 | 144 |
| | 47 | 11750 | 144 |
| | 48 | 12000 | 144 |
| 6-55 | 49 | 12250 | 154 |
| | 50 | 12500 | 154 |
| | 51 | 12750 | 154 |
| | 52 | 13000 | 154 |
| | 53 | 13250 | 154 |
| | 54 | 13500 | 154 |
| | 55 | 13750 | 154 |

- Note: 1. Intermediate duct diameters may be available on application.
 2. Duct diameters are for corrugated steel duct.
 3. Duct external dia. = I. Dia. + 6mm nominal
 4. Corrugated polyethylene PT-PlusSM duct is also available, refer page 14.
 5. For special applications other strand and tendon capacities are available.

Gambar 5.5 Gambar Lampiran Strand and Tendon Properties

Direncanakan letak tendon secara parabolis diambil nilai e (eksentrisitas) yang bervariasi :

$$\begin{aligned} e \text{ pada joint 14} &= Y_a - 225 \text{ mm} \\ &= 1814 - 225 \\ &= 1589 \text{ mm (diatas c.g.c)} \end{aligned}$$

F_{perlu} pada Joint 16:

$$F_{\text{perlu}} = \frac{M}{e+K_b} = \frac{1,068 \times 10^{10}}{1730+1627} = 3181411,975 \text{ N}$$

Untuk sistem pasca tarik diasumsikan terjadi kehilangan gaya prategang sebesar 20%, maka :

$$\begin{aligned} F_{\text{perlu}} &= 3181411,975 \text{ N} / 0,8 \\ &= 2545129,58 \text{ N} \end{aligned}$$

- Pada segmen 15 direncanakan menggunakan 2 tendon VSL 6-19-19 sc dengan nilai $F = 4750000 \text{ N}$, sehingga diperoleh nilai $F_{15} = 4750000 \times 2 = 9500000 \text{ N}$.
- Pada segmen 14 direncanakan menggunakan 2 tendon VSL 6-19-19 sc dengan nilai $F = 4750000 \text{ N}$, sehingga diperoleh nilai $F_{15} = 4750000 \times 2 = 9500000 \text{ N}$.
- Pada segmen 14 dan 15 telah terpasang dua pasang tendon berukuran VSL 6-19-19 sc. Sehingga diperoleh nilai kumulatif tendon sebesar :

$$\begin{aligned} F_{\text{kumulatif}} &= F_{15} + F_{14} \\ &= (2 \times 4750000) + (2 \times 4750000) \\ &= 19000000 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Kontrol Tegangan :

Serat atas

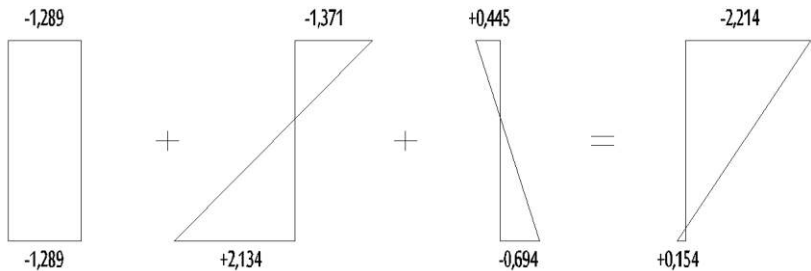
Pada joint 16

$$\begin{aligned}
 f_o &= -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o x e x y_a}{I} + \frac{M_G x y_a}{I} \\
 &= -1,289 - 1,371 + 0,445 \\
 &= -2,214 \text{ Mpa (Tekan)} < \sigma_{\text{tekan}} = -25,5 \text{ Mpa.....(OK)}
 \end{aligned}$$

Serat bawah

Pada joint 16

$$\begin{aligned}
 f_o &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o x e x y_a}{I} - \frac{M_G x y_a}{I} \\
 &= -1,289 + 2,134 - 0,694 \\
 &= 0,152 \text{ Mpa (Tarik)} < \sigma_{\text{tarik}} = 1,62 \text{ Mpa.....(OK)}
 \end{aligned}$$

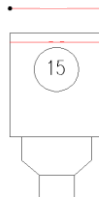


Gambar 5.6 Gambar Tegangan pada Joint 16 Segmen 15

Kontrol tegangan pada tahap pemasangan segmen

Dalam hal ini kontrol tegangan tiap pemasangan segmen dilakukan pada kantilever 1 dan 2. Melalui perhitungan yang dilakukan di Microsoft excel berikut kontrol tegangan yang terjadi pada tahap pemasangan tiap segmennya :

Pemasangan segmen 15

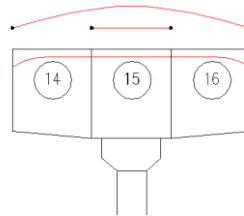


Gambar 5.7 Gambar Pemasangan Segmen 15

Tabel 5.4 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 15

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|-----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|-------|-------------|--------|----------------|-------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 2000 | 1186995 | 2.374E+09 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 9500000 | -0.644 | -0.685 | 1.067 | 0.099 | -0.154 | -1.231 | 0.269 | OK | OK |
| 15 & 17 | 0 | 1186995 | 0.000E+00 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 9500000 | -0.644 | -0.685 | 1.067 | 0.000 | 0.000 | -1.330 | 0.423 | OK | OK |

Pemasangan segmen 14 dan 16

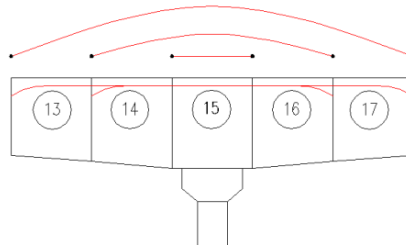


Gambar 5.8 Gambar Pemasangan Segmen 14 dan 16

Tabel 5.5 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 14 dan 16

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|-----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|-------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 5500 | 1186995.00 | 1.068E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 19000000 | -1.289 | -1.371 | 2.134 | 0.445 | -0.694 | -2.214 | 0.152 | OK | OK |
| 15 & 17 | 3500 | 1186995.00 | 4.154E+09 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 19000000 | -1.289 | -1.371 | 0.534 | 0.270 | -0.270 | -2.389 | -1.025 | OK | OK |
| 14 & 18 | 0 | 1712122.88 | 0.000E+00 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 9500000 | -0.664 | -0.688 | 0.541 | 0.000 | 0.000 | -1.352 | -0.123 | OK | OK |

Pemasangan segmen 13 dan 17

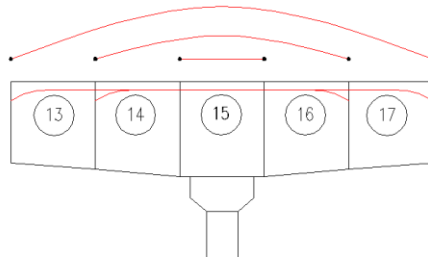


Gambar 5.9 Gambar Pemasangan Segmen 13 dan 17

Tabel 5.6 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 13 dan 17

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|-------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 9000 | 1186995.00 | 2.12E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 28500000 | -1.933 | -2.056 | 3.202 | 0.885 | -1.379 | -3.103 | -0.110 | OK | OK |
| 15 & 17 | 7000 | 1186995.00 | 1.22E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1605 | 19 sc | 4750000 | 2 | 28500000 | -1.933 | -1.907 | 2.970 | 0.507 | -0.789 | -3.333 | 0.248 | OK | OK |
| 14 & 18 | 3500 | 1712122.875 | 5.09E+09 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 19000000 | -1.328 | -1.376 | 2.163 | 0.232 | -0.365 | -2.472 | 0.471 | OK | OK |
| 13 & 19 | 0 | 1675923.075 | 0.00E+00 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 9500000 | -0.683 | -0.691 | 1.096 | 0.000 | 0.000 | -1.375 | 0.413 | OK | OK |

Pemasangan segmen 13 dan 17

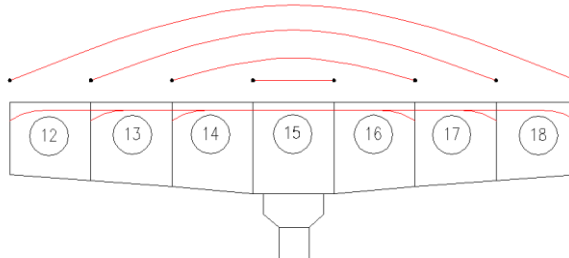


Gambar 5.9 Gambar Pemasangan Segmen 13 dan 17

Tabel 5.4 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 13 dan 17

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|-------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 9000 | 1186995.00 | 2.12E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 28500000 | -1.933 | -2.056 | 3.202 | 0.885 | -1.379 | -3.103 | -0.110 | OK | OK |
| 15 & 17 | 7000 | 1186995.00 | 1.22E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1605 | 19 sc | 4750000 | 2 | 28500000 | -1.933 | -1.907 | 2.970 | 0.507 | -0.789 | -3.333 | 0.248 | OK | OK |
| 14 & 18 | 3500 | 1712122.875 | 5.09E+09 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 19000000 | -1.328 | -1.376 | 2.163 | 0.232 | -0.365 | -2.472 | 0.471 | OK | OK |
| 13 & 19 | 0 | 1675923.075 | 0.00E+00 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 9500000 | -0.683 | -0.691 | 1.096 | 0.000 | 0.000 | -1.375 | 0.413 | OK | OK |

Pemasangan segmen 12 dan 18

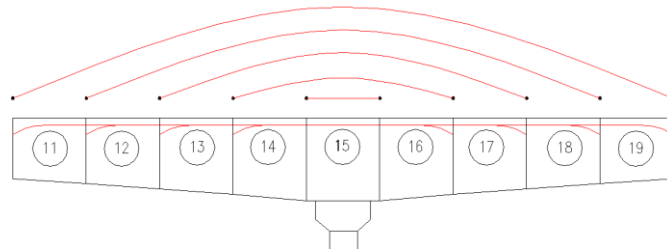


Gambar 5.10 Gambar Pemasangan Segmen 12 dan 18

Tabel 5.7 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 12 dan 18

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|-------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 12500 | 1186995.00 | 3.84E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 38000000 | -2.577 | -2.741 | 4.269 | 1.600 | -2.492 | -3.718 | -0.800 | OK | OK |
| 15 & 17 | 10500 | 1186995.00 | 2.58E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 38000000 | -2.577 | -2.741 | 4.269 | 1.074 | -1.673 | -4.244 | 0.019 | OK | OK |
| 14 & 18 | 7000 | 1712122.875 | 1.52E+10 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 28500000 | -1.992 | -2.064 | 3.245 | 0.692 | -1.087 | -3.364 | 0.166 | OK | OK |
| 13 & 19 | 3500 | 1675923.075 | 4.99E+09 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 19000000 | -1.367 | -1.383 | 2.193 | 0.249 | -0.394 | -2.501 | 0.432 | OK | OK |
| 12 & 20 | 0 | 1642507.875 | 0.00E+00 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 9500000 | -0.702 | -0.695 | 1.111 | 0.000 | 0.000 | -1.397 | 0.409 | OK | OK |

Pemasangan segmen 11 dan 19

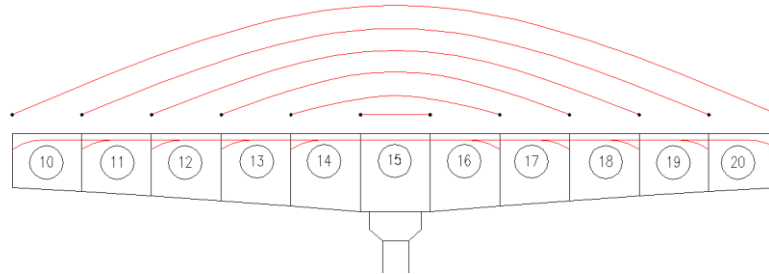


Gambar 5.11 Gambar Pemasangan Segmen 11 dan 19

Tabel 5.8 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 11 dan 19

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|-------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 16000 | 1186995 | 6.04E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 49000000 | -3.323 | -3.535 | 5.505 | 2.519 | -3.922 | -4.339 | -1.741 | OK | OK |
| 15 & 17 | 14000 | 1186995 | 4.43E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 49000000 | -3.323 | -3.535 | 5.505 | 1.846 | -2.874 | -5.012 | -0.693 | OK | OK |
| 14 & 18 | 10500 | 1712122.875 | 3.01E+10 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 39500000 | -2.760 | -2.861 | 4.498 | 1.374 | -2.160 | -4.248 | -0.423 | OK | OK |
| 13 & 19 | 7000 | 1675923.075 | 1.49E+10 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 30000000 | -2.158 | -2.184 | 3.462 | 0.741 | -1.175 | -3.600 | 0.129 | OK | OK |
| 12 & 20 | 3500 | 1642507.875 | 4.89E+09 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 20500000 | -1.515 | -1.500 | 2.397 | 0.267 | -0.426 | -2.749 | 0.455 | OK | OK |
| 11 & 21 | 0 | 1611761.25 | 0.00E+00 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 11000000 | -0.834 | -0.810 | 1.303 | 0.000 | 0.000 | -1.644 | 0.469 | OK | OK |

Pemasangan segmen 10 dan 20

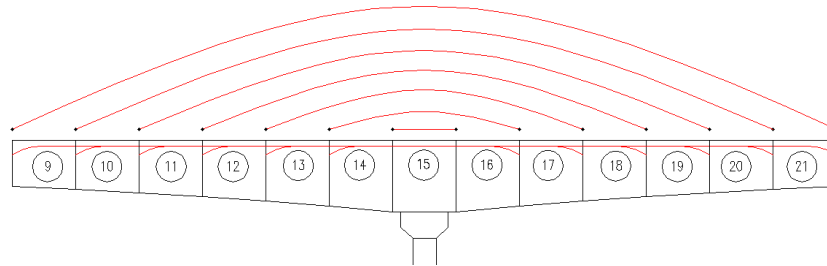


Gambar 5.12 Gambar Pemasangan Segmen 10 dan 20

Tabel 5.9 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 10 dan 20

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|-------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 19500 | 1186995 | 8.72E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 60000000 | -4.069 | -4.328 | 6.740 | 3.637 | -5.664 | -4.760 | -2.993 | OK | OK |
| 15 & 17 | 17500 | 1186995 | 6.76E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 60000000 | -4.069 | -4.328 | 6.740 | 2.817 | -4.386 | -5.581 | -1.715 | OK | OK |
| 14 & 18 | 14000 | 1712122.875 | 4.99E+10 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 50500000 | -3.529 | -3.658 | 5.750 | 2.275 | -3.576 | -4.912 | -1.355 | OK | OK |
| 13 & 19 | 10500 | 1675923.075 | 2.95E+10 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 41000000 | -2.949 | -2.984 | 4.731 | 1.473 | -2.336 | -4.460 | -0.553 | OK | OK |
| 12 & 20 | 7000 | 1642507.875 | 1.46E+10 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 31500000 | -2.328 | -2.305 | 3.683 | 0.796 | -1.271 | -3.838 | 0.084 | OK | OK |
| 11 & 21 | 3500 | 1611761.25 | 4.79E+09 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 22000000 | -1.669 | -1.620 | 2.606 | 0.287 | -0.461 | -3.002 | 0.477 | OK | OK |
| 10 & 22 | 0 | 1583799.225 | 0.00E+00 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 11000000 | -0.855 | -0.816 | 1.320 | 0.000 | 0.000 | -1.671 | 0.465 | OK | OK |

Pemasangan segmen 9 dan 21

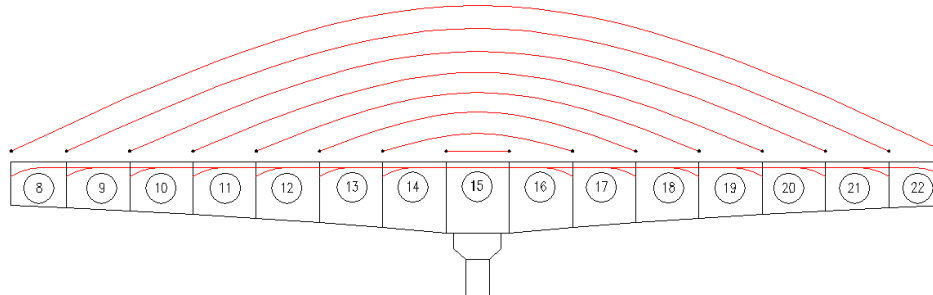


Gambar 5.13 Gambar Pemasangan Segmen 9 dan 21

Tabel 5.10 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 9 dan 21

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|-------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 23000 | 1186995 | 1.19E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 71000000 | -4.815 | -5.122 | 7.976 | 4.952 | -7.711 | -4.985 | -4.551 | OK | OK |
| 15 & 17 | 21000 | 1186995 | 9.56E+10 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 71000000 | -4.815 | -5.122 | 7.976 | 3.984 | -6.205 | -5.953 | -3.044 | OK | OK |
| 14 & 18 | 17500 | 1712122.875 | 7.44E+10 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 61500000 | -4.298 | -4.455 | 7.003 | 3.391 | -5.330 | -5.362 | -2.625 | OK | OK |
| 13 & 19 | 14000 | 1675923.075 | 4.89E+10 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 52000000 | -3.740 | -3.785 | 6.001 | 2.440 | -3.869 | -5.084 | -1.608 | OK | OK |
| 12 & 20 | 10500 | 1642507.875 | 2.90E+10 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 42500000 | -3.141 | -3.110 | 4.970 | 1.582 | -2.528 | -4.670 | -0.699 | OK | OK |
| 11 & 21 | 7000 | 1611761.25 | 1.43E+10 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 33000000 | -2.503 | -2.431 | 3.909 | 0.855 | -1.375 | -4.078 | 0.031 | OK | OK |
| 10 & 22 | 3500 | 1583799.225 | 4.71E+09 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 22000000 | -1.709 | -1.632 | 2.640 | 0.308 | -0.498 | -3.033 | 0.432 | OK | OK |
| 9 & 23 | 0 | 1558621.8 | 0.00E+00 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 22 sc | 5500000 | 2 | 11000000 | -0.874 | -0.822 | 1.336 | 0.000 | 0.000 | -1.696 | 0.463 | OK | OK |

Pemasangan segmen 8 dan 22

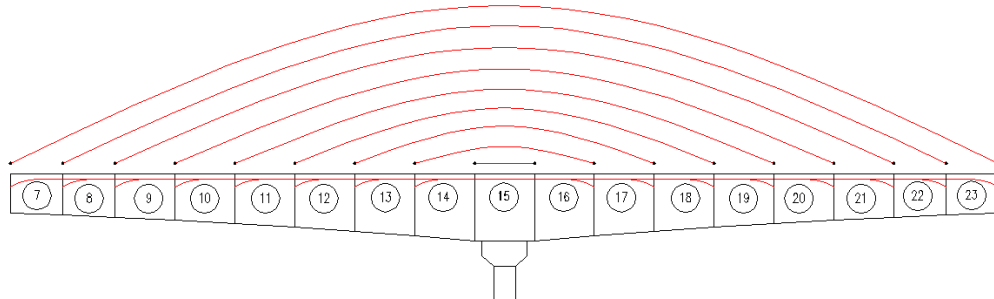


Gambar 5.14 Gambar Pemasangan Segmen 8 dan 22

Tabel 5.11 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 8 dan 22

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|-------|-------------|---------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 26500 | 1186995 | 1.55E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 82000000 | -5.561 | -5.915 | 9.212 | 6.460 | -10.060 | -5.017 | -6.409 | OK | OK |
| 15 & 17 | 24500 | 1186995 | 1.28E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 82000000 | -5.561 | -5.915 | 9.212 | 5.345 | -8.324 | -6.131 | -4.673 | OK | OK |
| 14 & 18 | 21000 | 1712122.875 | 1.03E+11 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 72500000 | -5.067 | -5.252 | 8.255 | 4.718 | -7.416 | -5.600 | -4.228 | OK | OK |
| 13 & 19 | 17500 | 1675923.075 | 7.29E+10 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 63000000 | -4.531 | -4.585 | 7.270 | 3.639 | -5.769 | -5.478 | -3.030 | OK | OK |
| 12 & 20 | 14000 | 1642507.875 | 4.80E+10 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 53500000 | -3.954 | -3.916 | 6.256 | 2.621 | -4.188 | -5.248 | -1.887 | OK | OK |
| 11 & 21 | 10500 | 1611761.25 | 2.84E+10 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 44000000 | -3.337 | -3.241 | 5.213 | 1.701 | -2.736 | -4.877 | -0.860 | OK | OK |
| 10 & 22 | 7000 | 1583799.225 | 1.41E+10 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 33000000 | -2.564 | -2.448 | 3.960 | 0.919 | -1.487 | -4.093 | -0.091 | OK | OK |
| 9 & 23 | 3500 | 1558621.8 | 4.64E+09 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 22 sc | 5500000 | 2 | 22000000 | -1.747 | -1.645 | 2.673 | 0.331 | -0.537 | -3.062 | 0.388 | OK | OK |
| 8 & 24 | 0 | 1536577.05 | 0.00E+00 | 12342600 | 1198 | 1954 | 1.55.E+13 | 973 | 22 sc | 5500000 | 2 | 11000000 | -0.891 | -0.829 | 1.352 | 0.000 | 0.000 | -1.721 | 0.461 | OK | OK |

Pemasangan segmen 7 dan 23

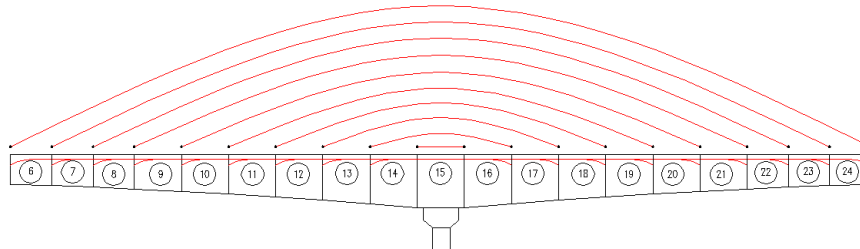


Gambar 5.15 Gambar Pemasangan Segmen 7 dan 23

Tabel 5.12 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 7 dan 23

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------------|--------|-------------|---------|----------------|--------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 30000 | 1186995 | 1.96E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 93000000 | -6.307 | -6.709 | 10.448 | 8.159 | -12.706 | -4.857 | -8.565 | OK | OK |
| 15 & 17 | 28000 | 1186995 | 1.65E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 93000000 | -6.307 | -6.709 | 10.448 | 6.897 | -10.740 | -6.119 | -6.600 | OK | OK |
| 14 & 18 | 24500 | 1712122.875 | 1.37E+11 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 83500000 | -5.835 | -6.048 | 9.508 | 6.253 | -9.830 | -5.630 | -6.158 | OK | OK |
| 13 & 19 | 21000 | 1675923.075 | 1.02E+11 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 74000000 | -5.322 | -5.386 | 8.540 | 5.065 | -8.031 | -5.643 | -4.813 | OK | OK |
| 12 & 20 | 17500 | 1642507.875 | 7.16E+10 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 64500000 | -4.767 | -4.721 | 7.542 | 3.911 | -6.248 | -5.577 | -3.473 | OK | OK |
| 11 & 21 | 14000 | 1611761.25 | 4.72E+10 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 55000000 | -4.171 | -4.051 | 6.516 | 2.820 | -4.536 | -5.402 | -2.191 | OK | OK |
| 10 & 22 | 10500 | 1583799.225 | 2.80E+10 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 44000000 | -3.418 | -3.264 | 5.280 | 1.829 | -2.959 | -4.853 | -1.098 | OK | OK |
| 9 & 23 | 7000 | 1558621.8 | 1.38E+10 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 22 sc | 5500000 | 2 | 33000000 | -2.621 | -2.467 | 4.009 | 0.988 | -1.605 | -4.101 | -0.217 | OK | OK |
| 8 & 24 | 3500 | 1536577.05 | 4.57E+09 | 12342600 | 1198 | 1954 | 1.55.E+13 | 973 | 22 sc | 5500000 | 2 | 22000000 | -1.782 | -1.659 | 2.704 | 0.354 | -0.577 | -3.087 | 0.344 | OK | OK |
| 7 & 25 | 0 | 1517548.95 | 0.00E+00 | 12129400 | 1134 | 1854 | 1.36.E+13 | 909 | 22 sc | 5500000 | 2 | 11000000 | -0.907 | -0.836 | 1.367 | 0.000 | 0.000 | -1.743 | 0.460 | OK | OK |

Pemasangan segmen 6 dan 24

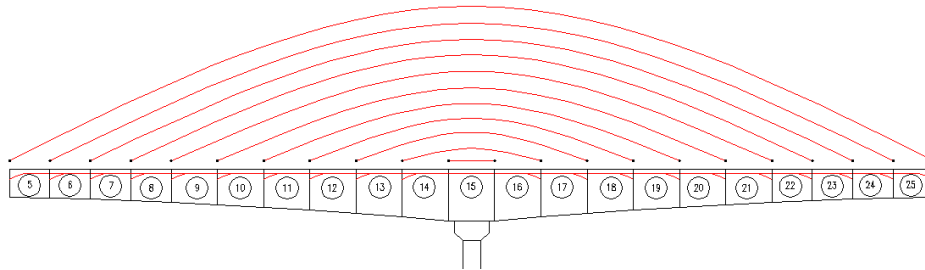


Gambar 5.16 Gambar Pemasangan Segmen 6 dan 24

Tabel 5.13 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 6 dan 24

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|--------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|----|
| | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | |
| 16 | 33500 | 1186995 | 2.41E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 106500000 | -7.223 | -7.683 | 11.964 | 10.046 | -15.644 | -4.860 | -10.903 | OK | OK |
| 15 & 17 | 31500 | 1186995 | 2.07E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 106500000 | -7.223 | -7.683 | 11.964 | 8.636 | -13.450 | -6.269 | -8.708 | OK | OK |
| 14 & 18 | 28000 | 1712122.875 | 1.75E+11 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 97000000 | -6.779 | -7.026 | 11.045 | 7.995 | -12.567 | -5.810 | -8.301 | OK | OK |
| 13 & 19 | 24500 | 1675923.075 | 1.35E+11 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 87500000 | -6.293 | -6.369 | 10.097 | 6.717 | -10.650 | -5.945 | -6.845 | OK | OK |
| 12 & 20 | 21000 | 1642507.875 | 9.97E+10 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 78000000 | -5.765 | -5.709 | 9.121 | 5.447 | -8.702 | -6.027 | -5.346 | OK | OK |
| 11 & 21 | 17500 | 1611761.25 | 7.04E+10 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 68500000 | -5.195 | -5.045 | 8.115 | 4.209 | -6.770 | -6.032 | -3.850 | OK | OK |
| 10 & 22 | 14000 | 1583799.225 | 4.64E+10 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 57500000 | -4.467 | -4.265 | 6.899 | 3.034 | -4.908 | -5.698 | -2.476 | OK | OK |
| 9 & 23 | 10500 | 1558621.8 | 2.76E+10 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 22 sc | 5500000 | 2 | 46500000 | -3.694 | -3.477 | 5.649 | 1.966 | -3.195 | -5.204 | -1.239 | OK | OK |
| 8 & 24 | 7000 | 1536577.05 | 1.37E+10 | 12342600 | 1198 | 1954 | 1.55.E+13 | 973 | 22 sc | 5500000 | 2 | 35500000 | -2.876 | -2.676 | 4.363 | 1.058 | -1.725 | -4.495 | -0.237 | OK | OK |
| 7 & 25 | 3500 | 1517548.95 | 4.51E+09 | 12129400 | 1134 | 1854 | 1.36.E+13 | 909 | 22 sc | 5500000 | 2 | 24500000 | -2.020 | -1.863 | 3.044 | 0.377 | -0.617 | -3.505 | 0.407 | OK | OK |
| 6 & 26 | 0 | 1501189.425 | 0.00E+00 | 11946100 | 1080 | 1767 | 1.20.E+13 | 855 | 27 sc | 6750000 | 2 | 13500000 | -1.130 | -1.035 | 1.694 | 0.000 | 0.000 | -2.165 | 0.564 | OK | OK |

Pemasangan segmen 5 dan 25

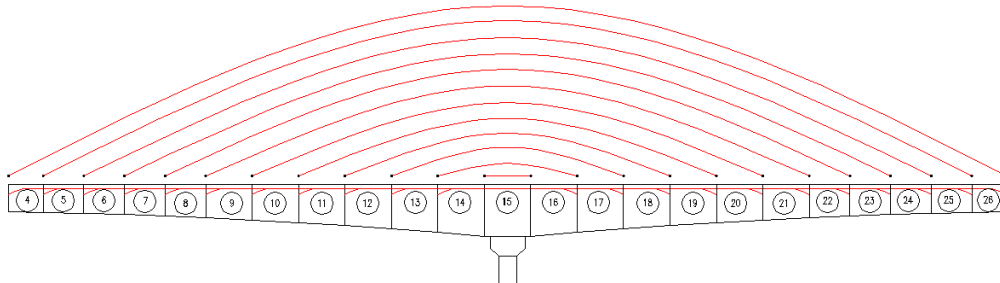


Gambar 5.17 Gambar Pemasangan Segmen 5 dan 25

Tabel 5.14 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 5 dan 25

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | | F.e.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|--------|---------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|----|
| | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | |
| 16 | 37000 | 1186995 | 2.91E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 120000000 | -8.138 | -8.656 | 13.481 | 12.119 | -18.873 | -4.676 | -13.530 | OK | OK |
| 15 & 17 | 35000 | 1186995 | 2.53E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 120000000 | -8.138 | -8.656 | 13.481 | 10.562 | -16.449 | -6.232 | -11.107 | OK | OK |
| 14 & 18 | 31500 | 1712122.875 | 2.18E+11 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 110500000 | -7.722 | -8.004 | 12.582 | 9.940 | -15.625 | -5.786 | -10.765 | OK | OK |
| 13 & 19 | 28000 | 1675923.075 | 1.72E+11 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 101000000 | -7.264 | -7.351 | 11.655 | 8.592 | -13.622 | -6.024 | -9.231 | OK | OK |
| 12 & 20 | 24500 | 1642507.875 | 1.32E+11 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 91500000 | -6.763 | -6.697 | 10.699 | 7.226 | -11.546 | -6.233 | -7.609 | OK | OK |
| 11 & 21 | 21000 | 1611761.25 | 9.81E+10 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 82000000 | -6.219 | -6.040 | 9.714 | 5.865 | -9.433 | -6.394 | -5.938 | OK | OK |
| 10 & 22 | 17500 | 1583799.225 | 6.93E+10 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 71000000 | -5.516 | -5.267 | 8.519 | 4.532 | -7.330 | -6.251 | -4.327 | OK | OK |
| 9 & 23 | 14000 | 1558621.8 | 4.58E+10 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 22 sc | 5500000 | 2 | 60000000 | -4.766 | -4.486 | 7.289 | 3.264 | -5.303 | -5.988 | -2.780 | OK | OK |
| 8 & 24 | 10500 | 1536577.05 | 2.72E+10 | 12342600 | 1198 | 1954 | 1.55.E+13 | 973 | 22 sc | 5500000 | 2 | 49000000 | -3.970 | -3.694 | 6.023 | 2.108 | -3.436 | -5.557 | -1.383 | OK | OK |
| 7 & 25 | 7000 | 1517548.95 | 1.35E+10 | 12129400 | 1134 | 1854 | 1.36.E+13 | 909 | 22 sc | 5500000 | 2 | 38000000 | -3.133 | -2.889 | 4.721 | 1.128 | -1.844 | -4.894 | -0.255 | OK | OK |
| 6 & 26 | 3500 | 1501189.425 | 4.47E+09 | 11946100 | 1080 | 1767 | 1.20.E+13 | 855 | 27 sc | 6750000 | 2 | 27000000 | -2.260 | -2.071 | 3.388 | 0.401 | -0.656 | -3.930 | 0.472 | OK | OK |
| 5 & 27 | 0 | 1487498.475 | 0.00E+00 | 11792700 | 1035 | 1694 | 1.08.E+13 | 810 | 27 sc | 6750000 | 2 | 13500000 | -1.145 | -1.044 | 1.709 | 0.000 | 0.000 | -2.189 | 0.564 | OK | OK |

Pemasangan segmen 4 dan 26

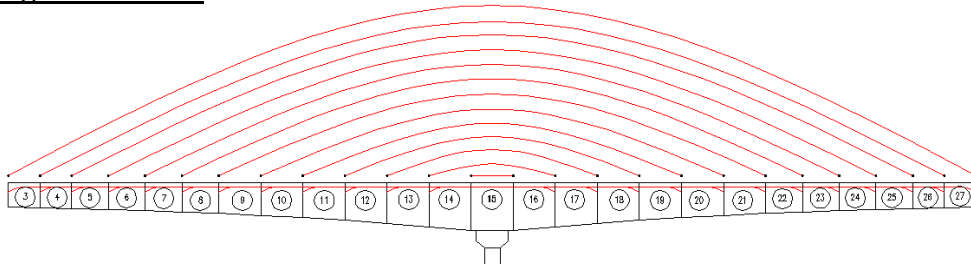


Gambar 5.18 Gambar Pemasangan Segmen 4 dan 26

Tabel 5.15 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 4 dan 26

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|--------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|----|
| | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | |
| 16 | 40500 | 1186995 | 3.45E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 133500000 | -9.054 | -9.630 | 14.997 | 14.376 | -22.389 | -4.308 | -16.445 | OK | OK |
| 15 & 17 | 38500 | 1186995 | 3.04E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 133500000 | -9.054 | -9.630 | 14.997 | 12.673 | -19.736 | -6.011 | -13.792 | OK | OK |
| 14 & 18 | 35000 | 1712122.875 | 2.65E+11 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 124000000 | -8.666 | -8.982 | 14.119 | 12.087 | -18.999 | -5.561 | -13.546 | OK | OK |
| 13 & 19 | 31500 | 1675923.075 | 2.14E+11 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 114500000 | -8.235 | -8.334 | 13.213 | 10.687 | -16.944 | -5.882 | -11.966 | OK | OK |
| 12 & 20 | 28000 | 1642507.875 | 1.69E+11 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 105000000 | -7.761 | -7.685 | 12.278 | 9.248 | -14.775 | -6.198 | -10.258 | OK | OK |
| 11 & 21 | 24500 | 1611761.25 | 1.30E+11 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 95500000 | -7.243 | -7.034 | 11.314 | 7.786 | -12.523 | -6.491 | -8.452 | OK | OK |
| 10 & 22 | 21000 | 1583799.225 | 9.66E+10 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 84500000 | -6.565 | -6.268 | 10.139 | 6.318 | -10.220 | -6.515 | -6.645 | OK | OK |
| 9 & 23 | 17500 | 1558621.8 | 6.84E+10 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 22 sc | 5500000 | 2 | 73500000 | -5.838 | -5.495 | 8.929 | 4.877 | -7.924 | -6.457 | -4.833 | OK | OK |
| 8 & 24 | 14000 | 1536577.05 | 4.52E+10 | 12342600 | 1198 | 1954 | 1.55.E+13 | 973 | 22 sc | 5500000 | 2 | 62500000 | -5.064 | -4.712 | 7.682 | 3.500 | -5.706 | -6.276 | -3.088 | OK | OK |
| 7 & 25 | 10500 | 1517548.95 | 2.69E+10 | 12129400 | 1134 | 1854 | 1.36.E+13 | 909 | 22 sc | 5500000 | 2 | 51500000 | -4.246 | -3.916 | 6.399 | 2.249 | -3.675 | -5.913 | -1.523 | OK | OK |
| 6 & 26 | 7000 | 1501189.425 | 1.34E+10 | 11946100 | 1080 | 1767 | 1.20.E+13 | 855 | 27 sc | 6750000 | 2 | 40500000 | -3.390 | -3.106 | 5.082 | 1.198 | -1.961 | -5.298 | -0.269 | OK | OK |
| 5 & 27 | 3500 | 1487498.475 | 4.43E+09 | 11792700 | 1035 | 1694 | 1.08.E+13 | 810 | 27 sc | 6750000 | 2 | 27000000 | -2.290 | -2.088 | 3.418 | 0.423 | -0.692 | -3.955 | 0.437 | OK | OK |
| 4 & 28 | 0 | 1476592.125 | 0.00E+00 | 11670500 | 999 | 1636 | 9.93.E+12 | 774 | 27 sc | 6750000 | 2 | 13500000 | -1.157 | -1.051 | 1.722 | 0.000 | 0.000 | -2.208 | 0.565 | OK | OK |

Pemasangan segmen 3 dan 27

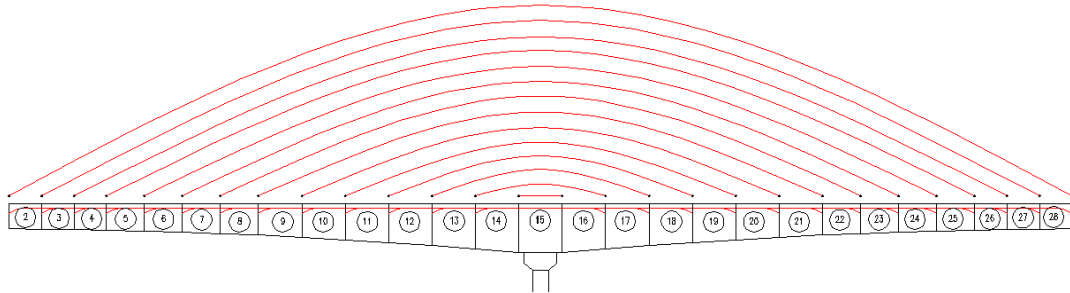


Gambar 5.19 Gambar Pemasangan Segmen 3 dan 27

Tabel 5.16 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 3 dan 27

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | | M _y /I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------|-------------------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|----|
| | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | |
| 16 | 44000 | 1186995 | 4.03E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 147000000 | -9.969 | -10.604 | 16.514 | 16.817 | -26.190 | -3.756 | -19.645 | OK | OK |
| 15 & 17 | 42000 | 1186995 | 3.59E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 147000000 | -9.969 | -10.604 | 16.514 | 14.966 | -23.307 | -5.607 | -16.763 | OK | OK |
| 14 & 18 | 38500 | 1712122.875 | 3.17E+11 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 137500000 | -9.609 | -9.960 | 15.656 | 14.434 | -22.689 | -5.135 | -16.641 | OK | OK |
| 13 & 19 | 35000 | 1675923.075 | 2.61E+11 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 128000000 | -9.206 | -9.316 | 14.771 | 13.002 | -20.614 | -5.521 | -15.049 | OK | OK |
| 12 & 20 | 31500 | 1642507.875 | 2.11E+11 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 118500000 | -8.759 | -8.673 | 13.857 | 11.509 | -18.389 | -5.922 | -13.291 | OK | OK |
| 11 & 21 | 28000 | 1611761.25 | 1.67E+11 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 109000000 | -8.267 | -8.028 | 12.913 | 9.969 | -16.034 | -6.326 | -11.388 | OK | OK |
| 10 & 22 | 24500 | 1583799.225 | 1.28E+11 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 98000000 | -7.614 | -7.270 | 11.759 | 8.392 | -13.574 | -6.492 | -9.428 | OK | OK |
| 9 & 23 | 21000 | 1558621.8 | 9.54E+10 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 22 sc | 5500000 | 2 | 87000000 | -6.910 | -6.505 | 10.569 | 6.803 | -11.054 | -6.612 | -7.395 | OK | OK |
| 8 & 24 | 17500 | 1536577.05 | 6.76E+10 | 12342600 | 1198 | 1954 | 1.55.E+13 | 973 | 22 sc | 5500000 | 2 | 76000000 | -6.158 | -5.730 | 9.341 | 5.233 | -8.531 | -6.655 | -5.347 | OK | OK |
| 7 & 25 | 14000 | 1517548.95 | 4.47E+10 | 12129400 | 1134 | 1854 | 1.36.E+13 | 909 | 22 sc | 5500000 | 2 | 65000000 | -5.359 | -4.943 | 8.076 | 3.738 | -6.107 | -6.564 | -3.390 | OK | OK |
| 6 & 26 | 10500 | 1501189.425 | 2.66E+10 | 11946100 | 1080 | 1767 | 1.20.E+13 | 855 | 27 sc | 6750000 | 2 | 54000000 | -4.520 | -4.141 | 6.776 | 2.390 | -3.910 | -6.272 | -1.654 | OK | OK |
| 5 & 27 | 7000 | 1487498.475 | 1.32E+10 | 11792700 | 1035 | 1694 | 1.08.E+13 | 810 | 27 sc | 6750000 | 2 | 40500000 | -3.434 | -3.131 | 5.127 | 1.265 | -2.071 | -5.301 | -0.378 | OK | OK |
| 4 & 28 | 3500 | 1476592.125 | 4.39E+09 | 11670500 | 999 | 1636 | 9.93.E+12 | 774 | 27 sc | 6750000 | 2 | 27000000 | -2.314 | -2.103 | 3.444 | 0.442 | -0.724 | -3.974 | 0.406 | OK | OK |
| 3 & 29 | 0 | 1468470.375 | 0.00E+00 | 11579500 | 972 | 1593 | 9.28.E+12 | 747 | 27 sc | 6750000 | 2 | 13500000 | -1.166 | -1.058 | 1.732 | 0.000 | 0.000 | -2.223 | 0.566 | OK | OK |

Pemasangan segmen 2 dan 28

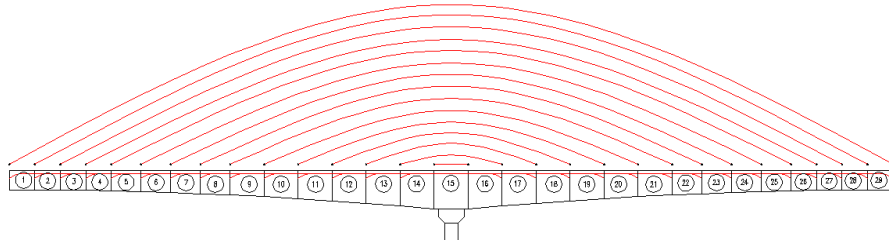


Gambar 5.20 Gambar Pemasangan Segmen 2 dan 28

Tabel 5.17 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 2 dan 28

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) Atas | F.e.y/I (Mpa) Bawah | M.y/I (Mpa) Atas | M.y/I (Mpa) Bawah | Resultan (Mpa) Atas | Resultan (Mpa) Bawah | Kondisi Penampang Atas | Kondisi Penampang Bawah |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|--------------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| 16 | 47500 | 1186995 | 4.66E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 160500000 | -10.885 | -11.578 | 18.031 | 19.440 | -30.275 | -3.023 | -23.129 | OK | OK |
| 15 & 17 | 45500 | 1186995 | 4.18E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 160500000 | -10.885 | -11.578 | 18.031 | 17.442 | -27.163 | -5.021 | -20.017 | OK | OK |
| 14 & 18 | 42000 | 1712122.875 | 3.72E+11 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 151000000 | -10.552 | -10.938 | 17.194 | 16.980 | -26.691 | -4.510 | -20.050 | OK | OK |
| 13 & 19 | 38500 | 1675923.075 | 3.11E+11 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 141500000 | -10.177 | -10.299 | 16.329 | 15.534 | -24.629 | -4.942 | -18.477 | OK | OK |
| 12 & 20 | 35000 | 1642507.875 | 2.56E+11 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 132000000 | -9.756 | -9.661 | 15.435 | 14.009 | -22.383 | -5.408 | -16.704 | OK | OK |
| 11 & 21 | 31500 | 1611761.25 | 2.08E+11 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 122500000 | -9.291 | -9.023 | 14.512 | 12.413 | -19.966 | -5.900 | -14.745 | OK | OK |
| 10 & 22 | 28000 | 1583799.225 | 1.64E+11 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 111500000 | -8.662 | -8.271 | 13.379 | 10.751 | -17.390 | -6.183 | -12.674 | OK | OK |
| 9 & 23 | 24500 | 1558621.8 | 1.27E+11 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 22 sc | 5500000 | 2 | 100500000 | -7.983 | -7.514 | 12.209 | 9.041 | -14.690 | -6.456 | -10.464 | OK | OK |
| 8 & 24 | 21000 | 1536577.05 | 9.43E+10 | 12342600 | 1198 | 1954 | 1.55.E+13 | 973 | 22 sc | 5500000 | 2 | 89500000 | -7.251 | -6.748 | 11.000 | 7.304 | -11.907 | -6.695 | -8.158 | OK | OK |
| 7 & 25 | 17500 | 1517548.95 | 6.69E+10 | 12129400 | 1134 | 1854 | 1.36.E+13 | 909 | 22 sc | 5500000 | 2 | 78500000 | -6.472 | -5.969 | 9.753 | 5.591 | -9.136 | -6.850 | -5.854 | OK | OK |
| 6 & 26 | 14000 | 1501189.425 | 4.43E+10 | 11946100 | 1080 | 1767 | 1.20.E+13 | 855 | 27 sc | 6750000 | 2 | 67500000 | -5.650 | -5.177 | 8.470 | 3.973 | -6.502 | -6.854 | -3.682 | OK | OK |
| 5 & 27 | 10500 | 1487498.475 | 2.64E+10 | 11792700 | 1035 | 1694 | 1.08.E+13 | 810 | 27 sc | 6750000 | 2 | 54000000 | -4.579 | -4.175 | 6.836 | 2.524 | -4.132 | -6.230 | -1.875 | OK | OK |
| 4 & 28 | 7000 | 1476592.125 | 1.32E+10 | 11670500 | 999 | 1636 | 9.93.E+12 | 774 | 27 sc | 6750000 | 2 | 40500000 | -3.470 | -3.154 | 5.165 | 1.324 | -2.168 | -5.301 | -0.473 | OK | OK |
| 3 & 29 | 3500 | 1468470.375 | 4.37E+09 | 11579500 | 972 | 1593 | 9.28.E+12 | 747 | 27 sc | 6750000 | 2 | 27000000 | -2.332 | -2.115 | 3.463 | 0.458 | -0.750 | -3.989 | 0.382 | OK | OK |
| 2 & 30 | 0 | 1463481.3 | 0.00E+00 | 11523600 | 956 | 1566 | 8.89.E+12 | 731 | 27 sc | 6750000 | 2 | 13500000 | -1.172 | -1.062 | 1.738 | 0.000 | 0.000 | -2.233 | 0.567 | OK | OK |

Pemasangan segmen 1 dan 29



Gambar 5.21 Gambar Pemasangan Segmen 1 dan 29

Tabel 5.18 Kontrol tegangan saat pemasangan segmen 1 dan 29

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girdler (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | Jenis Tendon | F(N) VSL | Jumlah | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | | |
|-----------|-------------|-----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|--------------|----------|--------|-----------------|-----------|---------|-------------|--------|----------------|--------|-------------------|-------|----|
| | | | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | |
| 16 | 51000 | 1186995 | 5.35E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 174000000 | -11.801 | -12.552 | 19.547 | 22.297 | -31.752 | -2.056 | -24.005 | OK | OK |
| 15 & 17 | 49000 | 1186995 | 4.83E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 19 sc | 4750000 | 2 | 174000000 | -11.801 | -12.552 | 19.547 | 20.151 | -31.382 | -4.201 | -23.635 | OK | OK |
| 14 & 18 | 45500 | 1712122.875 | 4.34E+11 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 19 sc | 4750000 | 2 | 164500000 | -11.496 | -11.916 | 18.731 | 19.781 | -31.095 | -3.630 | -23.860 | OK | OK |
| 13 & 19 | 42000 | 1675923.075 | 3.68E+11 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 19 sc | 4750000 | 2 | 155000000 | -11.148 | -11.282 | 17.887 | 18.346 | -29.087 | -4.083 | -22.349 | OK | OK |
| 12 & 20 | 38500 | 1642507.875 | 3.08E+11 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 19 sc | 4750000 | 2 | 145500000 | -10.754 | -10.649 | 17.014 | 16.815 | -26.866 | -4.588 | -20.606 | OK | OK |
| 11 & 21 | 35000 | 1611761.25 | 2.54E+11 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 22 sc | 5500000 | 2 | 136000000 | -10.315 | -10.017 | 16.112 | 15.192 | -24.436 | -5.139 | -18.639 | OK | OK |
| 10 & 22 | 31500 | 1583799.225 | 2.06E+11 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 22 sc | 5500000 | 2 | 125000000 | -9.711 | -9.273 | 14.999 | 13.476 | -21.798 | -5.508 | -16.510 | OK | OK |
| 9 & 23 | 28000 | 1558621.8 | 1.64E+11 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 22 sc | 5500000 | 2 | 114000000 | -9.055 | -8.524 | 13.849 | 11.678 | -18.975 | -5.900 | -14.181 | OK | OK |
| 8 & 24 | 24500 | 1536577.05 | 1.27E+11 | 12342600 | 1198 | 1954 | 1.55.E+13 | 973 | 22 sc | 5500000 | 2 | 103000000 | -8.345 | -7.766 | 12.660 | 9.808 | -15.990 | -6.302 | -11.675 | OK | OK |
| 7 & 25 | 21000 | 1517548.95 | 9.46E+10 | 12129400 | 1134 | 1854 | 1.36.E+13 | 909 | 22 sc | 5500000 | 2 | 92000000 | -7.585 | -6.996 | 11.431 | 7.913 | -12.929 | -6.668 | -9.083 | OK | OK |
| 6 & 26 | 17500 | 1501189.425 | 6.75E+10 | 11946100 | 1080 | 1767 | 1.20.E+13 | 855 | 27 sc | 6750000 | 2 | 81000000 | -6.780 | -6.212 | 10.164 | 6.059 | -9.914 | -6.933 | -6.530 | OK | OK |
| 5 & 27 | 14000 | 1487498.475 | 4.52E+10 | 11792700 | 1035 | 1694 | 1.08.E+13 | 810 | 27 sc | 6750000 | 2 | 67500000 | -5.724 | -5.219 | 8.545 | 4.317 | -7.069 | -6.626 | -4.247 | OK | OK |
| 4 & 28 | 10500 | 1476592.125 | 2.75E+10 | 11670500 | 999 | 1636 | 9.93.E+12 | 774 | 27 sc | 6750000 | 2 | 54000000 | -4.627 | -4.205 | 6.887 | 2.768 | -4.534 | -6.064 | -2.274 | OK | OK |
| 3 & 29 | 7000 | 1468470.375 | 1.43E+10 | 11579500 | 972 | 1593 | 9.28.E+12 | 747 | 27 sc | 6750000 | 2 | 40500000 | -3.498 | -3.173 | 5.195 | 1.502 | -2.460 | -5.168 | -0.762 | OK | OK |
| 2 & 30 | 3500 | 1463481.3 | 5.60E+09 | 11523600 | 956 | 1566 | 8.89.E+12 | 731 | 27 sc | 6750000 | 2 | 27000000 | -2.343 | -2.123 | 3.476 | 0.602 | -0.985 | -3.864 | 0.148 | OK | OK |
| 1 & 31 | 1000 | 1461392.85 | 1.24E+09 | 11500200 | 950 | 1554 | 8.73.E+12 | 725 | 27 sc | 6750000 | 2 | 13500000 | -1.174 | -1.063 | 1.741 | 0.135 | -0.221 | -2.102 | 0.346 | OK | OK |
| 0 | 0 | 728122.5 | 0.00E+00 | 11495000 | 948 | 1552 | 8.70.E+12 | 723 | 27 sc | 6750000 | 2 | 13500000 | -1.174 | -1.064 | 1.741 | 0.000 | 0.000 | -2.238 | 0.567 | OK | OK |

5.3.2 Perencanaan tendon menerus (Tahap 2)

Pada tahap ini jembatan mendapat beban tambahan berupa beban mati tambahan seperti aspal, pembatas jalan, air hujan dll. Selain itu juga mendapat beban lalu lintas. Tendon tengah dipasang dan dijacking setelah box girder pada tengah bentang telah dicor dan mengeras sehingga struktur telah menjadi statis tak tentu.

Berikut langkah-langkah perhitungannya :

1. Menghitung momen akibat beban mati tambahan yang bekerja pada jembatan.
 - Perhitungan beban mati

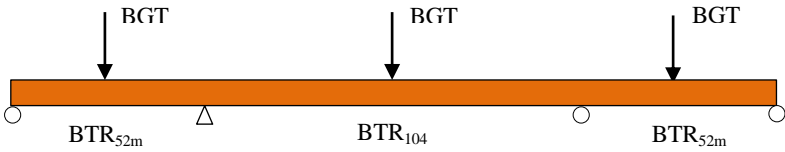
| | |
|----------------------|--------------------|
| Berat aspal | = 23,1 kN/m |
| Berat air hujan | = 6,25 kN/m |
| Berat pembatas jalan | <u>= 5,76 kN/m</u> |
| q1 | = 35,11 kN/m |

2. Menghitung beban lalu lintas
 - BTR₅₂ = 134 kN/m
 - BTR₁₀₄ = 109,58 kN/m
 - BGT = 614,5 kN
 - Beban Truck = 292,5 kN/m

Karena beban BGT lebih besar dari beban truck maka yang diambil untuk kombinasi pembebanan adalah BGT.

3. Merencanakan kombinasi pembebanan yang mungkin terjadi pada jembatan dengan menggunakan beban BTR dan BGT. Berikut adalah macam-macam kombinasi pembebanan yang mungkin terjadi pada jembatan.

Kombinasi 1

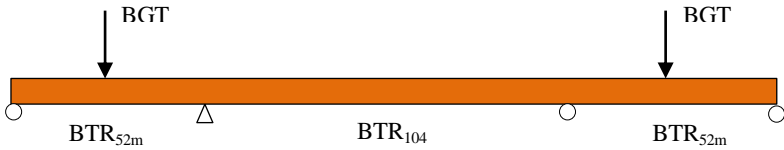


Gambar 5.22 Gambar Beban Lalu Lintas Kombinasi 1



Gambar 5.23 Gambar Momen Akibat Beban Kombinasi 1

Kombinasi 2

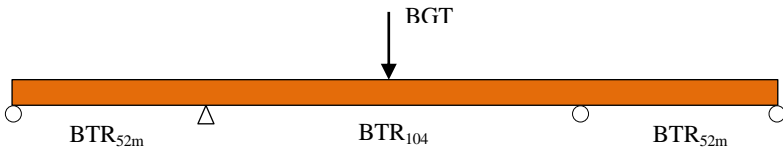


Gambar 5.24 Gambar Beban Lalu Lintas Kombinasi 2

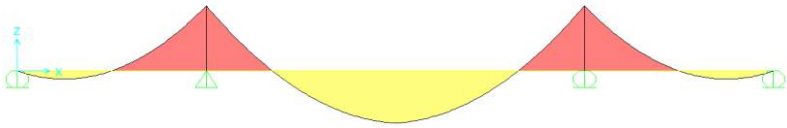


Gambar 5.25 Gambar Momen Akibat Beban Kombinasi 2

Kombinasi 3

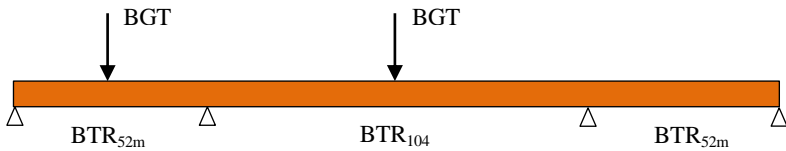


Gambar 5.26 Gambar Beban Lalu Lintas Kombinasi 3

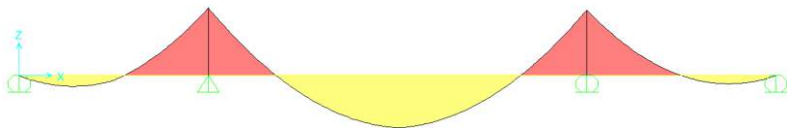


Gambar 5.27 Gambar Momen Akibat Beban Kombinasi 3

Kombinasi 4

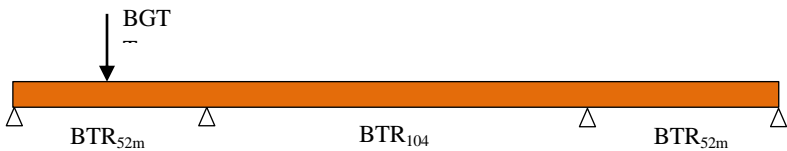


Gambar 5.28 Gambar Beban Lalu Lintas Kombinasi 4



Gambar 5.29 Gambar Momen Akibat Beban Kombinasi 4

Kombinasi 5



Gambar 5.30 Gambar Beban Lalu Lintas Kombinasi 5



Gambar 5.31 Gambar Momen Akibat Beban Kombinasi 5

Kombinasi 6

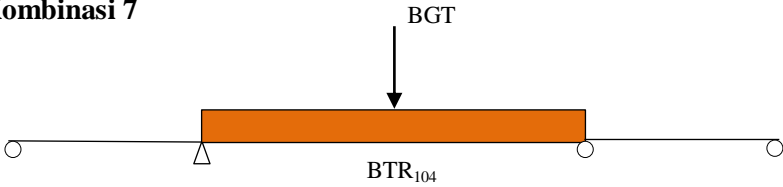


Gambar 5.32 Gambar Beban Lalu Lintas Kombinasi 6

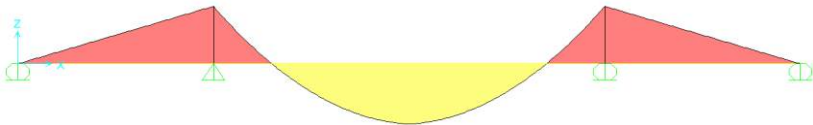


Gambar 5.33 Gambar Momen Akibat Beban Kombinasi 6

Kombinasi 7



Gambar 5.34 Gambar Beban Lalu Lintas Kombinasi 7

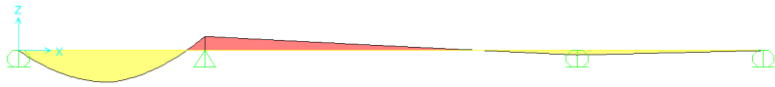


Gambar 5.35 Gambar Momen Akibat Beban Kombinasi 7

Kombinasi 8



Gambar 5.36 Gambar Beban Lalu Lintas Kombinasi 8

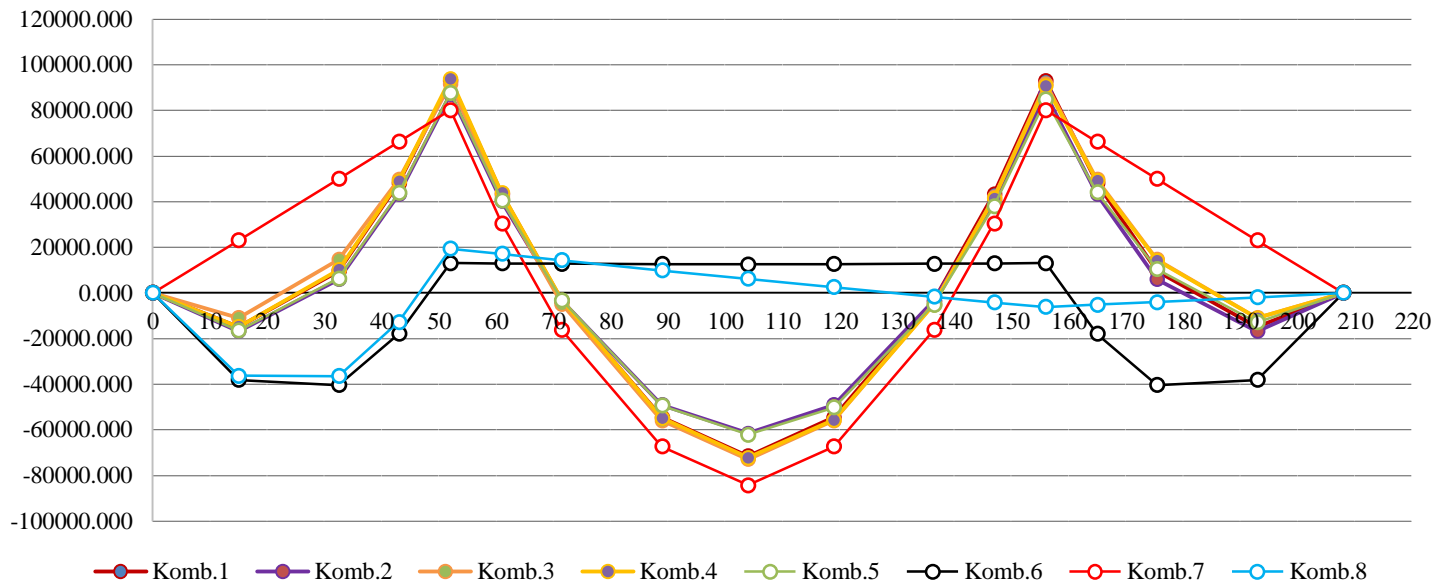


Gambar 5.37 Gambar Momen Akibat Beban Kombinasi 8

Dari kombinasi diatas diperoleh nilai momen sebagai berikut :

| Bentang | Kombinasi | | | | | | | |
|---------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 1 (kNm) | 2 (kNm) | 3 (kNm) | 4 (kNm) | 5 (kNm) | 6 (kNm) | 7 (kNm) | 8 (kNm) |
| 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 15 | -15014.886 | -16743.125 | -10838.195 | -14798.880 | -16546.620 | -38114.602 | 23061.134 | -36265.758 |
| 32.5 | 9661.590 | 5917.057 | 14716.834 | 10129.589 | 6342.820 | -40387.790 | 50059.138 | -36381.960 |
| 43 | 48269.430 | 43315.149 | 49796.112 | 48888.628 | 43878.445 | -17949.750 | 66306.000 | -12649.740 |
| 52 | 93149.173 | 87157.900 | 91651.366 | 93897.966 | 87839.139 | 13070.159 | 80261.045 | 19479.480 |
| 61 | 43389.590 | 40163.617 | 41891.788 | 43879.172 | 40628.354 | 12929.830 | 30544.217 | 17120.379 |
| 71.5 | -3409.340 | -3409.193 | -4907.147 | -3222.182 | -3207.247 | 12799.700 | -16215.081 | 14401.698 |
| 89 | -54475.145 | -49098.120 | -55972.951 | -54792.020 | -49358.646 | 12663.290 | -67239.323 | 9950.984 |
| 104 | -71450.823 | -61465.100 | -72948.630 | -72199.722 | -62146.350 | 12626.527 | -84203.751 | 6216.098 |
| 119 | -54475.145 | -49098.120 | -55972.951 | -55656.076 | -50222.701 | 12663.290 | -67239.323 | 2555.063 |
| 136.5 | -3409.340 | -3409.193 | -4907.147 | -5094.300 | -5079.368 | 12799.700 | -16215.081 | -1622.786 |
| 147 | 43389.590 | 40163.617 | 41891.788 | 41402.210 | 38151.385 | 12929.830 | 30544.217 | -4081.246 |
| 156 | 93149.173 | 87157.900 | 91651.366 | 90902.570 | 84843.750 | 13070.159 | 80261.045 | -6159.694 |
| 165 | 48269.430 | 43315.149 | 49796.112 | 49176.918 | 44166.734 | -17949.750 | 66306.000 | -5157.109 |
| 175.5 | 9661.590 | 5917.057 | 14716.834 | 14248.840 | 10462.076 | -40387.790 | 50059.138 | -3953.823 |
| 193 | -15014.886 | -16743.125 | -10838.195 | -11054.193 | -12801.930 | -38114.602 | 23061.134 | -1867.924 |
| 208 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Grafik Momen Kombinasi

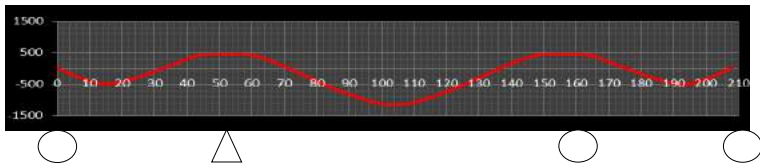


Gambar 5.38 Gambar Grafik Momen Beban Kombinasi

4. Merencanakan gaya pratekan Dan Jenis Tendon Menerus yang Dibutuhkan Untuk Memikul Momen Akibat Beban Hidup

Pada beton prategang, kontinuitas juga menghasilkan momen lentur yang tereduksi. Sekalipun demikian, momen lentur akibat gaya-gaya prategang yang eksentris menimbulkan reaksi sekunder dan momen lentur sekunder. Momen dan gaya sekunder ini memperbesar atau memperkecil efek utama dari gaya prategang eksentrik. Juga, efek perpendekan elastis, susut dan rangkak menjadi lebih besar dibandingkan dengan struktur menerus beton bertulang. (Edward G. Nawy, 2001) .

Direncanakan tendon menerus dengan F rencana tendon menerus sebesar 4800000 N (4 buah tendon VSL 6-48-48 sc sebesar 12000 N). Tendon menerus direncanakan dengan 5 kurva tendon dengan bentang yang berbeda tiap kurva, sehingga nilai e didapat akibat gaya yang bekerja pada tendon dan nilai tegangan yang bekerja harus sesuai dengan tegangan ijin.



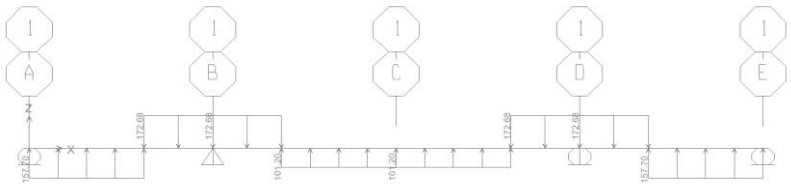
Gambar 5.39 Gambar Plot eksentrisitas tendon menerus

Tabel 5.19 Tabel beban ekuivalen arah tendon

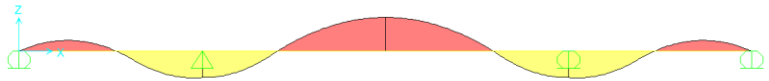
| Kurva | f (mm) | L (mm) | F (N) | q (N/mm) |
|-------|----------|----------|----------|------------|
| 1 | -494 | 32500 | 48000000 | -179.695 |
| 2 | 455 | 39000 | 48000000 | 114.914 |
| 3 | -1152 | 65000 | 48000000 | -104.699 |
| 4 | 455 | 39000 | 48000000 | 114.914 |
| 5 | -494 | 32500 | 48000000 | -179.695 |

Keterangan: f = eksentrisitas maksimum pada kurva
 L = panjang horizontal kurva
 F = gaya yang diperoleh oleh tendon
 $q = (8 \times f \times F) / L^2$
 = gaya yang terjadi akibat tendon menerus

Setelah menentukan tendon menerus, dapat dihitung momen sekunder yang disebabkan oleh gaya arah tendon. Perhitungan pada momen sekunder menggunakan SAP 2000.



Gambar 5.40 Gambar Pola Arah Gaya Tendon

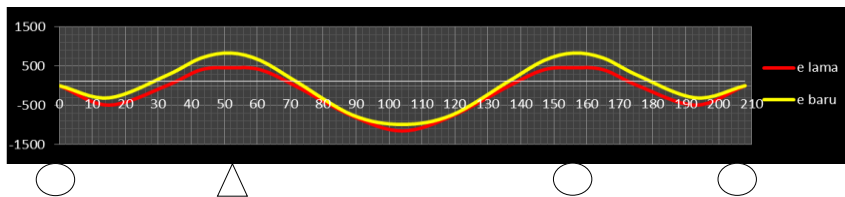


Gambar 5.41 Gambar Momen Sekunder

Setelah memperoleh momen sekunder, maka langkah selanjutnya adalah menentukan perpindahan eksentrisitas dengan cara membagi momen sekunder dengan gaya tendon yang sudah direncanakan.

Tabel 5.20 Perpindahan eksentrisitas akibat tendon menerus

| Bentang (m) | M sekunder (Nmm) | F (N) | e lama (mm) | e baru (mm) |
|-------------|------------------|----------|-------------|-------------|
| 0 | 0.000E+00 | 48000000 | 0 | 0 |
| 15 | -1.489E+10 | 48000000 | -494 | -310 |
| 32.5 | 1.248E+10 | 48000000 | 0 | 260 |
| 43 | 3.383E+10 | 48000000 | 408 | 705 |
| 52 | 3.995E+10 | 48000000 | 455 | 832 |
| 61 | 3.080E+10 | 48000000 | 408 | 642 |
| 71.5 | 5.913E+09 | 48000000 | 0 | 123 |
| 89 | -3.601E+10 | 48000000 | -779 | -750 |
| 104 | -4.736E+10 | 48000000 | -1152 | -987 |
| 119 | -3.601E+10 | 48000000 | -779 | -750 |
| 136.5 | 5.913E+09 | 48000000 | 0 | 123 |
| 147 | 3.080E+10 | 48000000 | 408 | 642 |
| 156 | 3.995E+10 | 48000000 | 455 | 832 |
| 165 | 3.383E+10 | 48000000 | 408 | 705 |
| 175.5 | 1.248E+10 | 48000000 | 0 | 260 |
| 193 | -1.489E+10 | 48000000 | -494 | -310 |
| 208 | 0.000E+00 | 48000000 | 0 | 0 |



Gambar 5.42 Plot perpindahan eksentrisitas

STRAND PROPERTIES – TO AS1311

| Nominal Diameter | Nominal Steel Area | Nominal Mass | Minimum Breaking Load | Minimum Proof Load (0.2% Offset) | Mn. Elong. to Fracture in 600mm | Relaxation After 1,000hrs at 6.7 Breaking Load | Modulus of Elasticity |
|------------------|--------------------|--------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|-----------------------|
| mm | mm ² | kg/m | kN | kN | % | % | MPa |
| 12.7 | 100.1 | 0.786 | 184 | 136.4 | 3.5 | 2.5 | 180-205 |
| 15.2 | 143.3 | 1.125 | 250 | 212.5 | 3.5 | 2.5 | $\pm 10^3$ |

TENDON PROPERTIES

| STRAND TYPE 12.7mm | | | |
|--------------------|----------------|--------------------------|---------------------------------|
| TENDON UNIT | No. OF STRANDS | Minimum Breaking Load kN | STEEL DUCT Internal Diameter mm |
| 5-3 | 2 | 368 | 39 |
| | 3 | 552 | 39 |
| 5-7 | 4 | 736 | 51 |
| | 5 | 920 | 51 |
| | 6 | 1100 | 51 |
| | 7 | 1290 | 51 |
| 5-12 | 8 | 1470 | 69 |
| | 9 | 1660 | 69 |
| | 10 | 1840 | 69 |
| | 11 | 2020 | 69 |
| | 12 | 2210 | 69 |
| 5-19 | 13 | 2390 | 84 |
| | 14 | 2580 | 84 |
| | 15 | 2760 | 84 |
| | 16 | 2940 | 84 |
| | 17 | 3130 | 84 |
| | 18 | 3310 | 84 |
| | 19 | 3500 | 84 |
| 5-22 | 20 | 3680 | 90 |
| | 21 | 3860 | 90 |
| | 22 | 4050 | 90 |
| | 23 | 4230 | 96 |
| 5-27 | 24 | 4420 | 96 |
| | 25 | 4600 | 96 |
| | 26 | 4780 | 96 |
| | 27 | 4970 | 96 |
| | 5-31 | 28 | 5150 |
| 29 | | 5340 | 105 |
| 30 | | 5520 | 105 |
| 31 | | 5700 | 105 |
| 5-37 | | 32 | 5890 |
| | 33 | 6070 | 115 |
| | 34 | 6260 | 115 |
| | 35 | 6440 | 115 |
| | 36 | 6620 | 115 |
| | 37 | 6810 | 115 |
| 5-42 | 38 | 6990 | 118 |
| | 39 | 7180 | 118 |
| | 40 | 7360 | 118 |
| | 41 | 7540 | 118 |
| | 42 | 7730 | 118 |
| 5-48 | 43 | 7910 | 127 |
| | 44 | 8100 | 127 |
| | 45 | 8280 | 127 |
| | 46 | 8460 | 127 |
| | 47 | 8650 | 127 |
| | 48 | 8830 | 127 |
| 5-55 | 49 | 9020 | 135 |
| | 50 | 9200 | 135 |
| | 51 | 9380 | 135 |
| | 52 | 9570 | 135 |
| | 53 | 9750 | 135 |
| | 54 | 9940 | 135 |
| | 55 | 10120 | 135 |

| STRAND TYPE 15.2mm | | | |
|--------------------|----------------|--------------------------|---------------------------------|
| TENDON UNIT | No. OF STRANDS | Minimum Breaking Load kN | STEEL DUCT Internal Diameter mm |
| 6-3 | 2 | 500 | 39 |
| | 3 | 750 | 39 |
| 6-4 | 4 | 1000 | 51 |
| 6-7 | 5 | 1250 | 69 |
| | 6 | 1500 | 69 |
| | 7 | 1750 | 69 |
| 6-12 | 8 | 2000 | 84 |
| | 9 | 2250 | 84 |
| | 10 | 2500 | 84 |
| | 11 | 2750 | 84 |
| | 12 | 3000 | 84 |
| 6-19 | 13 | 3250 | 96 |
| | 14 | 3500 | 96 |
| | 15 | 3750 | 96 |
| | 16 | 4000 | 96 |
| | 17 | 4250 | 96 |
| | 18 | 4500 | 96 |
| | 19 | 4750 | 96 |
| 6-22 | 20 | 5000 | 105 |
| | 21 | 5250 | 105 |
| | 22 | 5500 | 105 |
| 6-27 | 23 | 5750 | 115 |
| | 24 | 6000 | 115 |
| | 25 | 6250 | 115 |
| | 26 | 6500 | 115 |
| | 27 | 6750 | 115 |
| 6-31 | 28 | 7000 | 118 |
| | 29 | 7250 | 118 |
| | 30 | 7500 | 118 |
| | 31 | 7750 | 118 |
| 6-37 | 32 | 8000 | 127 |
| | 33 | 8250 | 127 |
| | 34 | 8500 | 127 |
| | 35 | 8750 | 127 |
| | 6-42 | 36 | 9000 |
| 37 | | 9250 | 135 |
| 38 | | 9500 | 135 |
| 39 | | 9750 | 135 |
| 40 | | 10000 | 135 |
| 41 | | 10250 | 135 |
| 6-48 | 42 | 10500 | 135 |
| | 43 | 10750 | 144 |
| | 44 | 11000 | 144 |
| | 45 | 11250 | 144 |
| | 46 | 11500 | 144 |
| 6-55 | 47 | 11750 | 144 |
| | 48 | 12000 | 144 |
| | 49 | 12250 | 154 |
| | 50 | 12500 | 154 |
| | 51 | 12750 | 154 |
| | 52 | 13000 | 154 |
| | 53 | 13250 | 154 |
| | 54 | 13500 | 154 |
| | 55 | 13750 | 154 |

Note: 1. Intermediate duct diameters may be available on application.

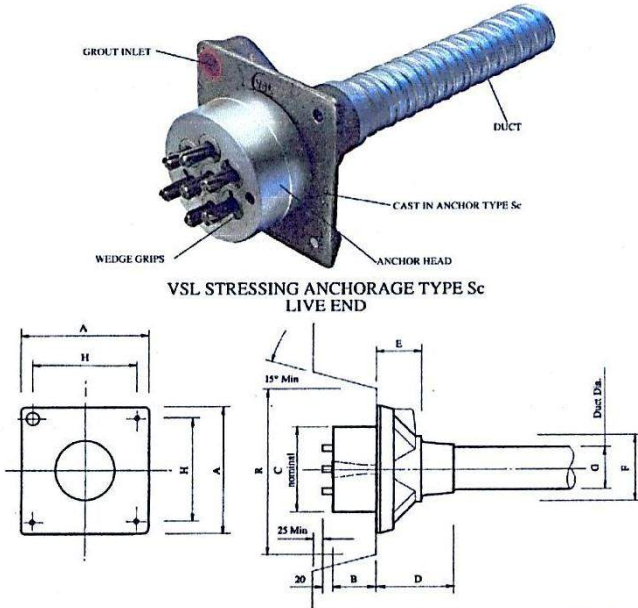
2. Duct diameters are for corrugated steel duct.

3. Duct external dia. = I. Dia. + 6mm nominal

4. Corrugated polyethylene PT-Plus™ duct is also available, refer page 14.

5. For special applications other strand and tendon capacities are available.

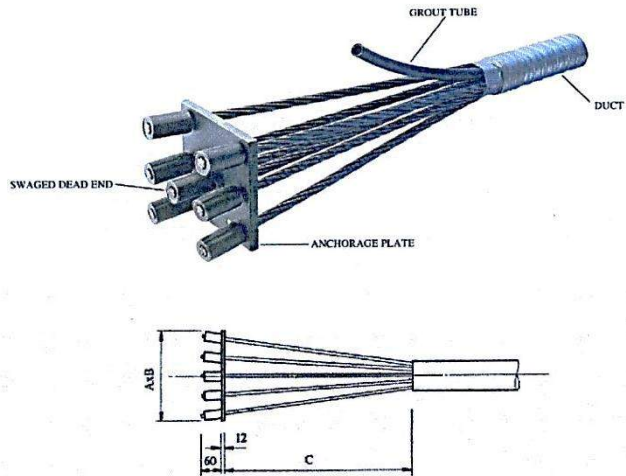
Gambar 5.43 Gambar Lampiran *Strand and Tendon Properties*



VSL STRESSING ANCHORAGE TYPE Sc
LIVE END

| TENDON UNIT | | Dimensions (mm) | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-----------------|-----|------|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|
| | | A | B | C | D | E | F | G Int. Dia. | H | R |
| STRAND TYPE 12.7mm | *5-3P | 135 | 57 | 90 | 191 | 16 | 56 | 39 | 116 | 210 |
| | *5-4P | 130 | 57 | 90 | 216 | 16 | 64 | 39 | 125 | 210 |
| | 5-7 | 165 | 57 | 120 | 100 | 60 | 85 | 51 | 125 | 275 |
| | 5-12 | 215 | 54 | 160 | 160 | 84 | 120 | 69 | 151 | 320 |
| | 5-19 | 265 | 66 | 180 | 210 | 110 | 145 | 84 | 200 | 360 |
| | 5-22 | 290 | 77 | 200 | 215 | 140 | 153 | 90 | 230 | 360 |
| | 5-27 | 315 | 92 | 220 | 250 | 160 | 176 | 96 | 250 | 360 |
| | 5-31 | 315 | 92 | 230 | 250 | 161 | 175 | 105 | 250 | 360 |
| | 5-37 | 370 | 107 | 250 | 320 | 160 | 200 | 115 | 305 | 650 |
| | 5-42 | 390 | 112 | 290 | 346 | 168 | 217 | 118 | 325 | 650 |
| 5-48 | 430 | 122 | 300 | 340 | 161 | 233 | 127 | 365 | 750 | |
| 5-55 | 465 | 142 | 320 | 340 | 160 | 400 | 135 | 400 | 750 | |
| STRAND TYPE 15.2mm | *6-3P | 150 | 60 | 90 | 190 | 16 | 56 | 39 | 116 | 210 |
| | *6-4P | 165 | 54 | 120 | 100 | 60 | 85 | 51 | 125 | 270 |
| | 6-7 | 215 | 54 | 160 | 160 | 85 | 120 | 69 | 150 | 320 |
| | 6-12 | 265 | 66 | 180 | 210 | 110 | 145 | 84 | 200 | 360 |
| | 6-19 | 315 | 92 | 220 | 250 | 160 | 175 | 96 | 250 | 360 |
| | 6-22 | 315 | 92 | 230 | 250 | 160 | 175 | 105 | 250 | 360 |
| | 6-27 | 370 | 107 | 250 | 320 | 160 | 200 | 115 | 305 | 650 |
| | 6-31 | 390 | 112 | 290 | 340 | 160 | 217 | 118 | 325 | 650 |
| | 6-37 | 430 | 122 | 300 | 340 | 160 | 235 | 135 | 365 | 750 |
| | 6-42 | 465 | 142 | 320 | 340 | 160 | 250 | 135 | 400 | 750 |
| *6-48P | 575 | 155 | 340 | 1035 | 110 | 269 | 144 | 495 | 900 | |
| *6-55P | 600 | 190 | 360 | 1070 | 120 | 294 | 154 | 520 | 900 | |

Gambar 5.44 Gambar ankur Hidup



| STRAND TYPE 12.7mm | | | |
|--------------------|-----------------|-----|------|
| TENDON UNIT | A | B | C |
| | Dimensions (mm) | | |
| 5-3 | 100 | 100 | 100 |
| 5-4 | 120 | 120 | 150 |
| 5-7 | 150 | 150 | 250 |
| 5-12 | 200 | 200 | 350 |
| 5-19 | 250 | 250 | 500 |
| 5-22 | 300 | 250 | 500 |
| 5-27 | 300 | 300 | 650 |
| 5-31 | 350 | 300 | 650 |
| 5-37 | 375 | 350 | 850 |
| 5-42 | 375 | 375 | 850 |
| 5-48 | 400 | 400 | 1000 |
| 5-55 | 425 | 425 | 1000 |

| STRAND TYPE 15.2mm | | | |
|--------------------|-----------------|-----|------|
| TENDON UNIT | A | B | C |
| | Dimensions (mm) | | |
| 6-3 | 150 | 150 | 250 |
| 6-4 | 150 | 150 | 250 |
| 6-7 | 200 | 200 | 350 |
| 6-12 | 250 | 250 | 500 |
| 6-19 | 300 | 300 | 500 |
| 6-22 | 300 | 300 | 500 |
| 6-27 | 350 | 350 | 650 |
| 6-31 | 350 | 350 | 650 |
| 6-37 | 400 | 350 | 850 |
| 6-42 | 400 | 350 | 850 |
| 6-48 | 475 | 475 | 1000 |
| 6-55 | 550 | 475 | 1000 |

Gambar 5.44 Gambar angkur mati

Perencanaan tendon menerus dibagi atas area momen negatif dan momen positif. Tendon direncanakan dengan menggunakan tendon strand seven wire stress relieved (7 kawat untai). Berikut adalah sebagai tendon sesuai tabel VSL :

Diameter = 15,2 mm
 Luas Nominal = 143,3 mm²
 Modulus Elastisitas = 200.000 MPa

Pada SNI T-12=2004, gaya transfer prategang sebesar $0,82 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$

$$\begin{aligned} f_{pu} &= \frac{\text{Minimum Breaking Load}}{A_s} \\ &= \frac{250.000}{143,3} \\ &= 1744,592 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{py} &= 0,85 \times f_{pu} \\ &= 0,85 \times 1744,592 \text{ MPa} \\ &= 1482,903 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas leleh} &= 0,82 \times f_{py} \\ &= 0,82 \times 1482,903 \text{ MPa} \\ &= 1215,98 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas putus} &= 0,74 \times f_{pu} \\ &= 0,74 \times 1744,592 \text{ MPa} \\ &= 1291 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dipakai nilai f_{pu} (tegangan ijin tarik sesaat setelah transfer) sebesar 1291 MPa. Untuk perencanaan tendon menerus akan dicoba pada ketujuh kombinasi beban hidup lalu lintas.

Dari perencanaan penampang box girder untuk kontrol tegangan akibat kombinasi 1 pada saat kondisi tekan akibat beban hidup sebagai berikut, diambil contoh untuk perhitungan pada $x = 52$ meter

Data perencanaan penampang box girder :

| No. Joint | H (m) | A (m ²) | Ya (m) | Yb (m) | I (m ⁴) | Wa (m ³) | Wb (m ³) | Ka (m) | Kb (m) |
|-----------|-------|---------------------|--------|--------|---------------------|----------------------|----------------------|--------|--------|
| 16 | 5.000 | 14.745 | 1.955 | 3.045 | 46.894 | 23.985 | 15.401 | 1.045 | 1.627 |

5. Kontrol Tegangan Beban Hidup Kombinasi 1 pada bentang 52 m

Serat Atas

$$\begin{aligned} f_{o \text{ menerus}} &= -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o \times e \times y_a}{I} - \frac{M_g \times y_a}{I} \\ &= -3,225 + 1,666 - 3,884 \\ &= -5,474 \text{ MPa (tekan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{o \text{ total}} &= f_{o \text{ menerus}} + f_{o \text{ kantilever}} \\ &= -5,474 \text{ MPa} + -4,201 \text{ MPa} \\ &= -9,675 \text{ Mpa} < \sigma_{\text{tarik}} = 3,87 \text{ Mpa} \dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

Serat Bawah

$$\begin{aligned} f_o &= -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o \times e \times y_b}{I} + \frac{M_g \times y_b}{I} \\ &= -3,225 + 3,965 - 3,641 \\ &= -2,931 \text{ Mpa (tekan)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{o \text{ total}} &= f_{o \text{ menerus}} + f_{o \text{ kantilever}} \\ &= -2,931 \text{ MPa} + -23,635 \text{ MPa} \\ &= -26,567 \text{ Mpa} < \sigma_{\text{tekan}} = 27 \text{ Mpa} \dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

Kontrol Tegangan Tendon Menerus Terhadap Beban Kombinasi Kombinasi 1

Tabel 5.21 Tabel Phitungan kontrol tendon menerus kombinasi 1

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |
| 15 | 1.5015.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.511 | 2.474 | -4.101 | -4.093 | -6.064 | -2.274 | -10.165 | -6.366 | OK | OK |
| 32.5 | -9.6616.E+09 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -0.748 | -1.220 | -3.670 | -3.533 | -5.900 | -14.181 | -9.571 | -17.713 | OK | OK |
| 43 | -4.8269.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.637 | -4.213 | -4.337 | -4.808 | -4.588 | -20.606 | -8.924 | -25.414 | OK | OK |
| 52 | -9.3149.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.965 | -3.884 | -3.641 | -5.474 | -2.931 | -4.201 | -23.635 | -9.675 | -26.567 | OK | OK |
| 61 | -4.3390.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.370 | -3.787 | -4.236 | -4.647 | -4.588 | -20.606 | -8.824 | -25.253 | OK | OK |
| 71.5 | 3.4093.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.264 | 0.431 | -3.167 | -2.712 | -5.900 | -14.181 | -9.067 | -16.893 | OK | OK |
| 89 | 5.4475.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 5.481 | 8.977 | -2.255 | -1.070 | -6.064 | -2.274 | -8.319 | -3.344 | OK | OK |
| 104 | 7.1451.E+10 | -986.632 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | -5.161 | -8.449 | 7.787 | 12.747 | -1.550 | 0.122 | -2.238 | 0.567 | -3.788 | 0.689 | OK | OK |
| 119 | 5.4475.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 5.481 | 8.977 | -2.255 | -1.070 | -6.064 | -2.274 | -8.319 | -3.344 | OK | OK |
| 136.5 | 3.4093.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.264 | 0.431 | -3.167 | -2.712 | -5.900 | -14.181 | -9.067 | -16.893 | OK | OK |
| 147 | -4.3390.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.370 | -3.787 | -4.236 | -4.647 | -4.588 | -20.606 | -8.824 | -25.253 | OK | OK |
| 156 | -9.3149.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.965 | -3.884 | -3.641 | -5.474 | -2.931 | -4.201 | -23.635 | -9.675 | -26.567 | OK | OK |
| 165 | -4.8269.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.637 | -4.213 | -4.337 | -4.808 | -4.588 | -20.606 | -8.924 | -25.414 | OK | OK |
| 175.5 | -9.6616.E+09 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -0.748 | -1.220 | -3.670 | -3.533 | -5.900 | -14.181 | -9.571 | -17.713 | OK | OK |
| 193 | 1.5015.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.511 | 2.474 | -4.101 | -4.093 | -6.064 | -2.274 | -10.165 | -6.366 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |

Kombinasi 2

Tabel 5.22 Tabel Perhitungan kontrol tendon menerus kombinasi 2

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |
| 15 | 1.6743.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.685 | 2.759 | -3.927 | -3.808 | -6.064 | -2.274 | -9.991 | -6.082 | OK | OK |
| 32.5 | -5.9171.E+09 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -0.458 | -0.747 | -3.380 | -3.060 | -5.900 | -14.181 | -9.281 | -17.241 | OK | OK |
| 43 | -4.3315.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.366 | -3.780 | -4.066 | -4.376 | -4.588 | -20.606 | -8.654 | -24.982 | OK | OK |
| 52 | -8.7158.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.112 | -3.634 | -3.001 | -5.224 | -3.144 | -4.201 | -23.635 | -9.425 | -26.780 | OK | OK |
| 61 | -4.0164.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.194 | -3.505 | -4.059 | -4.365 | -4.588 | -20.606 | -8.647 | -24.971 | OK | OK |
| 71.5 | 3.4092.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.264 | 0.430 | -3.167 | -2.712 | -5.900 | -14.181 | -9.067 | -16.893 | OK | OK |
| 89 | 4.9098.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 4.940 | 8.091 | -2.796 | -1.956 | -6.064 | -2.274 | -8.860 | -4.230 | OK | OK |
| 104 | 6.1465.E+10 | -986.632 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | -5.161 | -8.449 | 6.698 | 10.965 | -2.638 | -1.659 | -2.238 | 0.567 | -4.877 | -1.092 | OK | OK |
| 119 | 4.9098.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 4.940 | 8.091 | -2.796 | -1.956 | -6.064 | -2.274 | -8.860 | -4.230 | OK | OK |
| 136.5 | 3.4092.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.264 | 0.430 | -3.167 | -2.712 | -5.900 | -14.181 | -9.067 | -16.893 | OK | OK |
| 147 | -4.0164.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.194 | -3.505 | -4.059 | -4.365 | -4.588 | -20.606 | -8.647 | -24.971 | OK | OK |
| 156 | -8.7158.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.112 | -3.634 | -3.001 | -5.224 | -3.144 | -4.201 | -23.635 | -9.425 | -26.780 | OK | OK |
| 165 | -4.3315.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.366 | -3.780 | -4.066 | -4.376 | -4.588 | -20.606 | -8.654 | -24.982 | OK | OK |
| 175.5 | -5.9171.E+09 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -0.458 | -0.747 | -3.380 | -3.060 | -5.900 | -14.181 | -9.281 | -17.241 | OK | OK |
| 193 | 1.6743.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.685 | 2.759 | -3.927 | -3.808 | -6.064 | -2.274 | -9.991 | -6.082 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |

Kombinasi 3

Tabel 5.23 Tabel Perhitungan kontrol tendon menerus kombinasi 3

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |
| 15 | 1.0838.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.091 | 1.786 | -4.521 | -4.781 | -6.064 | -2.274 | -10.585 | -7.055 | OK | OK |
| 32.5 | -1.4717.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -1.140 | -1.858 | -4.062 | -4.171 | -5.900 | -14.181 | -9.962 | -18.352 | OK | OK |
| 43 | -4.9796.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.720 | -4.346 | -4.420 | -4.941 | -4.588 | -20.606 | -9.008 | -25.547 | OK | OK |
| 52 | -9.1651.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.112 | -3.821 | -2.998 | -5.411 | -3.141 | -4.201 | -23.635 | -9.612 | -26.777 | OK | OK |
| 61 | -4.1892.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.288 | -3.656 | -4.154 | -4.516 | -4.588 | -20.606 | -8.742 | -25.122 | OK | OK |
| 71.5 | 4.9071.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.380 | 0.620 | -3.051 | -2.523 | -5.900 | -14.181 | -8.951 | -16.703 | OK | OK |
| 89 | 5.5973.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 5.632 | 9.224 | -2.104 | -0.823 | -6.064 | -2.274 | -8.168 | -3.097 | OK | OK |
| 104 | 7.2949.E+10 | -986.632 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | -5.161 | -8.449 | 7.950 | 13.014 | -1.387 | 0.390 | -2.238 | 0.567 | -3.625 | 0.956 | OK | OK |
| 119 | 5.5973.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 5.632 | 9.224 | -2.104 | -0.823 | -6.064 | -2.274 | -8.168 | -3.097 | OK | OK |
| 136.5 | 4.9071.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.380 | 0.620 | -3.051 | -2.523 | -5.900 | -14.181 | -8.951 | -16.703 | OK | OK |
| 147 | -4.1892.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.288 | -3.656 | -4.154 | -4.516 | -4.588 | -20.606 | -8.742 | -25.122 | OK | OK |
| 156 | -9.1651.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.112 | -3.821 | -2.998 | -5.411 | -3.141 | -4.201 | -23.635 | -9.612 | -26.777 | OK | OK |
| 165 | -4.9796.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.720 | -4.346 | -4.420 | -4.941 | -4.588 | -20.606 | -9.008 | -25.547 | OK | OK |
| 175.5 | -1.4717.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -1.140 | -1.858 | -4.062 | -4.171 | -5.900 | -14.181 | -9.962 | -18.352 | OK | OK |
| 193 | 1.0838.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.091 | 1.786 | -4.521 | -4.781 | -6.064 | -2.274 | -10.585 | -7.055 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |

Kombinasi 4

Tabel 5.24 Tabel Perhitungan kontrol tendon menerus kombinasi 4

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |
| 15 | 1.4799.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.489 | 2.439 | -4.122 | -4.129 | -6.064 | -2.274 | -10.187 | -6.402 | OK | OK |
| 32.5 | -1.0130.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -0.785 | -1.279 | -3.707 | -3.592 | -5.900 | -14.181 | -9.607 | -17.773 | OK | OK |
| 43 | -4.8889.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.671 | -4.267 | -4.370 | -4.862 | -4.588 | -20.606 | -8.958 | -25.468 | OK | OK |
| 52 | -9.3898.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.111 | -3.877 | -3.001 | -5.467 | -3.145 | -4.201 | -23.635 | -9.668 | -26.781 | OK | OK |
| 61 | -4.3879.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.397 | -3.830 | -4.262 | -4.689 | -4.588 | -20.606 | -8.850 | -25.296 | OK | OK |
| 71.5 | 3.2222.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.250 | 0.407 | -3.181 | -2.735 | -5.900 | -14.181 | -9.082 | -16.916 | OK | OK |
| 89 | 5.4792.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 5.513 | 9.029 | -2.223 | -1.018 | -6.064 | -2.274 | -8.287 | -3.292 | OK | OK |
| 104 | 7.2200.E+10 | -986.632 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | -5.161 | -8.449 | 7.868 | 12.880 | -1.469 | 0.256 | -2.238 | 0.567 | -3.707 | 0.823 | OK | OK |
| 119 | 5.5656.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 5.600 | 9.171 | -2.136 | -0.876 | -6.064 | -2.274 | -8.200 | -3.149 | OK | OK |
| 136.5 | 5.0943.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.395 | 0.643 | -3.036 | -2.499 | -5.900 | -14.181 | -8.937 | -16.680 | OK | OK |
| 147 | -4.1402.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.262 | -3.613 | -4.127 | -4.473 | -4.588 | -20.606 | -8.715 | -25.080 | OK | OK |
| 156 | -9.0903.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 2.594 | -3.790 | -5.902 | -5.380 | -6.564 | -4.201 | -23.635 | -9.581 | -30.199 | OK | OK |
| 165 | -4.9177.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.686 | -4.292 | -4.386 | -4.887 | -4.588 | -20.606 | -8.974 | -25.493 | OK | OK |
| 175.5 | -1.4249.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -1.104 | -1.799 | -4.026 | -4.112 | -5.900 | -14.181 | -9.926 | -18.293 | OK | OK |
| 193 | 1.1054.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.112 | 1.822 | -4.499 | -4.746 | -6.064 | -2.274 | -10.563 | -7.019 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |

Kombinasi 5

Tabel 5.25 Tabel Perhitungan kontrol tendon menerus kombinasi 5

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |
| 15 | 1.6547.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.665 | 2.727 | -3.947 | -3.841 | -6.064 | -2.274 | -10.011 | -6.114 | OK | OK |
| 32.5 | -6.3428.E+09 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -0.491 | -0.801 | -3.413 | -3.114 | -5.900 | -14.181 | -9.314 | -17.294 | OK | OK |
| 43 | -4.3878.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.397 | -3.829 | -4.097 | -4.425 | -4.588 | -20.606 | -8.685 | -25.031 | OK | OK |
| 52 | -8.7839.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.933 | -3.662 | -3.761 | -5.252 | -3.083 | -4.201 | -23.635 | -9.453 | -26.719 | OK | OK |
| 61 | -4.0628.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.219 | -3.546 | -4.085 | -4.406 | -4.588 | -20.606 | -8.673 | -25.012 | OK | OK |
| 71.5 | 3.2072.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.248 | 0.405 | -3.183 | -2.737 | -5.900 | -14.181 | -9.083 | -16.918 | OK | OK |
| 89 | 4.9359.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 4.966 | 8.134 | -2.770 | -1.913 | -6.064 | -2.274 | -8.834 | -4.187 | OK | OK |
| 104 | 6.2146.E+10 | -986.632 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | -5.161 | -8.449 | 6.773 | 11.087 | -2.564 | -1.538 | -2.238 | 0.567 | -4.802 | -0.971 | OK | OK |
| 119 | 5.0223.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 5.053 | 8.276 | -2.683 | -1.771 | -6.064 | -2.274 | -8.747 | -4.044 | OK | OK |
| 136.5 | 5.0794.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.393 | 0.641 | -3.038 | -2.501 | -5.900 | -14.181 | -8.938 | -16.682 | OK | OK |
| 147 | -3.8151.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -2.084 | -3.330 | -3.949 | -4.190 | -4.588 | -20.606 | -8.537 | -24.796 | OK | OK |
| 156 | -8.4844.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.933 | -3.537 | -3.761 | -5.127 | -3.083 | -4.201 | -23.635 | -9.328 | -26.719 | OK | OK |
| 165 | -4.4167.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | -2.413 | -3.855 | -4.112 | -4.450 | -4.588 | -20.606 | -8.700 | -25.056 | OK | OK |
| 175.5 | -1.0462.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -0.810 | -1.321 | -3.732 | -3.634 | -5.900 | -14.181 | -9.633 | -17.815 | OK | OK |
| 193 | 1.2802.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 1.288 | 2.110 | -4.323 | -4.458 | -6.064 | -2.274 | -10.388 | -6.731 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |

Kombinasi 6

Tabel 5.26 Tabel Perhitungan kontrol tendon menerus kombinasi 6

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |
| 15 | 3.8115.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 3.835 | 6.281 | -1.776 | -0.286 | -6.064 | -2.274 | -7.841 | -2.560 | OK | OK |
| 32.5 | 4.0388.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | 3.128 | 5.100 | 0.206 | 2.787 | -5.900 | -14.181 | -5.694 | -11.394 | OK | OK |
| 43 | 1.7950.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | 0.980 | 1.567 | -0.719 | 0.971 | -4.588 | -20.606 | -5.307 | -19.635 | OK | OK |
| 52 | -1.3070.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 2.594 | -0.545 | -0.849 | -2.135 | -1.510 | -4.201 | -23.635 | -6.336 | -25.146 | OK | OK |
| 61 | -1.2930.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -0.706 | -1.128 | -2.572 | -1.988 | -4.588 | -20.606 | -7.160 | -22.595 | OK | OK |
| 71.5 | -1.2800.E+10 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | -0.991 | -1.616 | -4.422 | -4.759 | -5.900 | -14.181 | -10.323 | -18.939 | OK | OK |
| 89 | -1.2663.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | -1.274 | -2.087 | -9.010 | -12.134 | -6.064 | -2.274 | -15.075 | -14.407 | OK | OK |
| 104 | -1.2627.E+10 | -986.632 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | -5.161 | -8.449 | -1.376 | -2.253 | -10.713 | -14.877 | -2.238 | 0.567 | -12.951 | -14.310 | OK | OK |
| 119 | -1.2663.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | -1.274 | -2.087 | -9.010 | -12.134 | -6.064 | -2.274 | -15.075 | -14.407 | OK | OK |
| 136.5 | -1.2800.E+10 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | -0.991 | -1.616 | -4.422 | -4.759 | -5.900 | -14.181 | -10.323 | -18.939 | OK | OK |
| 147 | -1.2930.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -0.706 | -1.128 | -2.572 | -1.988 | -4.588 | -20.606 | -7.160 | -22.595 | OK | OK |
| 156 | -1.3070.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 2.594 | -0.545 | -0.849 | -2.135 | -1.510 | -4.201 | -23.635 | -6.336 | -25.146 | OK | OK |
| 165 | 1.7950.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | 0.980 | 1.567 | -0.719 | 0.971 | -4.588 | -20.606 | -5.307 | -19.635 | OK | OK |
| 175.5 | 4.0388.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | 3.128 | 5.100 | 0.206 | 2.787 | -5.900 | -14.181 | -5.694 | -11.394 | OK | OK |
| 193 | 3.8115.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 3.835 | 6.281 | -1.776 | -0.286 | -6.064 | -2.274 | -7.841 | -2.560 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |

Kombinasi 7

Tabel 5.27 Tabel Perhitungan kontrol tendon menerus kombinasi 7

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |
| 15 | -2.3061.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | -2.320 | -3.800 | -7.932 | -10.367 | -6.064 | -2.274 | -13.996 | -12.641 | OK | OK |
| 32.5 | -5.0059.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -3.877 | -6.321 | -6.799 | -8.634 | -5.900 | -14.181 | -12.700 | -22.815 | OK | OK |
| 43 | -6.6306.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 3.223 | -3.622 | -5.787 | -5.322 | -6.112 | -4.588 | -20.606 | -9.910 | -26.718 | OK | OK |
| 52 | -8.0261.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.441 | -3.346 | -3.411 | -4.936 | -3.225 | -4.201 | -23.635 | -9.137 | -26.861 | OK | OK |
| 61 | -3.0544.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -1.668 | -2.666 | -3.534 | -3.526 | -4.588 | -20.606 | -8.122 | -24.132 | OK | OK |
| 71.5 | 1.6215.E+10 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 1.256 | 2.048 | -2.175 | -1.095 | -5.900 | -14.181 | -8.075 | -15.276 | OK | OK |
| 89 | 6.7239.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 6.766 | 11.080 | -0.971 | 1.033 | -6.064 | -2.274 | -7.035 | -1.240 | OK | OK |
| 104 | 8.4204.E+10 | -986.632 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | -5.161 | -8.449 | 9.176 | 11.382 | -0.160 | -1.242 | -2.238 | 0.567 | -2.399 | -0.675 | OK | OK |
| 119 | 6.7239.E+10 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | 6.766 | 11.080 | -0.971 | 1.033 | -6.064 | -2.274 | -7.035 | -1.240 | OK | OK |
| 136.5 | 1.6215.E+10 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 1.256 | 2.048 | -2.175 | -1.095 | -5.900 | -14.181 | -8.075 | -15.276 | OK | OK |
| 147 | -3.0544.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -1.668 | -2.666 | -3.534 | -3.526 | -4.588 | -20.606 | -8.122 | -24.132 | OK | OK |
| 156 | -8.0261.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 3.441 | -3.346 | -3.411 | -4.936 | -3.225 | -4.201 | -23.635 | -9.137 | -26.861 | OK | OK |
| 165 | -6.6306.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 3.223 | -3.622 | -5.787 | -5.322 | -6.112 | -4.588 | -20.606 | -9.910 | -26.718 | OK | OK |
| 175.5 | -5.0059.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | -3.877 | -6.321 | -6.799 | -8.634 | -5.900 | -14.181 | -12.700 | -22.815 | OK | OK |
| 193 | -2.3061.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | -2.320 | -3.800 | -7.932 | -10.367 | -6.064 | -2.274 | -13.996 | -12.641 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |

Kombinasi 8

Tabel 5.28 Tabel Perhitungan kontrol tendon menerus kombinasi 8

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|----------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |
| 15 | 3.6266.E+10 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 3.649 | 5.976 | -1.962 | -0.591 | -6.064 | -2.274 | -8.027 | -2.865 | OK | OK |
| 32.5 | 3.6382.E+10 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | 2.818 | 4.594 | -0.104 | 2.281 | -5.900 | -14.181 | -6.005 | -11.899 | OK | OK |
| 43 | 1.2650.E+10 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | 0.691 | 1.104 | -1.009 | 0.509 | -4.588 | -20.606 | -5.597 | -20.098 | OK | OK |
| 52 | -1.9479.E+10 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 2.594 | -0.812 | -1.265 | -2.402 | -1.926 | -4.201 | -23.635 | -6.603 | -25.562 | OK | OK |
| 61 | -1.7120.E+10 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | -0.935 | -1.494 | -2.801 | -2.354 | -4.588 | -20.606 | -7.389 | -22.960 | OK | OK |
| 71.5 | -1.4402.E+10 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | -1.116 | -1.819 | -4.546 | -4.961 | -5.900 | -14.181 | -10.447 | -19.142 | OK | OK |
| 89 | -9.9510.E+09 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | -1.001 | -1.640 | -8.738 | -11.687 | -6.064 | -2.274 | -14.802 | -13.960 | OK | OK |
| 104 | -6.2161.E+09 | -986.632 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | -5.161 | -8.449 | -0.677 | -1.109 | -10.014 | -13.733 | -2.238 | 0.567 | -12.252 | -13.166 | OK | OK |
| 119 | -2.5551.E+09 | -750.219 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -3.623 | -5.934 | -0.257 | -0.421 | -7.993 | -10.468 | -6.064 | -2.274 | -14.058 | -12.742 | OK | OK |
| 136.5 | 1.6228.E+09 | 123.198 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.458 | 0.747 | 0.126 | 0.205 | -3.305 | -2.937 | -5.900 | -14.181 | -9.206 | -17.118 | OK | OK |
| 147 | 4.0812.E+09 | 641.633 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.682 | 2.688 | 0.223 | 0.356 | -1.643 | -0.504 | -4.588 | -20.606 | -6.230 | -21.110 | OK | OK |
| 156 | 6.1597.E+09 | 832.230 | 14745000 | 4.8.E+07 | -3.255 | 1.666 | 2.594 | 0.257 | 0.400 | -1.333 | -0.262 | -4.201 | -23.635 | -5.534 | -23.897 | OK | OK |
| 165 | 5.1571.E+09 | 704.801 | 13529500 | 4.8.E+07 | -3.548 | 1.848 | 2.953 | 0.282 | 0.450 | -1.418 | -0.145 | -4.588 | -20.606 | -6.006 | -20.751 | OK | OK |
| 175.5 | 3.9538.E+09 | 260.063 | 12342600 | 4.8.E+07 | -3.889 | 0.967 | 1.576 | 0.306 | 0.499 | -2.616 | -1.813 | -5.900 | -14.181 | -8.516 | -15.994 | OK | OK |
| 193 | 1.8679.E+09 | -310.282 | 11670500 | 4.8.E+07 | -4.113 | -1.499 | -2.454 | 0.188 | 0.308 | -5.424 | -6.259 | -6.064 | -2.274 | -11.488 | -8.533 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 4.8.E+07 | -4.176 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -4.176 | -4.176 | -2.238 | 0.567 | -6.414 | -3.609 | OK | OK |

5.4 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Dalam perencanaan beton pratekan, analisis gaya-gaya efektif dari tendon penting sekali untuk diketahui. Dalam buku T.Y Lin dan Ned H Burns tahun 1988 disebutkan bahwa kehilangan gaya prategang akan terjadi dalam dua tahap dan keduanya akan sangat mempengaruhi hasil akhir gaya-gaya efektif tendon yang akan terjadi.

Tahap pertama, pada saat setelah peralihan gaya prategang ke penampang beton, tegangan dievaluasi sebagai tolak ukur perilaku elemen struktur. Pada tahap ini kehilangan gaya prategang meliputi :

- **Perpendekan elastis beton (ES)**
- **Gesekan Kabel**
- **Slip Angkur**

Tahap kedua, pada saat beban bekerja setelah semua gaya prategang terjadi dan tingkatan prategang efektif jangka panjang telah tercapai. Akibat waktu yang lama akan terjadi kehilangan gaya prategang sebagai berikut :

- **Rangkak beton (CR)**
- **Susut (SH)**
- **Relaksasi baja (RE)**

5.4.1 Kehilangan Gaya Prategang Tahap Pertama

5.4.1.1 Perpendekan Elastis Beton (ES)

Pada struktur yang menggunakan kabel tunggal, tidak mengalami kehilangan gaya pratekan akibat perpendekan beton, karena gaya pada kabel diukur setelah perpendekan tersebut terjadi. Namun pada penampang yang memakai lebih dari satu kabel, maka kehilangan gaya pratekan ditentukan oleh kabel yang pertama ditarik dan memakai harga setengahnya untuk mendapatkan rata-rata semua kabel. Kehilangan gaya pada struktur pasca tarik didapat dari (T.Y Lin) :

$$ES = \Delta f_c = \frac{n \cdot PI}{Ac}$$

Keterangan : f_c = Tegangan pada Penampang
 PI = Gaya pratekan awal

Tahap Kantilefer

Tabel 5.29 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis pada Tahap Kantilefer

| Tendon | A (mm ²) | Fo (N) | ES | Kumulatif | Loss % |
|--------|----------------------|---------|--------|-----------|--------|
| 1 | 14.745 | 4750000 | 1.0576 | 21.050 | 1.206 |
| 2 | 14.310 | 4750000 | 1.0576 | 19.992 | 1.146 |
| 3 | 13.904 | 4750000 | 1.0898 | 18.902 | 1.083 |
| 4 | 13.530 | 4750000 | 1.1216 | 17.781 | 1.019 |
| 5 | 13.185 | 5500000 | 1.1526 | 16.628 | 0.953 |
| 6 | 12.872 | 5500000 | 1.3695 | 15.259 | 0.874 |
| 7 | 12.590 | 5500000 | 1.4028 | 13.856 | 0.794 |
| 8 | 12.343 | 5500000 | 1.4343 | 12.422 | 0.712 |
| 9 | 12.129 | 5500000 | 1.4630 | 10.959 | 0.628 |
| 10 | 11.946 | 6750000 | 1.4887 | 9.470 | 0.543 |
| 11 | 11.793 | 6750000 | 1.8550 | 7.615 | 0.436 |
| 12 | 11.671 | 6750000 | 1.8792 | 5.736 | 0.329 |
| 13 | 11.580 | 6750000 | 1.8989 | 3.837 | 0.220 |
| 14 | 11.524 | 6750000 | 1.9138 | 1.923 | 0.110 |
| 15 | 11.500 | 6750000 | 1.9231 | 0 | 0.000 |

Tahap Servis

Tabel 5.30 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis pada Tahap Servis

| Tendon | Fo (N) | ES | Kumulatif | Loss % |
|--------|----------|--------|-----------|--------|
| 1 | 48000000 | 12.768 | 60.619 | 3.474 |
| 2 | 48000000 | 10.687 | 49.932 | 2.861 |
| 3 | 48000000 | 13.709 | 36.223 | 2.076 |
| 4 | 48000000 | 10.687 | 25.535 | 1.463 |
| 5 | 48000000 | 12.768 | 12.768 | 0.732 |
| Total | | | | 10.606 |

5.4.1.2 Gesekan Kabel

Pada struktur beton pratekan dengan tendon yang melengkung diketahui adanya gesekan pada sistem penarik (*Jacking*) dan ankur sehingga tegangan yang ada pada tendon lebih kecil daripada yang terdapat pada alat baca (*pressure gauge*). Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon sangat dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong (*wooble*). Untuk itu digunakan koefisien *wooble*, K , dan koefisien kelengkungan μ . Kehilangan tegangan akibat friksi pada tendon paska tarik harus dihitung dengan rumus (T.Y. Lin) :

$$P_s = P_o \cdot e^{(K \cdot L_x + \mu \alpha)}$$

Bila $(K \cdot L_x + \mu \alpha)$ tidak lebih besar dari 0,3 maka kehilangan tegangan akibat friksi harus dihitung dengan rumus :

$$P_s = P_o (1 + K \cdot L_x + \mu \alpha)$$

Keterangan :

P_o = Gaya *Prestress* yang terjadi akibat *Jacking*

K = Koefisien *Wooble*

L_x = Panjang kabel yang ditinjau

μ = Koefisien friksi

α = Perubahan sudut akibat pengaruh kelengkungan

Tahap Kantilefer

Tabel 5.31 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Gesekan Kabel pada Tahap Kantilefer

| Tendon | L | μ | K | α | $-K.L - \mu.\alpha$ | Loss |
|--------|------|-------|-------|----------|---------------------|-------|
| 1 | 1 | 0.2 | 0.002 | 7.440 | -1.490 | 1.203 |
| 2 | 4.5 | 0.2 | 0.002 | 1.600 | -0.329 | 2.337 |
| 3 | 8 | 0.2 | 0.002 | 0.850 | -0.186 | 2.537 |
| 4 | 11.5 | 0.2 | 0.002 | 0.557 | -0.134 | 2.617 |
| 5 | 15 | 0.2 | 0.002 | 0.400 | -0.110 | 3.080 |
| 6 | 18.5 | 0.2 | 0.002 | 0.303 | -0.098 | 3.113 |
| 7 | 22 | 0.2 | 0.002 | 0.247 | -0.093 | 3.138 |
| 8 | 25.5 | 0.2 | 0.002 | 0.204 | -0.092 | 3.160 |
| 9 | 29 | 0.2 | 0.002 | 0.179 | -0.094 | 3.180 |
| 10 | 32.5 | 0.2 | 0.002 | 0.155 | -0.096 | 3.927 |
| 11 | 36 | 0.2 | 0.002 | 0.140 | -0.100 | 3.951 |
| 12 | 39.5 | 0.2 | 0.002 | 0.128 | -0.105 | 3.973 |
| 13 | 43 | 0.2 | 0.002 | 0.112 | -0.108 | 3.992 |
| 14 | 46.5 | 0.2 | 0.002 | 0.103 | -0.114 | 4.008 |
| 15 | 50 | 0.2 | 0.002 | 0.096 | -0.119 | 4.020 |

Tahap Servis

Tabel 5.32 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Gesekan Kabel pada Tahap Servis

| Tendon | L | μ | K | α | $-K.L - \mu.\alpha$ | Loss |
|---------|------|-------|-------|----------|---------------------|-------|
| Kurva 1 | 32.5 | 0.2 | 0.002 | 0.0738 | -0.080 | 2.910 |
| Kurva 2 | 39 | 0.2 | 0.002 | 0.0513 | -0.088 | 2.949 |
| Kurva 3 | 65 | 0.2 | 0.002 | 0.0369 | -0.137 | 2.698 |
| Kurva 4 | 39 | 0.2 | 0.002 | 0.0513 | -0.088 | 2.949 |
| Kurva 5 | 32.5 | 0.2 | 0.002 | 0.0738 | -0.080 | 2.910 |

5.4.1.3 Slip Angkur (ANC)

Pada perencanaan tendon post tension kehilangan akibat slip angkur sesuai VSL terbesar yaitu 3%. Jadi untuk kehilangan prategang akibat slip angkur direncanakan 3 %

5.4.2 Kehilangan Gaya Prategang Tahap Kedua

5.4.2.1 Rangkak Beton (CR)

Rangkak pada beton terjadi karena deformasi akibat adanya tegangan pada beton sebagai satu fungsi waktu. Pada struktur beton pratekan, rangkak mengakibatkan berkurangnya tegangan pada penampang (T.Y. Lin) :

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{ci} - f_{cd})$$

Keterangan :

K_{cr} = Koefisien rangkak

= 2,0 untuk pratarik

= 1,6 untuk pasca tarik

E_s = Modulus elastisitas baja pratekan

E_c = Modulus elastisitas beton umur 28 hari

f_{ci} = Tegangan beton pada level pusat baja setelah transfer

f_{cd} = Tegangan beton akibat beban mati ekstra setelah diberi pratekan

Tahap Kantilefer

Tabel 5.33 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Rangkak Beton pada Tahap Kantilefer

| Tendon | Mg | e | Fo | Kcr | fcir-fcds | CR (Mpa) | Loss % |
|--------|----------|------|-----------|-----|-----------|----------|--------|
| | Nmm | mm | N | | | | |
| 1 | 4.83E+11 | 1730 | 174000000 | 1.6 | 6.0316 | 63.3660 | 3.6313 |
| 2 | 4.34E+11 | 1589 | 164500000 | 1.6 | 5.5268 | 58.0634 | 3.3274 |
| 3 | 3.68E+11 | 1459 | 155000000 | 1.6 | 4.3985 | 46.2097 | 2.6481 |
| 4 | 3.08E+11 | 1340 | 145500000 | 1.6 | 3.2495 | 34.1385 | 1.9564 |
| 5 | 2.54E+11 | 1232 | 136000000 | 1.6 | 2.0917 | 21.9749 | 1.2593 |
| 6 | 2.06E+11 | 1135 | 125000000 | 1.6 | 0.9314 | 9.7848 | 0.5607 |
| 7 | 1.64E+11 | 1048 | 114000000 | 1.6 | 0.0967 | 1.0160 | 0.0582 |
| 8 | 1.27E+11 | 973 | 103000000 | 1.6 | 1.0883 | 11.4331 | 0.6552 |
| 9 | 9.46E+10 | 909 | 92000000 | 1.6 | 2.0019 | 21.0319 | 1.2053 |
| 10 | 6.75E+10 | 855 | 81000000 | 1.6 | 2.7884 | 29.2941 | 1.6787 |
| 11 | 4.52E+10 | 810 | 67500000 | 1.6 | 3.4021 | 35.7414 | 2.0482 |
| 12 | 2.75E+10 | 774 | 54000000 | 1.6 | 3.5791 | 37.6015 | 2.1548 |
| 13 | 1.43E+10 | 747 | 40500000 | 1.6 | 3.4725 | 36.4812 | 2.0906 |
| 14 | 5.60E+09 | 731 | 27000000 | 1.6 | 3.0374 | 31.9103 | 1.8287 |
| 15 | 1.24E+09 | 725 | 13500000 | 1.6 | 2.2400 | 23.5327 | 1.3486 |

Tahap Servis

Tabel 5.34 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Rangkak Beton pada Tahap Servis

| Tendon | Mg | e | Fo | Kcr | fcir-fcds | CR (Mpa) | Loss % |
|--------|-------------|------|----------|-----|-----------|----------|--------|
| | Nmm | mm | N | | | | |
| 1 | 38114602000 | 494 | 48000000 | 1.6 | 2.7573 | 28.9673 | 1.6600 |
| 2 | 93149172800 | 455 | 48000000 | 1.6 | 2.3512 | 24.7012 | 1.4155 |
| 3 | 71450823000 | 1152 | 48000000 | 1.6 | 5.2495 | 55.1505 | 3.1605 |
| 4 | 93149172800 | 455 | 48000000 | 1.6 | 2.3512 | 24.7012 | 1.4155 |
| 5 | 38114602000 | 494 | 48000000 | 1.6 | 2.7573 | 28.9673 | 1.6600 |

5.4.2.2 Susut (SH)

Besarnya susut beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, tipe perawatan, waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian pratekan, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan. Struktur pascatarik, kehilangan pratekan akibat susut agak lebih kecil karena sebagian susut telah terjadi sebelum pemberian pasca tarik. Besarnya kehilangan pratekan akibat susut pada beton dapat dihitung dengan rumus (T.Y. Lin), yaitu :

$$SH = \varepsilon_{CS} E_s$$

Keterangan :

E_s = Modulus elastisitas baja pratekan

ε_{CS} = Regangan Susut sisa total
 nilai Pratarik : 300×10^{-6}
 nilai Pratekan : $\frac{200 \times 10^{-6}}{\text{Log}(t+2)}$

t = usia beton waktu pratekan (dalam hari)

Tahap Kantilefer

Tabel 5.35 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Susut pada Tahap Kantilefer

| Tendon | V/S | RH (%) | 1- (0.06xV/S) | 100-RH | SH | Loss % |
|--------|-------|--------|---------------|--------|--------|--------|
| 1 | 4.721 | 75 | 0.7167 | 25 | 23.508 | 1.347 |
| 2 | 4.682 | 75 | 0.7191 | 25 | 23.585 | 1.352 |
| 3 | 4.645 | 75 | 0.7213 | 25 | 23.660 | 1.356 |
| 4 | 4.608 | 75 | 0.7235 | 25 | 23.731 | 1.360 |
| 5 | 4.573 | 75 | 0.7256 | 25 | 23.800 | 1.364 |
| 6 | 4.541 | 75 | 0.7276 | 25 | 23.864 | 1.368 |
| 7 | 4.510 | 75 | 0.7294 | 25 | 23.924 | 1.371 |
| 8 | 4.483 | 75 | 0.7310 | 25 | 23.978 | 1.374 |
| 9 | 4.458 | 75 | 0.7325 | 25 | 24.026 | 1.377 |

| | | | | | | |
|----|-------|----|--------|----|--------|-------|
| 10 | 4.437 | 75 | 0.7338 | 25 | 24.068 | 1.379 |
| 11 | 4.419 | 75 | 0.7349 | 25 | 24.104 | 1.381 |
| 12 | 4.404 | 75 | 0.7358 | 25 | 24.133 | 1.383 |
| 13 | 4.393 | 75 | 0.7364 | 25 | 24.155 | 1.384 |
| 14 | 4.386 | 75 | 0.7368 | 25 | 24.168 | 1.385 |
| 15 | 4.383 | 75 | 0.7370 | 25 | 24.174 | 1.385 |

Tahap Servis

Tabel 5.36 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Susut pada Tahap Servis

| Tendon | V/S | RH (%) | 1-(0.06xV/S) | 100-RH | SH | Loss % |
|---------|-------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| Kurva 1 | 4.458 | 75 | 0.7325 | 25 | 24.026 | 1.377 |
| Kurva 2 | 4.573 | 75 | 0.7256 | 25 | 23.800 | 1.364 |
| Kurva 3 | 4.383 | 75 | 0.7370 | 25 | 24.174 | 1.385 |
| Kurva 4 | 4.573 | 75 | 0.7256 | 25 | 23.800 | 1.364 |
| Kurva 5 | 4.458 | 75 | 0.7325 | 25 | 24.026 | 1.377 |

5.4.2.3 Relaksasi Baja (RE)

Akibat terjadinya perpendekan elastis (kehilangan gaya pratekan seketika setelah peralihan) dan gaya pratekan yang terganung waktu, CR dan SH ada pengurangan berkelanjutan pada tegangan beton, jadi kehilangan gaya prategang akibat relaksasi berkurang. Sebenarnya balok prategang mengalami perubahan regangan baja yang konstan di dalam tendon bola terjadi rangkai yang tergantung pada nilai waktu. Oleh karena itu, ACI memberikan rumus untuk menghitung kehilangan gaya pratekan dimana nilai dari Kre, J dan C tergantung dari jenis dan tipe tendon dimana untuk strand atau kawat stress yang dipakai adalah *relieved* derajat 1,745 Mpa (T.Y. Lin), adapun perumusan tersebut yaitu :

$$RE = C (KRE - J (SH + CR + ES))$$

Keterangan :

ES = Koefisien Relaksasi

J = Faktor waktu

C = Faktor Relaksasi

SH = Kehilangan tegangan akibat susut

CR = Kehilangan tegangan akibat rangkai

ES = Modulus elastisitas baja pratekan

Tahap Kantilefer

Tabel 5.37 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja pada Tahap Kantilefer

| Tendon | Fpu | SH | CR | ES | RE | Loss |
|--------|------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | % |
| 1 | 0.85 | 23.508 | 63.366 | 21.050 | 165.663 | 9.494 |
| 2 | 0.85 | 23.585 | 58.063 | 19.992 | 166.945 | 9.567 |
| 3 | 0.85 | 23.660 | 46.210 | 18.902 | 169.571 | 9.718 |
| 4 | 0.85 | 23.731 | 34.138 | 17.781 | 172.247 | 9.871 |
| 5 | 0.85 | 23.800 | 21.975 | 16.628 | 174.950 | 10.026 |
| 6 | 0.85 | 23.864 | 9.785 | 15.259 | 177.703 | 10.184 |
| 7 | 0.85 | 23.924 | 1.016 | 13.856 | 179.766 | 10.302 |
| 8 | 0.85 | 23.978 | 11.433 | 12.422 | 177.922 | 10.196 |
| 9 | 0.85 | 24.026 | 21.032 | 10.959 | 176.253 | 10.100 |
| 10 | 0.85 | 24.068 | 29.294 | 9.470 | 174.862 | 10.021 |
| 11 | 0.85 | 24.104 | 35.741 | 7.615 | 173.918 | 9.967 |
| 12 | 0.85 | 24.133 | 37.601 | 5.736 | 173.916 | 9.967 |
| 13 | 0.85 | 24.155 | 36.481 | 3.837 | 174.528 | 10.002 |
| 14 | 0.85 | 24.168 | 31.910 | 1.923 | 175.848 | 10.077 |
| 15 | 0.85 | 24.174 | 23.533 | 0.000 | 177.948 | 10.198 |

Tahap Servis

Tabel 5.38 Tabel Kehilangan Prategang Akibat Relaksasi Baja pada Tahap Servis

| Tendon | Fpu | SH | CR | ES | RE | Loss |
|---------|------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | | Mpa | Mpa | Mpa | Mpa | % |
| Kurva 1 | 0.85 | 24.026 | 28.967 | 12.768 | 174.265 | 9.987 |
| Kurva 2 | 0.85 | 23.800 | 24.701 | 10.687 | 175.606 | 10.063 |
| Kurva 3 | 0.85 | 24.174 | 55.150 | 13.709 | 168.701 | 9.668 |
| Kurva 4 | 0.85 | 23.800 | 24.701 | 10.687 | 175.606 | 10.063 |
| Kurva 5 | 0.85 | 24.026 | 28.967 | 12.768 | 174.265 | 9.987 |

5.4.3 Perhitungan Kehilangan Prategang Total

Kehilangan gaya prategang total dihitung dengan persamaan berikut :

$$TL = ES + WE + CR + SH + RE$$

Tahap Kantilefer

Tabel 5.39 Tabel Kehilangan Prategang Total Tahap Kantilefer

| Tendon | ES % | Wobble Effect % | CR % | SH % | RE % | Total % |
|--------|--------|-----------------|--------|--------|---------|---------|
| 1 | 1.2063 | 1.2027 | 3.6313 | 1.3472 | 9.4936 | 16.8810 |
| 2 | 1.1457 | 2.3375 | 3.3274 | 1.3516 | 9.5671 | 17.7292 |
| 3 | 1.0832 | 2.5375 | 2.6481 | 1.3558 | 9.7175 | 17.3422 |
| 4 | 1.0190 | 2.6172 | 1.9564 | 1.3600 | 9.8709 | 16.8234 |
| 5 | 0.9529 | 3.0804 | 1.2593 | 1.3639 | 10.0258 | 16.6823 |
| 6 | 0.8744 | 3.1133 | 0.5607 | 1.3676 | 10.1835 | 16.0995 |
| 7 | 0.7940 | 3.1380 | 0.0582 | 1.3710 | 10.3018 | 15.6630 |
| 8 | 0.7118 | 3.1597 | 0.6552 | 1.3741 | 10.1961 | 16.0969 |
| 9 | 0.6280 | 3.1801 | 1.2053 | 1.3768 | 10.1004 | 16.4906 |
| 10 | 0.5427 | 3.9268 | 1.6787 | 1.3793 | 10.0208 | 17.5483 |
| 11 | 0.4364 | 3.9507 | 2.0482 | 1.3813 | 9.9667 | 17.7833 |
| 12 | 0.3287 | 3.9732 | 2.1548 | 1.3830 | 9.9665 | 17.8062 |
| 13 | 0.2199 | 3.9921 | 2.0906 | 1.3842 | 10.0016 | 17.6884 |
| 14 | 0.1102 | 4.0082 | 1.8287 | 1.3850 | 10.0772 | 17.4093 |
| 15 | 0.0000 | 4.0197 | 1.3486 | 1.3853 | 10.1976 | 16.9512 |

Tahap Servis

Tabel 5.40 Tabel Kehilangan Prategang Total Tahap Servis

| Tendon | ES % | Wooble Effect % | CR % | SH % | RE % | Total % |
|--------|--------|-----------------|--------|--------|---------|---------|
| 1 | 3.4739 | 2.9098 | 1.6600 | 1.3768 | 9.9865 | 19.4070 |
| 2 | 2.8614 | 2.9486 | 1.4155 | 1.3639 | 10.0634 | 18.6528 |
| 3 | 2.0758 | 2.6978 | 3.1605 | 1.3853 | 9.6677 | 18.9871 |
| 4 | 1.4633 | 2.9486 | 1.4155 | 1.3639 | 10.0634 | 17.2547 |
| 5 | 0.7317 | 2.9098 | 1.6600 | 1.3768 | 9.9865 | 16.6648 |

5.4.3.1 Perhitungan Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang

Setelah dihitung kehilangan prategang secara mendetail maka akan dikontrol lagi tegangan yang terjadi pada *box girder prestress* baik pada tahap kantilefer (pelaksanaan) maupun servis (layan). Perhitungan tegangan setelah kehilangan prategang akan ditabelkan pada table sebagai berikut :

Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Kantilefer

Tabel 5.41 Tabel Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Kantilefer

| No. Joint | Lengan (mm) | Berat Box Girder (N) | Mg (Nmm) | A (mm ²) | Ya (mm) | Yb (mm) | I (mm ⁴) | e (mm) | F (N) Kumulatif | F/A (Mpa) | F.e.y/I (Mpa) | | M.y/I (Mpa) | | Resultan (Mpa) | | Kondisi Penampang | |
|-----------|-------------|----------------------|----------|----------------------|---------|---------|----------------------|--------|-----------------|-----------|---------------|--------|-------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 16 | 51000 | 1186995 | 5.35E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 1.446E+08 | -9.809 | -10.433 | 16.247 | 20.200 | -31.456 | -0.041 | -25.017 | OK | OK |
| 15 & 17 | 49000 | 1186995 | 4.83E+11 | 14745000 | 1955 | 3045 | 4.69.E+13 | 1730 | 1.446E+08 | -9.809 | -10.433 | 16.247 | 20.104 | -31.382 | -0.137 | -24.943 | OK | OK |
| 14 & 18 | 45500 | 1712122.875 | 4.34E+11 | 14309500 | 1814 | 2851 | 3.98.E+13 | 1589 | 1.353E+08 | -9.458 | -9.803 | 15.410 | 18.983 | -30.669 | -0.278 | -24.717 | OK | OK |
| 13 & 19 | 42000 | 1675923.075 | 3.68E+11 | 13903900 | 1684 | 2669 | 3.37.E+13 | 1459 | 1.281E+08 | -9.215 | -9.325 | 14.785 | 17.883 | -29.087 | -0.657 | -23.517 | OK | OK |
| 12 & 20 | 38500 | 1642507.875 | 3.08E+11 | 13529500 | 1565 | 2500 | 2.86.E+13 | 1340 | 1.210E+08 | -8.945 | -8.857 | 14.151 | 16.815 | -26.866 | -0.987 | -21.659 | OK | OK |
| 11 & 21 | 35000 | 1611761.25 | 2.54E+11 | 13185000 | 1457 | 2343 | 2.44.E+13 | 1232 | 1.133E+08 | -8.594 | -8.346 | 13.424 | 15.192 | -24.436 | -1.747 | -19.606 | OK | OK |
| 10 & 22 | 31500 | 1583799.225 | 2.06E+11 | 12871700 | 1360 | 2199 | 2.08.E+13 | 1135 | 1.049E+08 | -8.148 | -7.780 | 12.584 | 13.476 | -21.798 | -2.451 | -17.362 | OK | OK |
| 9 & 23 | 28000 | 1558621.8 | 1.64E+11 | 12589600 | 1273 | 2069 | 1.79.E+13 | 1048 | 9.614E+07 | -7.637 | -7.189 | 11.680 | 11.678 | -18.975 | -3.147 | -14.932 | OK | OK |
| 8 & 24 | 24500 | 1536577.05 | 1.27E+11 | 12342600 | 1198 | 1954 | 1.55.E+13 | 973 | 8.642E+07 | -7.002 | -6.516 | 10.622 | 9.808 | -15.990 | -3.709 | -12.370 | OK | OK |
| 7 & 25 | 21000 | 1517548.95 | 9.46E+10 | 12129400 | 1134 | 1854 | 1.36.E+13 | 909 | 7.683E+07 | -6.334 | -5.842 | 9.546 | 7.913 | -12.929 | -4.264 | -9.717 | OK | OK |
| 6 & 26 | 17500 | 1501189.425 | 6.75E+10 | 11946100 | 1080 | 1767 | 1.20.E+13 | 855 | 6.679E+07 | -5.591 | -5.122 | 8.381 | 6.059 | -9.914 | -4.654 | -7.124 | OK | OK |
| 5 & 27 | 14000 | 1487498.475 | 4.52E+10 | 11792700 | 1035 | 1694 | 1.08.E+13 | 810 | 5.550E+07 | -4.706 | -4.291 | 7.026 | 4.317 | -7.069 | -4.680 | -4.749 | OK | OK |
| 4 & 28 | 10500 | 1476592.125 | 2.75E+10 | 11670500 | 999 | 1636 | 9.93.E+12 | 774 | 4.438E+07 | -3.803 | -3.457 | 5.661 | 2.768 | -4.534 | -4.491 | -2.676 | OK | OK |
| 3 & 29 | 7000 | 1468470.375 | 1.43E+10 | 11579500 | 972 | 1593 | 9.28.E+12 | 747 | 3.334E+07 | -2.879 | -2.611 | 4.276 | 1.502 | -2.460 | -3.988 | -1.062 | OK | OK |
| 2 & 30 | 3500 | 1463481.3 | 5.60E+09 | 11523600 | 956 | 1566 | 8.89.E+12 | 731 | 2.230E+07 | -1.935 | -1.754 | 2.871 | 0.602 | -0.985 | -3.087 | -0.049 | OK | OK |
| 1 & 31 | 1000 | 1461392.85 | 1.24E+09 | 11500200 | 950 | 1554 | 8.73.E+12 | 725 | 1.121E+07 | -0.975 | -0.883 | 1.446 | 0.135 | -0.221 | -1.723 | 0.250 | OK | OK |

Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada tendon Menerus Kombinasi 1

Tabel 5.42 Tabel Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Menerus Kombinasi 1

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|------------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |
| 15 | 1.5015.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.511 | 2.474 | -3.012 | -2.818 | -4.491 | -2.676 | -7.503 | -5.494 | OK | OK |
| 32.5 | -9.6616.E+09 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -0.748 | -1.220 | -3.103 | -3.084 | -3.147 | -14.932 | -6.250 | -18.016 | OK | OK |
| 43 | -4.8269.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.637 | -4.213 | -4.007 | -4.692 | -0.987 | -21.659 | -4.994 | -26.352 | OK | OK |
| 52 | -9.3149.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 4.311 | -3.884 | -3.641 | -5.165 | -1.954 | -0.137 | -24.943 | -5.302 | -26.897 | OK | OK |
| 61 | -4.3390.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.370 | -3.787 | -3.874 | -4.480 | -0.987 | -21.659 | -4.861 | -26.139 | OK | OK |
| 71.5 | 3.4093.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.264 | 0.431 | -2.501 | -2.102 | -3.147 | -14.932 | -5.648 | -17.034 | OK | OK |
| 89 | 5.4475.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 5.481 | 8.977 | -0.754 | 0.880 | -4.491 | -2.676 | -5.245 | -1.796 | OK | OK |
| 104 | 7.1451.E+10 | -986.632 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | -4.159 | -6.809 | 7.787 | 12.747 | 0.262 | 2.572 | -1.859 | 0.471 | -1.597 | 3.043 | OK | OK |
| 119 | 5.4475.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 5.481 | 8.977 | -0.754 | 0.880 | -4.491 | -2.676 | -5.245 | -1.796 | OK | OK |
| 136.5 | 3.4093.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.264 | 0.431 | -2.501 | -2.102 | -3.147 | -14.932 | -5.648 | -17.034 | OK | OK |
| 147 | -4.3390.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.370 | -3.787 | -3.874 | -4.480 | -0.987 | -21.659 | -4.861 | -26.139 | OK | OK |
| 156 | -9.3149.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 4.311 | -3.884 | -3.641 | -5.165 | -1.954 | -0.137 | -24.943 | -5.302 | -26.897 | OK | OK |
| 165 | -4.8269.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.637 | -4.213 | -4.007 | -4.692 | -0.987 | -21.659 | -4.994 | -26.352 | OK | OK |
| 175.5 | -9.6616.E+09 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -0.748 | -1.220 | -3.103 | -3.084 | -3.147 | -14.932 | -6.250 | -18.016 | OK | OK |
| 193 | 1.5015.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.511 | 2.474 | -3.012 | -2.818 | -4.491 | -2.676 | -7.503 | -5.494 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |

Kombinasi 2

Tabel 5.43 Tabel Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Menerus Kombinasi 2

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|------------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |
| 15 | 1.6743.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.685 | 2.759 | -2.838 | -2.534 | -4.491 | -2.676 | -7.329 | -5.210 | OK | OK |
| 32.5 | -5.9171.E+09 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -0.458 | -0.747 | -2.813 | -2.611 | -3.147 | -14.932 | -5.960 | -17.543 | OK | OK |
| 43 | -4.3315.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.366 | -3.780 | -3.736 | -4.260 | -0.987 | -21.659 | -4.723 | -25.919 | OK | OK |
| 52 | -8.7158.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 3.662 | -3.634 | -3.001 | -4.915 | -1.963 | -0.137 | -24.943 | -5.053 | -26.906 | OK | OK |
| 61 | -4.0164.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.194 | -3.505 | -3.697 | -4.198 | -0.987 | -21.659 | -4.685 | -25.858 | OK | OK |
| 71.5 | 3.4092.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.264 | 0.430 | -2.501 | -2.102 | -3.147 | -14.932 | -5.648 | -17.034 | OK | OK |
| 89 | 4.9098.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 4.940 | 8.091 | -1.295 | -0.006 | -4.491 | -2.676 | -5.786 | -2.682 | OK | OK |
| 104 | 6.1465.E+10 | -986.632 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | -4.159 | -6.809 | 6.698 | 10.965 | -0.826 | 0.791 | -1.859 | 0.471 | -2.685 | 1.262 | OK | OK |
| 119 | 4.9098.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 4.940 | 8.091 | -1.295 | -0.006 | -4.491 | -2.676 | -5.786 | -2.682 | OK | OK |
| 136.5 | 3.4092.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.264 | 0.430 | -2.501 | -2.102 | -3.147 | -14.932 | -5.648 | -17.034 | OK | OK |
| 147 | -4.0164.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.194 | -3.505 | -3.697 | -4.198 | -0.987 | -21.659 | -4.685 | -25.858 | OK | OK |
| 156 | -8.7158.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 3.662 | -3.634 | -3.001 | -4.915 | -1.963 | -0.137 | -24.943 | -5.053 | -26.906 | OK | OK |
| 165 | -4.3315.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.366 | -3.780 | -3.736 | -4.260 | -0.987 | -21.659 | -4.723 | -25.919 | OK | OK |
| 175.5 | -5.9171.E+09 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -0.458 | -0.747 | -2.813 | -2.611 | -3.147 | -14.932 | -5.960 | -17.543 | OK | OK |
| 193 | 1.6743.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.685 | 2.759 | -2.838 | -2.534 | -4.491 | -2.676 | -7.329 | -5.210 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |

Kombinasi 3

Tabel 5.44 Tabel Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Menerus Kombinasi 3

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|------------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |
| 15 | 1.0838.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.091 | 1.786 | -3.432 | -3.507 | -4.491 | -2.676 | -7.923 | -6.183 | OK | OK |
| 32.5 | -1.4717.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -1.140 | -1.858 | -3.495 | -3.722 | -3.147 | -14.932 | -6.642 | -18.654 | OK | OK |
| 43 | -4.9796.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.720 | -4.346 | -4.090 | -4.826 | -0.987 | -21.659 | -5.077 | -26.485 | OK | OK |
| 52 | -9.1651.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 3.654 | -3.821 | -2.998 | -5.103 | -1.968 | -0.137 | -24.943 | -5.240 | -26.911 | OK | OK |
| 61 | -4.1892.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.288 | -3.656 | -3.792 | -4.349 | -0.987 | -21.659 | -4.779 | -26.008 | OK | OK |
| 71.5 | 4.9071.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.380 | 0.620 | -2.385 | -1.913 | -3.147 | -14.932 | -5.532 | -16.844 | OK | OK |
| 89 | 5.5973.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 5.632 | 9.224 | -0.603 | 1.126 | -4.491 | -2.676 | -5.094 | -1.550 | OK | OK |
| 104 | 7.2949.E+10 | -986.632 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | -4.159 | -6.809 | 7.950 | 13.014 | 0.425 | 2.840 | -1.859 | 0.471 | -1.434 | 3.310 | OK | OK |
| 119 | 5.5973.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 5.632 | 9.224 | -0.603 | 1.126 | -4.491 | -2.676 | -5.094 | -1.550 | OK | OK |
| 136.5 | 4.9071.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.380 | 0.620 | -2.385 | -1.913 | -3.147 | -14.932 | -5.532 | -16.844 | OK | OK |
| 147 | -4.1892.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.288 | -3.656 | -3.792 | -4.349 | -0.987 | -21.659 | -4.779 | -26.008 | OK | OK |
| 156 | -9.1651.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 3.654 | -3.821 | -2.998 | -5.103 | -1.968 | -0.137 | -24.943 | -5.240 | -26.911 | OK | OK |
| 165 | -4.9796.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.720 | -4.346 | -4.090 | -4.826 | -0.987 | -21.659 | -5.077 | -26.485 | OK | OK |
| 175.5 | -1.4717.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -1.140 | -1.858 | -3.495 | -3.722 | -3.147 | -14.932 | -6.642 | -18.654 | OK | OK |
| 193 | 1.0838.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.091 | 1.786 | -3.432 | -3.507 | -4.491 | -2.676 | -7.923 | -6.183 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |

Kombinasi 4

Tabel 5.45 Tabel Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Menerus Kombinasi 4

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|-------------|--------------|----------|----------------------|------------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |
| 15 | 1.4799.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.489 | 2.439 | -3.033 | -2.854 | -4.491 | -2.676 | -7.525 | -5.530 | OK | OK |
| 32.5 | -1.0130.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -0.785 | -1.279 | -3.140 | -3.143 | -3.147 | -14.932 | -6.287 | -18.075 | OK | OK |
| 43 | -4.8889.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.671 | -4.267 | -4.040 | -4.746 | -0.987 | -21.659 | -5.028 | -26.406 | OK | OK |
| 52 | -9.3898.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 3.767 | -3.877 | -3.001 | -5.158 | -1.858 | -0.137 | -24.943 | -5.296 | -26.801 | OK | OK |
| 61 | -4.3879.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.397 | -3.830 | -3.900 | -4.523 | -0.987 | -21.659 | -4.888 | -26.182 | OK | OK |
| 71.5 | 3.2222.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.250 | 0.407 | -2.516 | -2.126 | -3.147 | -14.932 | -5.663 | -17.057 | OK | OK |
| 89 | 5.4792.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 5.513 | 9.029 | -0.722 | 0.932 | -4.491 | -2.676 | -5.213 | -1.744 | OK | OK |
| 104 | 7.2200.E+10 | -986.632 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | -4.159 | -6.809 | 7.868 | 12.880 | 0.343 | 2.706 | -1.859 | 0.471 | -1.515 | 3.177 | OK | OK |
| 119 | 5.5656.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 5.600 | 9.171 | -0.635 | 1.074 | -4.491 | -2.676 | -5.126 | -1.602 | OK | OK |
| 136.5 | 5.0943.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.395 | 0.643 | -2.371 | -1.889 | -3.147 | -14.932 | -5.518 | -16.821 | OK | OK |
| 147 | -4.1402.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.262 | -3.613 | -3.765 | -4.306 | -0.987 | -21.659 | -4.752 | -25.966 | OK | OK |
| 156 | -9.0903.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 3.767 | -3.877 | -3.001 | -5.158 | -1.858 | -0.137 | -24.943 | -5.296 | -26.801 | OK | OK |
| 165 | -4.9177.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.686 | -4.292 | -4.056 | -4.772 | -0.987 | -21.659 | -5.043 | -26.431 | OK | OK |
| 175.5 | -1.4249.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -1.104 | -1.799 | -3.459 | -3.663 | -3.147 | -14.932 | -6.606 | -18.595 | OK | OK |
| 193 | 1.1054.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.112 | 1.822 | -3.410 | -3.471 | -4.491 | -2.676 | -7.902 | -6.147 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |

Kombinasi 5

Tabel 5.46 Tabel Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Menerus Kombinasi 5

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e./I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|----------------|--------------|----------|----------------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |
| 15 | 1.6547.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.665 | 2.727 | -2.858 | -2.566 | -4.491 | -2.676 | -7.349 | -5.242 | OK | OK |
| 32.5 | -6.3428.E+09 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -0.491 | -0.801 | -2.846 | -2.665 | -3.147 | -14.932 | -5.993 | -17.596 | OK | OK |
| 43 | -4.3878.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.397 | -3.829 | -3.767 | -4.309 | -0.987 | -21.659 | -4.754 | -25.969 | OK | OK |
| 52 | -8.7839.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 4.433 | -3.662 | -3.761 | -4.944 | -1.952 | -0.137 | -24.943 | -5.081 | -26.895 | OK | OK |
| 61 | -4.0628.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.219 | -3.546 | -3.723 | -4.239 | -0.987 | -21.659 | -4.710 | -25.898 | OK | OK |
| 71.5 | 3.2072.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.248 | 0.405 | -2.517 | -2.127 | -3.147 | -14.932 | -5.664 | -17.059 | OK | OK |
| 89 | 4.9359.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 4.966 | 8.134 | -1.268 | 0.036 | -4.491 | -2.676 | -5.760 | -2.639 | OK | OK |
| 104 | 6.2146.E+10 | -986.632 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | -4.159 | -6.809 | 6.773 | 11.087 | -0.752 | 0.912 | -1.859 | 0.471 | -2.611 | 1.383 | OK | OK |
| 119 | 5.0223.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 5.053 | 8.276 | -1.182 | 0.179 | -4.491 | -2.676 | -5.673 | -2.497 | OK | OK |
| 136.5 | 5.0794.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.393 | 0.641 | -2.372 | -1.891 | -3.147 | -14.932 | -5.519 | -16.823 | OK | OK |
| 147 | -3.8151.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -2.084 | -3.330 | -3.587 | -4.023 | -0.987 | -21.659 | -4.575 | -25.682 | OK | OK |
| 156 | -8.4844.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 4.433 | -3.537 | -3.761 | -4.819 | -1.952 | -0.137 | -24.943 | -4.956 | -26.895 | OK | OK |
| 165 | -4.4167.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | -2.413 | -3.855 | -3.783 | -4.334 | -0.987 | -21.659 | -4.770 | -25.994 | OK | OK |
| 175.5 | -1.0462.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -0.810 | -1.321 | -3.165 | -3.185 | -3.147 | -14.932 | -6.312 | -18.117 | OK | OK |
| 193 | 1.2802.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 1.288 | 2.110 | -3.234 | -3.183 | -4.491 | -2.676 | -7.726 | -5.859 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |

Kombinasi 6

Tabel 5.47 Tabel Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Menerus Kombinasi 6

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|----------------|--------------|----------|----------------------|------------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |
| 15 | 3.8115.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 3.835 | 6.281 | -0.687 | 0.988 | -4.491 | -2.676 | -5.179 | -1.688 | OK | OK |
| 32.5 | 4.0388.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | 3.128 | 5.100 | 0.773 | 3.236 | -3.147 | -14.932 | -2.374 | -11.696 | OK | OK |
| 43 | 1.7950.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | 0.980 | 1.567 | -0.389 | 1.087 | -0.987 | -21.659 | -1.377 | -20.573 | OK | OK |
| 52 | -1.3070.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 2.090 | -0.545 | -0.849 | -1.826 | -1.382 | -0.137 | -24.943 | -1.964 | -26.325 | OK | OK |
| 61 | -1.2930.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -0.706 | -1.128 | -2.210 | -1.821 | -0.987 | -21.659 | -3.197 | -23.481 | OK | OK |
| 71.5 | -1.2800.E+10 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | -0.991 | -1.616 | -3.757 | -4.149 | -3.147 | -14.932 | -6.904 | -19.080 | OK | OK |
| 89 | -1.2663.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | -1.274 | -2.087 | -7.509 | -10.184 | -4.491 | -2.676 | -12.001 | -12.860 | OK | OK |
| 104 | -1.2627.E+10 | -986.632 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | -4.159 | -6.809 | -1.376 | -2.253 | -8.901 | -12.427 | -1.859 | 0.471 | -10.760 | -11.956 | OK | OK |
| 119 | -1.2663.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | -1.274 | -2.087 | -7.509 | -10.184 | -4.491 | -2.676 | -12.001 | -12.860 | OK | OK |
| 136.5 | -1.2800.E+10 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | -0.991 | -1.616 | -3.757 | -4.149 | -3.147 | -14.932 | -6.904 | -19.080 | OK | OK |
| 147 | -1.2930.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -0.706 | -1.128 | -2.210 | -1.821 | -0.987 | -21.659 | -3.197 | -23.481 | OK | OK |
| 156 | -1.3070.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 2.090 | -0.545 | -0.849 | -1.826 | -1.382 | -0.137 | -24.943 | -1.964 | -26.325 | OK | OK |
| 165 | 1.7950.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | 0.980 | 1.567 | -0.389 | 1.087 | -0.987 | -21.659 | -1.377 | -20.573 | OK | OK |
| 175.5 | 4.0388.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | 3.128 | 5.100 | 0.773 | 3.236 | -3.147 | -14.932 | -2.374 | -11.696 | OK | OK |
| 193 | 3.8115.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 3.835 | 6.281 | -0.687 | 0.988 | -4.491 | -2.676 | -5.179 | -1.688 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |

Kombinasi 7

Tabel 5.48 Tabel Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Menerus Kombinasi 7

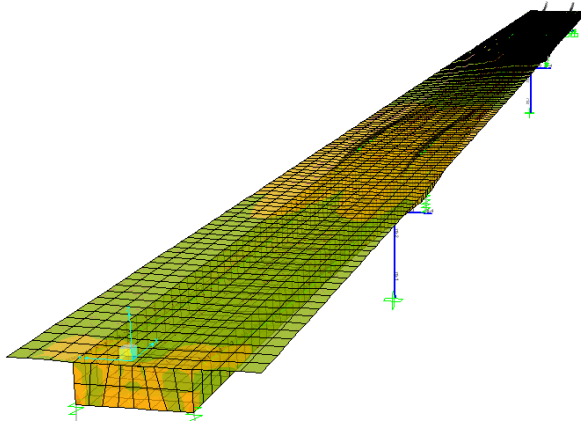
| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|----------------|--------------|----------|----------------------|------------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|--------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |
| 15 | -2.3061.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | -2.320 | -3.800 | -6.843 | -9.093 | -4.491 | -2.676 | -11.334 | -11.769 | OK | OK |
| 32.5 | -5.0059.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -3.877 | -6.321 | -6.232 | -8.185 | -3.147 | -14.932 | -9.379 | -23.117 | OK | OK |
| 43 | -6.6306.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 3.552 | -3.622 | -5.787 | -4.992 | -5.094 | -0.987 | -21.659 | -5.979 | -26.753 | OK | OK |
| 52 | -8.0261.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 4.116 | -3.346 | -3.411 | -4.628 | -1.919 | -0.137 | -24.943 | -4.765 | -26.862 | OK | OK |
| 61 | -3.0544.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -1.668 | -2.666 | -3.172 | -3.359 | -0.987 | -21.659 | -4.159 | -25.018 | OK | OK |
| 71.5 | 1.6215.E+10 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 1.256 | 2.048 | -1.509 | -0.485 | -3.147 | -14.932 | -4.656 | -15.417 | OK | OK |
| 89 | 6.7239.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 6.766 | 11.080 | 0.531 | 2.983 | -4.491 | -2.676 | -3.961 | 0.307 | OK | OK |
| 104 | 8.4204.E+10 | -986.632 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | -4.159 | -6.809 | 9.176 | 11.382 | 1.652 | 1.208 | -1.859 | 0.471 | -0.207 | 1.678 | OK | OK |
| 119 | 6.7239.E+10 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | 6.766 | 11.080 | 0.531 | 2.983 | -4.491 | -2.676 | -3.961 | 0.307 | OK | OK |
| 136.5 | 1.6215.E+10 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 1.256 | 2.048 | -1.509 | -0.485 | -3.147 | -14.932 | -4.656 | -15.417 | OK | OK |
| 147 | -3.0544.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -1.668 | -2.666 | -3.172 | -3.359 | -0.987 | -21.659 | -4.159 | -25.018 | OK | OK |
| 156 | -8.0261.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 4.116 | -3.346 | -3.411 | -4.628 | -1.919 | -0.137 | -24.943 | -4.765 | -26.862 | OK | OK |
| 165 | -6.6306.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 3.552 | -3.622 | -5.787 | -4.992 | -5.094 | -0.987 | -21.659 | -5.979 | -26.753 | OK | OK |
| 175.5 | -5.0059.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | -3.877 | -6.321 | -6.232 | -8.185 | -3.147 | -14.932 | -9.379 | -23.117 | OK | OK |
| 193 | -2.3061.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | -2.320 | -3.800 | -6.843 | -9.093 | -4.491 | -2.676 | -11.334 | -11.769 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |

Kombinasi 8

Tabel 5.49 Tabel Kontrol Tegangan Setelah Kehilangan Prategang pada Tendon Menerus Kombinasi 8

| Station (m) | Mg (Nmm) | e (mm) | A (mm ²) | F (N) | F/A | F.e.y/I | | M.y/I | | Resultan | | Resultan Kantilever | | Total Resultan | | Kondisi Penampang | |
|----------------|--------------|----------|----------------------|------------|--------|---------|--------|--------|--------|----------|---------|---------------------|---------|----------------|---------|-------------------|-------|
| | | | | | | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah | Atas | Bawah |
| 0 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |
| 15 | 3.6266.E+10 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 3.649 | 5.976 | -0.873 | 0.683 | -4.491 | -2.676 | -5.365 | -1.993 | OK | OK |
| 32.5 | 3.6382.E+10 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | 2.818 | 4.594 | 0.463 | 2.730 | -3.147 | -14.932 | -2.684 | -12.201 | OK | OK |
| 43 | 1.2650.E+10 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | 0.691 | 1.104 | -0.679 | 0.624 | -0.987 | -21.659 | -1.666 | -21.035 | OK | OK |
| 52 | -1.9479.E+10 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 2.090 | -0.812 | -1.265 | -2.093 | -1.798 | -0.137 | -24.943 | -2.231 | -26.741 | OK | OK |
| 61 | -1.7120.E+10 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | -0.935 | -1.494 | -2.439 | -2.187 | -0.987 | -21.659 | -3.426 | -23.847 | OK | OK |
| 71.5 | -1.4402.E+10 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | -1.116 | -1.819 | -3.881 | -4.351 | -3.147 | -14.932 | -7.028 | -19.283 | OK | OK |
| 89 | -9.9510.E+09 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | -1.001 | -1.640 | -7.236 | -9.737 | -4.491 | -2.676 | -11.728 | -12.413 | OK | OK |
| 104 | -6.2161.E+09 | -986.632 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | -4.159 | -6.809 | -0.677 | -1.109 | -8.202 | -11.283 | -1.859 | 0.471 | -10.061 | -10.813 | OK | OK |
| 119 | -2.5551.E+09 | -750.219 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -2.920 | -4.782 | -0.257 | -0.421 | -6.492 | -8.518 | -4.491 | -2.676 | -10.983 | -11.194 | OK | OK |
| 136.5 | 1.6228.E+09 | 123.198 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.369 | 0.602 | 0.126 | 0.205 | -2.639 | -2.328 | -3.147 | -14.932 | -5.786 | -17.259 | OK | OK |
| 147 | 4.0812.E+09 | 641.633 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.356 | 2.166 | 0.223 | 0.356 | -1.280 | -0.337 | -0.987 | -21.659 | -2.268 | -21.996 | OK | OK |
| 156 | 6.1597.E+09 | 832.230 | 14745000 | 3.868.E+07 | -2.624 | 1.342 | 2.090 | 0.257 | 0.400 | -1.024 | -0.133 | -0.137 | -24.943 | -1.162 | -25.076 | OK | OK |
| 165 | 5.1571.E+09 | 704.801 | 13529500 | 3.868.E+07 | -2.859 | 1.489 | 2.380 | 0.282 | 0.450 | -1.088 | -0.030 | -0.987 | -21.659 | -2.075 | -21.689 | OK | OK |
| 175.5 | 3.9538.E+09 | 260.063 | 12342600 | 3.868.E+07 | -3.134 | 0.779 | 1.270 | 0.306 | 0.499 | -2.049 | -1.365 | -3.147 | -14.932 | -5.196 | -16.296 | OK | OK |
| 193 | 1.8679.E+09 | -310.282 | 11670500 | 3.868.E+07 | -3.315 | -1.208 | -1.978 | 0.188 | 0.308 | -4.335 | -4.985 | -4.491 | -2.676 | -8.826 | -7.661 | OK | OK |
| 208 | 0.0000.E+00 | 0.000 | 11495000 | 3.868.E+07 | -3.365 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | -3.365 | -3.365 | -1.859 | 0.471 | -5.224 | -2.895 | OK | OK |

5.5 Perencanaan Tulangan Utama Box Girder



Gambar 5.46 Pemodelan dengan CSI bridge V.16

Momen Maksimum box girder diperoleh dari pemodelan yang dilakukan di CSI Bridge V.16

| Posisi | Mu |
|------------|--------------|
| Plat Atas | 1289,773 kNm |
| Plat bawah | 878,305 kNm |
| Plat badan | 1225,297 kNm |

Penulangan Plat Atas

| | | |
|---------------------|---|--------------|
| Momen ultimate (Mu) | = | 1289,773 kNm |
| Mutu Beton (fc') | = | 60 MPa |
| Mutu Baja (fy) | = | 400 MPa |
| Tinggi Plat | = | 0,45 m |
| Decking (d') | = | 0,04 m |
| Es | = | 200000 MPa |
| β_1 | = | 0,6214 |

$$\rho_b = 0,85 \left(0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

| | | | |
|--|---|----------|-----|
| ρ_b | = | 0,03565 | |
| ϕ lentur | = | 0,8 | |
| $d = h-d'$ | = | 400 | mm |
| Lebar plat (b) | = | 12500 | mm |
| Momen nominal rencana $M_n = M_u/f$ | = | 1612,216 | kNm |
| Faktor tahanan momen (R_n) | = | 0,806108 | |
| m | = | 5,6666 | |
| $\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$ | | | |
| r perlu | = | 0,00203 | |
| r min | = | 0,0035 | |
| Maka dipakai r perlu | | | |

| | | | |
|---------------------------------|---|-------|-----------------|
| Luas Tulangan As | = | 17500 | mm ² |
| Dipakai tulangan D16-125 | | | |

Dipakai Tulangan Bagi Plat Atas D13-150

Penulangan Plat Bawah

| | | | |
|---|---|---------|-----|
| Momen ultimate (M_u) | = | 878,305 | kNm |
| Mutu Beton (f_c') | = | 60 | MPa |
| Mutu Baja (f_y) | = | 400 | MPa |
| Tinggi Plat | = | 0,4 | M |
| Decking (d') | = | 0,05 | M |
| Es | = | 200000 | MPa |
| β_1 | = | 0,6214 | |
| $\rho_b = 0,85 \left(0,85 \frac{f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$ | | | |
| ρ_b | = | 0,03565 | |
| ϕ lentur | = | 0,8 | |
| $d = h-d'$ | = | 350 | Mm |

| | | | |
|---------------------------|---|----------|-----|
| Lebar plat (b) | = | 6500 | mm |
| Momen nominal rencana | | | |
| $M_n = M_u/f$ | = | 1097,881 | kNm |
| Faktor tahanan momen (Rn) | = | 1,3788 | |
| m | = | 5,6666 | |

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

| | | |
|-----------------------------|---|---------|
| r perlu | = | 0,00348 |
| r min | = | 0,00350 |
| Maka dipakai r perlu | | |

| | | | |
|---------------------------------|---|--------|-----------------|
| Luas Tulangan As | = | 7962,5 | mm ² |
| Dipakai tulangan D16-150 | | | |

Tulangan Bagi Plat Bawah

D13-150

Penulangan Plat Badan

| | | | |
|---------------------|---|----------|-----|
| Momen ultimate (Mu) | = | 1225,297 | kNm |
| Mutu Beton (fc') | = | 60 | MPa |
| Mutu Baja (fy) | = | 400 | MPa |
| Tinggi Plat | = | 0,65 | m |
| Decking (d') | = | 0,05 | cm |
| Es | = | 200000 | MPa |
| β_1 | = | 0,6214 | |

$$\rho_b = 0,85 \left(0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

| | | | |
|---------------------------|---|----------|-----|
| ρ_b | = | 0,03565 | |
| ϕ lentur | = | 0,8 | |
| $d = h - d'$ | = | 600 | mm |
| Lebar plat (b) | = | 4150 | mm |
| Momen nominal rencana | | | |
| $M_n = M_u/f$ | = | 1531,621 | kNm |
| Faktor tahanan momen (Rn) | = | 0,991845 | |
| m | = | 5,66666 | |

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right)$$

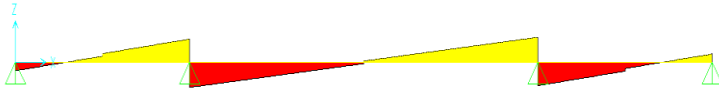
$$\begin{aligned} r \text{ perlu} &= 0,00237 \\ r \text{ min} &= 0,00350 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka dipakai } r \text{ perlu} & \\ \text{Luas Tulangan As} &= 6003,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D16-125

Tulangan Bagi Plat Badan D13-150

5.6 Perencanaan Tulangan Geser Box Girder



Gambar 5.47 Bidang geser akibat beban kombinasi

Pada prestressed concrete, retak-retak yang mungkin terjadi berupa retakan miring akibat beban lentur atau akibat tegangan tarik utama (retak pada badan). Perencanaan kekuatan geser harus di tinjau pada dua jenis mekanisme retak sebagai berikut :

- Retak akibat gesekan pada badan penampang (V_{ew})
- Retak miring akibat lentur (V_{ci})

Prosedur perencanaan perhitungan geser adalah sebuah analisa untuk menentukan kekuatan geser beton (V_c) yang dibandingkan terhadap tegangan geser batas pada penampang yang ditinjau (V_u).

Terbentuknya retak pada struktur bermula dari badan akibat tarikan utama yang tinggi dimana retak akibat lentur yang mula mula vertikal dan sedikit berkembang menjadi retak miring akibat geseran.

Kekuatan penampang untuk menahan retak akibat geseran ditentukan oleh kekuatan dari beton dan tulangan geser yang dipasang. Adapun prosedur perhitungan dari perencanaan tulangan geser berdasarkan peraturan SNI T-12-2004 pasal 6.8.10 adalah sebagai berikut :

1. Hitung kemampuan penampang menahan gaya geser, yaitu :
Retak akibat geseran pada badan penampang (V_{cw}) :

$$V_{cw} = V_t + V_p \text{ (SNI T-12-2004 persamaan 6.8.13)}$$

Dengan :

$$V_t = 0,3(\sqrt{f'c} + f_{pc}) \times b_w \times d$$

(SNI T-12-2004 persamaan 6.8.14)

Sehingga :

$$V_{cw} = (0,3(\sqrt{f'c} + f_{pc}) \times b_w \times d) + V_p$$

Dimana :

V_{cw} = kuat geser pada bagian badan

$f'c$ = mutu beton prategang

f_{pc} = tegangan tekan rata-rata pada beton akibat gaya prategang efektif saja

b_w = lebar badan

V_p = tekanan akibat tendon ($F_o \times \text{slope}$)

d = jarak dari serat tekan luar terhadap titik berat tulangan tarik longitudinal

Retak miring akibat lentur :

$$V_{ci} = \left(\frac{\sqrt{f'c}}{20} \times b_w \times d \right) + V_d + \left(\frac{V_i \times M_{cr}}{M_{max}} \right)$$

(SNI ps. 13.4.2.1 persamaan 53)

Dengan :

$$M_{cr} = Z \times \left(\frac{\sqrt{f'c}}{2} + f_{pe} - f_{pd} \right)$$

(SNI ps.13.4.2.1 persamaan 54)

Dan $Z = 1/yt$

Tetapi V_{ci} tidak boleh diambil kurang dari

$$\frac{\sqrt{f'c}}{7} \times b_w \times d$$

Dimana :

V_{ci} = Kuat geser akibat terjadinya keretakan miring akibat kombinasi lentur dan geser

$f'c$ = mutu beton prategang

b_w = lebar badan

V_d = gaya geser pada penampang akibat beban mati
(faktor pembebanan = 1)

V_i = gaya geser pada penampang akibat beban luar

M_{cr} = momen yang menyebabkan terjadinya retak lentur

2. Dari kemampuan penampang yang ada dan gaya geser yang terjadi maka dapat ditentukan apakah penampang perlu tulangan geser atau cukup dipasang tulangan geser minimum saja. Besarnya gaya geser yang harus mampu dipikul oleh tulangan adalah :

$$V_s = V_n - V_c \text{ (SNI T-12-2004 persamaan 6.8.10)}$$

Dimana :

V_s = kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser

V_n = kekuatan geser batas nominal (V_u/ϕ)

V_c = kekuatan geser yang disumbangkan oleh beton.

Diambil nilai terkecil antara V_{cw} dan V_{ci}

3. Dengan mengetahui besarnya gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser maka direncanakan jumlah tulangan untuk dapat menahan gaya tersebut.

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser (sejangkang) tegak lurus didapat dari persamaan berikut :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \text{ (SNI T-12-2004 persamaan 6.8.15)}$$

Kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser (sejangkang) miring didapat dari persamaan berikut :

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times (\sin \alpha + \cos \beta) \times d}{s} \text{ (SNI T-12-2004 persamaan 6.8.16)}$$

Dimana :

V_s = kekuatan geser yang disumbangkan oleh tulangan geser

α = besarnya sudut antara sengkang miring dan sumbu longitudinal jembatan

d = jarak dari serat tekan luar terhadap titik berat tulangan tarik longitudinal, yang tidak boleh diambil kurang dari $0,8 h$

4. Menentukan jarak antar tulangan geser :

$$V_s = 2 \left(\frac{\sqrt{f'c}}{3} \right) \times b_w \times d$$

(SNI T-12-2004 pasal 6.8.10.3)

Jarak maksimum sengkang pada beton prategang adalah $0,75h$. Atau 600 mm (SNI 2847 Ps 13.5.4.1)

Persyaratan A_v minimum berlaku untuk :

$$\frac{\phi V_c}{2} \leq V_u \leq V_c$$

$$A_v \geq \left(\frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \right) \text{ (mm)}$$

(SNI T-12-2004 persamaan 6.8.17)

5.6.1 Perhitungan Gaya Geser

Perhitungan gaya geser didasarkan pada adanya gaya post tension yaitu pada pemasangan tendon tahap kantilefer dan gaya post tension pada pemasangan tendon tahap *service*. Dalam perhitungannya, gaya geser akibat dua tahap pemasangan tendon tersebut dengan letak *jacking* masing-masing akan dijumlahkan kemudian disuperposisikan dengan gaya geser akibat beban mati dan hidup yang bekerja pada bentang tersebut.

1. Perhitungan gaya geser pada tahap Kantilefer

Contoh perhitungan diambil pada joint 14 :

Pada joint ini dilewati dua tendon dengan ukuran 27sc

Pada joint 15

$$F = 4750000 \text{ N}$$

$$L = 52 \text{ m}$$

$$e = 1,73 \text{ m}$$

Pada joint 15

$$F = 4750000 \text{ N}$$

$$L = 50 \text{ m}$$

$$e = 1,73 \text{ m}$$

Pada joint 14

$$F = 4750000 \text{ N}$$

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

$$e = 1,589 \text{ m}$$

Joint 16

$$\text{Slope } 27 \text{ Sc} = \frac{e}{L/2} = \frac{1,73}{52/2} = 0,0665$$

Joint 15

$$\text{Slope } 27 \text{ Sc} = \frac{e}{L/2} = \frac{1,73}{50/2} = 0,0692$$

Joint 14

$$\text{Slope } 27 \text{ Sc} = \frac{e}{L/2} = \frac{1,589}{46,5/2} = 0,0683$$

$$\begin{aligned} V_p &= (F_{27Sc} \times \text{Slope } 27Sc) + (F_{27Sc} \times \text{Slope } 27Sc) + \\ &\quad (F_{27Sc} \times \text{Slope } 27Sc) \\ &= (4750000 \times 2 \times 0,0665) + (4750000 \times 2 \times 0,0692) + \\ &\quad (4750000 \times 2 \times 0,0683) \\ &= 1947575,31 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = 2809600 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_s &= |V_p + V_u| \\ &= 1947575,31 \text{ N} + 2809600 \text{ N} = 4757175,31 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Perhitungan gaya geser pada tahap Servis

Contoh perhitungan diambil pada $x = 52 \text{ m}$:

Pada joint ini dilewati 4 tendon berukuran 48 Sc

Untuk Tendon 48 Sc

$$F = 12000000 \text{ N}$$

$$L = 104 \text{ m}$$

$$e = 0,8322 \text{ m}$$

$$\text{Slope } 48 \text{ Sc} = \frac{e}{L/2} = \frac{0,8322}{104/2} = 0,016$$

$$\begin{aligned} V_p &= (F_{48Sc} \times \text{Slope } 48Sc) \\ &= (12000000 \times 4 \times 0,016) \\ &= 1536425,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = -4069089,5 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_s &= |V_p + V_u| \\ &= 1536425,5 \text{ N} + (-4069089,5 \text{ N}) \\ &= 2150693,00 \text{ N} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan gaya geser yang terjadi pada tahap kantilefer maupun servis yang selanjutnya akan di sajikan dalam tabel

Gaya Geser pada tahap Kantilefer

Tabel 5.50 Tabel Gaya Geser pada Tahap Kantilefer

| No. Joint | Tendon | F (N) | L (m) | e (m) | Slope | Jumlah Tendon | 27 sc | 27 sc | 27 sc | 27 sc | 27 sc | 27 sc | 31 sc |
|-----------|--------|---------|--------|-------|--------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 16 | 27 sc | 4750000 | 52.000 | 1.730 | 0.0665 | 2 | 632177 | | | | | | |
| 15 | 27 sc | 4750000 | 50.000 | 1.730 | 0.0692 | 2 | 657464 | 657464 | | | | | |
| 14 | 27 sc | 4750000 | 46.500 | 1.589 | 0.0683 | 2 | 649192 | 649192 | 649192 | | | | |
| 13 | 27 sc | 4750000 | 43.000 | 1.459 | 0.0678 | 2 | 644512 | 644512 | 644512 | 644512 | | | |
| 12 | 27 sc | 4750000 | 39.500 | 1.340 | 0.0678 | 2 | 644481 | 644481 | 644481 | 644481 | 644481 | | |
| 11 | 27 sc | 5500000 | 36.000 | 1.232 | 0.0684 | 2 | 752769 | 752769 | 752769 | 752769 | 752769 | 752769 | |
| 10 | 31 sc | 5500000 | 32.500 | 1.135 | 0.0698 | 2 | 768095 | 768095 | 768095 | 768095 | 768095 | 768095 | 768095 |
| 9 | 31sc | 5500000 | 29.000 | 1.048 | 0.0723 | 2 | 795213 | 795213 | 795213 | 795213 | 795213 | 795213 | 795213 |
| 8 | 31 sc | 5500000 | 25.500 | 0.973 | 0.0763 | 2 | 839769 | 839769 | 839769 | 839769 | 839769 | 839769 | 839769 |
| 7 | 31 sc | 5500000 | 22.000 | 0.909 | 0.0827 | 2 | 909407 | 909407 | 909407 | 909407 | 909407 | 909407 | 909407 |
| 6 | 31sc | 6750000 | 18.500 | 0.855 | 0.0924 | 2 | 1247735 | 1247735 | 1247735 | 1247735 | 1247735 | 1247735 | 1247735 |
| 5 | 31 sc | 6750000 | 15.000 | 0.810 | 0.1080 | 2 | 1457499 | 1457499 | 1457499 | 1457499 | 1457499 | 1457499 | 1457499 |
| 4 | 31 sc | 6750000 | 11.500 | 0.774 | 0.1346 | 2 | 1817143 | 1817143 | 1817143 | 1817143 | 1817143 | 1817143 | 1817143 |
| 3 | 31sc | 6750000 | 8.000 | 0.747 | 0.1869 | 2 | 2522804 | 2522804 | 2522804 | 2522804 | 2522804 | 2522804 | 2522804 |
| 2 | 31 sc | 6750000 | 4.500 | 0.731 | 0.3250 | 2 | 4387822 | 4387822 | 4387822 | 4387822 | 4387822 | 4387822 | 4387822 |
| 1 | 31 sc | 6750000 | 1.000 | 0.725 | 1.4491 | 2 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 |

Lanjutan Gaya Geser pada tahap Kantilefer

| 31 sc | 31 sc | 31 sc | 31 sc | 31 sc | 31 sc | 31 sc | 31 sc | 31 sc | Vp (N) | Vu' (N) | Vu (N) |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 28 | 29 | 30 |
| | | | | | | | | | 6.322E+05 | 0.000E+00 | 6.322E+05 |
| | | | | | | | | | 1.315E+06 | 1.579E+06 | 2.894E+06 |
| | | | | | | | | | 1.948E+06 | 2.810E+06 | 4.757E+06 |
| | | | | | | | | | 2.578E+06 | 4.045E+06 | 6.623E+06 |
| | | | | | | | | | 3.222E+06 | 5.289E+06 | 8.511E+06 |
| | | | | | | | | | 4.517E+06 | 6.544E+06 | 1.106E+07 |
| | | | | | | | | | 5.377E+06 | 7.811E+06 | 1.319E+07 |
| 795213 | | | | | | | | | 6.362E+06 | 9.096E+06 | 1.546E+07 |
| 839769 | 839769 | | | | | | | | 7.558E+06 | 1.040E+07 | 1.796E+07 |
| 909407 | 909407 | 909407 | | | | | | | 9.094E+06 | 1.172E+07 | 2.082E+07 |
| 1247735 | 1247735 | 1247735 | 1247735 | | | | | | 1.373E+07 | 1.308E+07 | 2.680E+07 |
| 1457499 | 1457499 | 1457499 | 1457499 | 1457499 | | | | | 1.749E+07 | 1.445E+07 | 3.194E+07 |
| 1817143 | 1817143 | 1817143 | 1817143 | 1817143 | 1817143 | | | | 2.362E+07 | 1.586E+07 | 3.949E+07 |
| 2522804 | 2522804 | 2522804 | 2522804 | 2522804 | 2522804 | 2522804 | | | 3.532E+07 | 1.731E+07 | 5.263E+07 |
| 4387822 | 4387822 | 4387822 | 4387822 | 4387822 | 4387822 | 4387822 | 4387822 | | 6.582E+07 | 1.879E+07 | 8.460E+07 |
| 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 19562584 | 3.130E+08 | 1.965E+07 | 3.327E+08 |

Gaya Geser pada tahap Servis

Tabel 5.51 Tabel Gaya Geser pada Tahap Servis

| Jarak | F (N) | L (m) | e (m) | Slope | V _p (N) | V _{u'} (N) | V _u (N) |
|--------|----------|-------|--------|---------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 0.00 | 48000000 | 104 | 0.0000 | 0.00000 | 0.000 | -3548435 | -3548435.000 |
| 15.00 | 48000000 | 104 | 0.3103 | 0.00597 | 572827.577 | -1539870 | -967042.423 |
| 32.50 | 48000000 | 104 | 0.2601 | 0.00500 | 480116.115 | 2986114 | 3466230.115 |
| 43.00 | 48000000 | 104 | 0.7048 | 0.01355 | 1301171.692 | 4396560 | 5697731.692 |
| 52.00 | 48000000 | 104 | 0.8322 | 0.01600 | 1536425.500 | -5605515 | -4069089.500 |
| 61.00 | 48000000 | 104 | 0.6416 | 0.01234 | 1184552.692 | -5062967 | -3878414.308 |
| 71.50 | 48000000 | 104 | 0.1232 | 0.00237 | 227441.538 | -3908720 | -3681278.462 |
| 89.00 | 48000000 | 104 | 0.7502 | 0.01443 | 1385019.462 | -1984976 | -599956.538 |
| 104.00 | 48000000 | 104 | 0.9866 | 0.01897 | 1821475.000 | -336050 | 1485425.000 |
| 119.00 | 48000000 | 104 | 0.7502 | 0.01443 | 1385019.462 | 1984976 | 3369995.462 |
| 136.50 | 48000000 | 104 | 0.1232 | 0.00237 | 227441.538 | 3908720 | 4136161.538 |
| 147.00 | 48000000 | 104 | 0.6416 | 0.01234 | 1184552.692 | 5062967 | 6247519.692 |
| 156.00 | 48000000 | 104 | 0.8322 | 0.01600 | 1536425.500 | 5605515 | 7141940.500 |
| 165.00 | 48000000 | 104 | 0.7048 | 0.01355 | 1301171.692 | 4396560 | 5697731.692 |
| 175.50 | 48000000 | 104 | 0.2601 | 0.00500 | 480116.115 | 2986114 | 3466230.115 |
| 193.00 | 48000000 | 104 | 0.3103 | 0.00597 | 572827.577 | -1539870 | -967042.423 |
| 208.00 | 48000000 | 104 | 0.0000 | 0.00000 | 0.000 | -3548435 | -3548435.000 |

5.6.2 Perhitungan kemampuan retak geser pada badan didekat tumpuan (V_{cw})

Contoh perhitungan diambil pada joint 16 :

$$V_p = 632176,74 \text{ N}$$

$$d = 5000 - 225 = 4775 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} F_{eff} &= F_{kantilefer} + F_{servis} \\ &= 3948150,639 \times 2 + 38828666 \\ &= 42776817 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_c = 14745000 \text{ mm}^2$$

$$f_{pc} = \frac{F_{eff}}{A_c} = \frac{42776817}{14745000} = 2,901 \text{ MPa}$$

$$b_w = 12500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_{cw} &= \{ 0,3 \times (\sqrt{f_c'} + f_{pc}) \times b_w + d \} + V_p \\ &= \{ 0,3 \times (\sqrt{60} + 12,901) \times 12500 + 4775 \} + 632176,74 \\ &= 19128133,67 \text{ N} \end{aligned}$$

Perhitungan Kemampuan Retak Geser pada badan di dekat Tumpuan (V_{cw})

Tabel 5.52 Perhitungan retak geser pada badan

| Joint | F _{eff} (N) | A _c | d | f _{pc} (MPa) | V _p (N) | V _{cw} (N) |
|-------|----------------------|----------------|------|-----------------------|--------------------|---------------------|
| 16 | 42776817 | 14745000 | 4775 | 2.901 | 6.32E+05 | 1.913E+08 |
| 15 | 42776817 | 14745000 | 4775 | 2.901 | 1.31E+06 | 1.920E+08 |
| 2 | 44403535 | 14309500 | 2297 | 3.103 | 6.58E+07 | 1.593E+08 |
| 1 | 44434463 | 13903900 | 2279 | 3.196 | 3.13E+08 | 4.065E+08 |

5.6.3 Perhitungan kemampuan retak geser pada tengah bentang (V_{ci})

Contoh perhitungan pada x = 104 m

$$\begin{aligned} F_{eff} &= F_{kantilefer} + F_{servis} \\ &= 11211594 + 38828666 \\ &= 50040260,09 \text{ N} \end{aligned}$$

$$A_c = 13903900 \text{ mm}^2$$

$$b_w = 12500 \text{ mm}$$

$$d = 2500 - 225 = 2350 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 M_g &= 2,21 \times 10^8 \text{ Nmm} \\
 M_{\text{tot}} &= 7,167 \times 10^{10} \text{ Nmm} \\
 e &= 0,987 \text{ m} \\
 V_d &= 0 \text{ N} \\
 V_L &= 336050 \text{ N} \\
 W_a &= 9176181083 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{pe} &= \frac{F_{eff}}{Ac} + \frac{F_{eff} \times e}{Wa} \\
 &= \frac{50040260,09}{13903900} + \frac{50040260,09 \times 0,987}{9176181083} \\
 &= 9,73 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_d &= \frac{M_G}{Wa} \\
 &= \frac{2,21 \times 10^8}{9176181083} \\
 &= 0,0241 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{CR} &= Wa \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{2} + f_{pe} + f_d \right) \\
 &= 9176181083 \left(\frac{\sqrt{60}}{2} + 9,73 + 0,0241 \right) \\
 &= 1,25 \times 10^{11} \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{20} + bw + d \right) + V_d + \left(\frac{V_L \times M_{cr}}{M_{max}} \right) \geq \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{7} + bw + d \right) \\
 &= \left(\frac{\sqrt{60}}{20} + 12500 + 2350 \right) + 0 + \left(\frac{336050 \times 1,25 \times 10^{11}}{7,167 \times 10^{10}} \right) \geq \\
 &= \left(\frac{\sqrt{60}}{7} + 12500 + 2350 \right) \\
 &= 379627777,20 \text{ N} \geq 33197000,11 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Maka tidak memerlukan tulangan geser

Perhitungan kemampuan retak geser terlentur pada badan tengah bentang (V_{ci})

Tabel 5.53 Perhitungan kemampuan retak geser pada badan tengah bentang

| Jarak | F_{eff} (N) | V_d (N) | V_l (N) | M_g (Nmm) | M_{total} (Nmm) | e (mm) | f_{pe} (MPa) | f_d (MPa) | M_{cr} (Nmm) | V_{ci} (N) | Batas (N) | Keterangan |
|--------|---------------|-----------|-----------|-------------|-------------------|----------|----------------|-------------|----------------|--------------|-----------|------------------------|
| 0.00 | 5.00E+07 | -4254705 | -3548435 | 1.455E-08 | 1.455E-08 | 0 | 4.35 | 0.0000 | 7.55E+10 | 7.136E+08 | 3.32E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 15.00 | 8.340E+07 | 1355718 | -1539870 | 2.174E+07 | 1.504E+10 | 310 | 9.75 | 0.0022 | 1.35E+11 | 4.860E+08 | 3.51E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 32.50 | 1.333E+08 | 7901213 | 2986114 | 5.926E+07 | 9.721E+09 | 260 | 13.49 | 0.0046 | 2.24E+11 | 2.674E+09 | 4.48E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 43.00 | 1.596E+08 | 11828509 | 4396560 | 1.628E+08 | 4.843E+10 | 705 | 17.94 | 0.0089 | 3.99E+11 | 6.566E+09 | 5.48E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 52.00 | 1.517E+08 | 15194764 | -5605515 | 2.844E+08 | 9.343E+10 | 832 | 15.55 | 0.0119 | 4.66E+11 | 8.687E+09 | 6.78E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 61.00 | 1.596E+08 | -16083215 | -5062967 | 1.245E+08 | 4.351E+10 | 642 | 17.39 | 0.0068 | 3.89E+11 | 6.559E+09 | 5.48E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 71.50 | 1.333E+08 | -12155918 | -3908720 | 2.371E+07 | 3.433E+09 | 123 | 12.07 | 0.0018 | 2.06E+11 | 2.527E+09 | 4.48E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 89.00 | 8.340E+07 | -5610424 | -1984976 | 1.792E+08 | 5.465E+10 | 750 | 13.44 | 0.0180 | 1.72E+11 | 9.598E+08 | 3.51E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 104.00 | 5.004E+07 | 0 | 336050 | 2.21E+08 | 7.167E+10 | 987 | 9.73 | 0.0241 | 1.25E+11 | 3.796E+08 | 3.32E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 119.00 | 8.340E+07 | -5610424 | 1984976 | 1.792E+08 | 5.465E+10 | 750 | 13.44 | 0.0180 | 1.72E+11 | 1.439E+09 | 3.51E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 136.50 | 1.333E+08 | -12155918 | 3908720 | 2.371E+07 | 3.433E+09 | 123 | 12.07 | 0.0018 | 2.06E+11 | 3.131E+09 | 4.48E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 147.00 | 1.596E+08 | -16083215 | 5062967 | 1.245E+08 | 4.351E+10 | 642 | 17.39 | 0.0068 | 3.89E+11 | 7.295E+09 | 5.48E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 156.00 | 1.517E+08 | 15194764 | -5605515 | 2.844E+08 | 9.343E+10 | 832 | 15.55 | 0.0119 | 4.66E+11 | 9.666E+09 | 6.78E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 165.00 | 1.596E+08 | 11828509 | 4396560 | 1.628E+08 | 4.843E+10 | 705 | 17.94 | 0.0089 | 3.99E+11 | 6.566E+09 | 5.48E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 175.50 | 1.333E+08 | 7901213 | 2986114 | 5.926E+07 | 9.721E+09 | 260 | 13.49 | 0.0046 | 2.24E+11 | 2.674E+09 | 4.48E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 193.00 | 8.340E+07 | 1355718 | -1539870 | 2.174E+07 | 1.504E+10 | 310 | 9.75 | 0.0022 | 1.35E+11 | 4.860E+08 | 3.51E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |
| 208.00 | 5.004E+07 | -4254705 | -3548435 | 1.455E-11 | 1.455E-11 | 0 | 4.35 | 0.0000 | 7.55E+10 | 7.136E+08 | 3.32E+07 | Tidak Perlu Tul. Geser |

5.6.4 Perhitungan Tulangan Geser

Data perencanaan :

$$f_c' = 60 \text{ MPa}$$

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

$$b_w = 12500 \text{ mm}$$

$$d = 5000 - 225 = 4775$$

dalam perencanaan jarak tulangan yaitu dengan syarat V_s tidak boleh melebihi nilai berikut :

$$V_s = 2 \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{3} \right) \times b_w \times d$$

Jarak Maksimum sengkang pada beton prategang adalah :

$$S1 = 0,75 h$$

$$= 0,75 \times 5000 = 3750 \text{ mm}$$

Atau

$$S2 = 600 \text{ mm (SNI 2847 Ps.13.5.4.1)}$$

Pada perencanaan ini digunakan tulangan geser sejarak $S = 200$ mm

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \text{ (SNI T-12-2004 persamaan 6.8.15)}$$

Dimana A_v merupakan luas tulangan geser yang diperlukan untuk menahan geser

Karena dalam perencanaan ini kekuatan geser beton dan tendon sudah mampu menahan geser maka digunakan tulangan geser minimum dengan rumus sebagai berikut

$$A_{v \min} \geq \frac{b_w \times s}{3 \times f_y} \text{ (SNI T-12-2004 persamaan 6.8.17)}$$

$$A_{v \min} \geq \frac{12500 \times 200}{3 \times 400} = \mathbf{1984,126 \text{ mm}^2}$$

Dipakai Tulangan Geser **9 D22-125**

5.6.5 Kontrol Kekuatan Dan Stabilitas Struktur

5.6.5.1 Kontrol Momen Retak

Momen yang menghasilkan retak-retak rambut pertama pada balok pratekan dihitung dengan teori elastik dengan menganggap bahwa retak mulai terjadi saat tegangan tarik pada serat terluar beton mencapai modulus keruntuhannya

Perhitungan kontrol momen retak dilakukan pada saat pelaksanaan dan pada saat bentang jembatan sudah tersusun keseluruhan

Kontrol momen retak pada saat pemasangan tendon kantilefer

Untuk kontrol pada tahap kantilefer dilakukan pada joint yang mengalami momen terbesar dalam perencanaan ini adalah joint 16. Berikut merupakan perhitungan momen retak di joint 16 :

$$\begin{array}{ll}
 F_{\text{eff}} & = 152248839 \quad \text{N} \\
 M_u & = 534774686064 \quad \text{Nmm} \\
 E & = 1730 \quad \text{mm} \\
 W_a & = 23984662076 \quad \text{mm}^3 \\
 K_b & = 1627 \quad \text{mm} \\
 f_c' & = 60 \quad \text{MPa} \\
 F_r & = 4,802 \quad \text{MPa}
 \end{array}$$

Sehingga :

$$M_{cr} = 626.254.937.529 > M_u = 534.774.686.064$$

OK!!!

Kontrol momen retak pada saat pemasangan tendon Menerus

Untuk kontrol pada tahap kantilefer dilakukan pada Tumpuan dalam perencanaan ini adalah Sta 52 m. Berikut merupakan perhitungan momen retak Sta 52 m :

$$F_{\text{eff}} = 38684623 \quad \text{N}$$

| | | | |
|--------|---|-------------|-----------------|
| M_u | = | 93897966 | Nmm |
| e | = | 832 | Mm |
| W_b | = | 15401191525 | mm ³ |
| K_a | = | 1045 | Mm |
| f_c' | = | 60 | MPa |
| f_r | = | 4,802 | MPa |

Sehingga

$$M_{cr} = 146.564.925.524 > M_u = 93.897.966$$

OK!!!

5.6.5.2 Kontrol Torsi

Kontrol torsi digunakan untuk menganalisa kemampuan box girder menerima beban eksentrisitas yang diberikan oleh kendaraan. Berikut merupakan perhitungan dari kontrol torsi.

1. Perhitungan Torsi yang terjadi

- **Momen Akibat BTR**

$$\begin{aligned} Q_{BTR\ 100m} &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{104}\right) \\ &= 5,80 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{BTR\ 50m} &= 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{52}\right) \\ &= 7,1 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Maka dipakai UDL terbesar yaitu 7,1 kN/m²

$$\begin{aligned} M_{BTR} &= 1/2 \times BTR \times 5,8^2 \times 52/2 \\ &= 1/2 \times 7,1 \times 5,8^2 \times 26 \\ &= 2542,641 \text{ kNm} \end{aligned}$$

2. Momen Akibat BGT

$$\begin{aligned} BGT &= 49 \times (1 + \text{FBD}) \\ &= 49 \times (1 + 0,3) \\ &= 63,7 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{BGT} &= 1/2 \times BGT \times 5,5^2 \\ &= 1/2 \times 63,7 \times 5,5^2 \\ &= 963,46 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3. Momen Akibat Angin

$$\begin{aligned} T_{ew2} &= 0,0012 \times C_w \times (V_w)^2 \\ &= 0,0012 \times 1,48 \times (30)^2 \\ &= 1,598 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P. T_{ew2} &= T_{ew2} \times \text{panjang truck} \\ &= 1,598 \times 12 = 19,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M. T_{ew2} &= P. T_{ew} \times (2 + ya) \\ &= 19,18 \times (2 \times 1,955) \\ &= 56,575 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{ew} &= 0,0006 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_s \\ &= 0,0006 \times 1,48 \times (30)^2 \times 20 \\ &= 15,98 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M. T_{ew} &= P. T_{ew} \times \left| yb - \frac{1}{2} H \text{ box} \right| \\ &= 1598 \times \left| 1,552 - \frac{1}{2} 2,5 \right| \\ &= 27,556 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Jadi Momen Total yang menimbulkan torsi :

$$\begin{aligned} T_u &= (1,8(M_{BTR} + M_{BGT})) + (1,3(M. T_{ew} + M. T_{ew2})) \\ &= (1,8(2542,641 + 963,46)) + (1,3(27,56 + 56,575)) \\ &= 6420,356 \text{ kNm} \\ &= 6420356266 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Torsi ijin

- Perhitungan Konstanta Torsi

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

dimana :

x_1 = tebal pelat

y_1 = lebar pelat

Pelat Atas

$$\begin{aligned}x_1 &= \text{tebal pelat} = 400 \text{ mm} \\y_1 &= \text{lebar pelat} = 12500 \text{ mm} \\ \eta_1 &= 0,445\end{aligned}$$

Pelat Badan

$$\begin{aligned}x_1 &= \text{tebal pelat} = 800 \text{ mm} \\y_1 &= \text{lebar pelat} = 1650 \text{ mm} \\ \eta_1 &= 0,306\end{aligned}$$

Pelat Bawah

$$\begin{aligned}x_1 &= \text{tebal pelat} = 400 \text{ mm} \\y_1 &= \text{lebar pelat} = 6500 \text{ mm} \\ \eta_1 &= 0,431\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konstanta Torsi} &= \sum \eta_1 \cdot x_1^2 \cdot y_1 \\ &= 0,445 \times 450^2 \times 12500 = 112714694,0 \\ &= 0,306 \times 650^2 \times 1650 = 213292549,7 \\ &= 0,431 \times 400^2 \times 6500 = \frac{448530805,7}{1788970302} +\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{cr} &= 6 \sqrt{f'c'} \cdot \sqrt{1 + \frac{(10 \times \frac{F}{A})}{f'c'}} \cdot \sum \eta_1 \cdot x_1^2 \cdot y_1 \\ &= 6 \sqrt{60} \cdot \sqrt{1 + \frac{(10 \times \frac{38684623}{14745000})}{60}} \cdot 1788970302 \\ &= 99677714170 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

- **Torsi Ijin**

Tulangan Puntir tidak diperlukan jika :

$$\frac{T_u}{\phi T_{cr}} < 0,25 \text{ (SNI T-12-2002 persamaan 5.4-2)}$$

$$\begin{aligned}T_u \text{ ijin} &= \phi \cdot T_{cr} \cdot 0,25 \\ &= 0,7 \cdot 99677714170 \cdot 0,25 \\ &= 17443599980 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Syarat : $T_u \text{ ijin} > T_u$

$17.443.599.980 \text{ Nmm} > 6.420.356.266 \text{ Nmm} \dots \text{OK}$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan box girder tidak memerlukan tulangan torsi.

5.6.5.3 Kontrol Lendutan

| | | | |
|----------------------|---|--------|------|
| Beban Hidup Merata | = | 134 | kN/m |
| Beban Hidup Terpusat | = | 614,5 | kN |
| Beban Mati | = | 373,69 | kN/m |

| | | | |
|---------------------|---|----------|--------------|
| F_c | = | 60,00 | MPa |
| E_c | = | 36406,04 | |
| I | = | 4,003 | m^4 |
| Lendutan yg terjadi | = | 98,8143 | |

| | | | |
|---------------|---|-------|----|
| L Jembatan | = | 104 | m |
| Lendutan Ijin | = | 0,217 | m |
| | | 21,7 | cm |
| | | 217 | mm |

| | | |
|-----------------------|---|---------------|
| Lendutan yang terjadi | < | Lendutan ijin |
| 98,814 | < | 216 OK !!! |

BAB VI PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN BAWAH

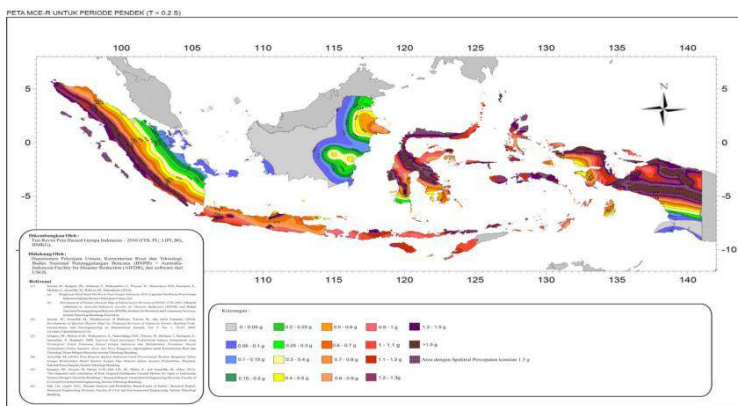
Perencanaan struktur bawah dalam pengerjaan tugas akhir ini meliputi elastomer, *pier head*, kolom (pilar) jembatan, perencanaan pondasi dan *pile cap* (*poer*). Sebelum menganalisa perencanaan struktur bangunan bawah, terlebih dahulu akan menganalisa beban gempa yang bekerja pada bangunan bawah jembatan.

6.1 Analisa Beban Gempa

Analisa beban gempa dilakukan dengan cara analisa respon spectrum sesuai dengan SNI 2833 tahun 2008 dan juga RSNI ketahanan perencanaan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, berikut ini data perencanaan gempa:

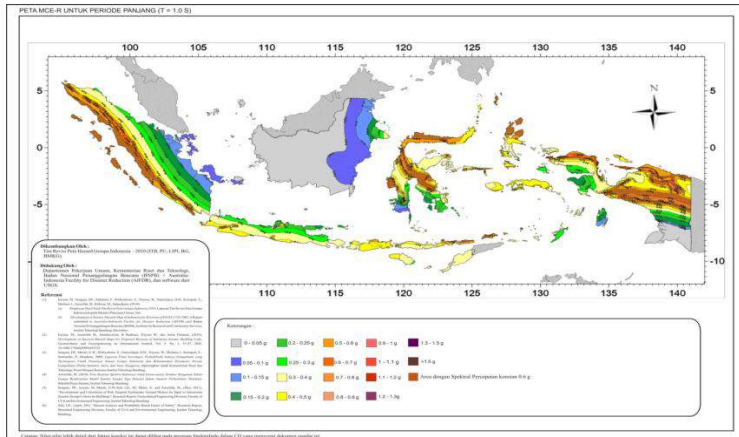
Jenis bangunan : Bangunan Jembatan

Kategori resiko : Zona IV



Gambar 6.1 Gambar Peta Gempa Maksimum S_s

Sesuai peta diatas wilayah Mojokerto didapatkan nilai amplikasi seismik pada periode $S_s = 0,7 \text{ g}$.



Gambar 6.2 Gambar Peta Gempa Maksimum S_1

Sesuai peta diatas wilayah Mojokerto didapatkan nilai $S_1 = 0,25 g$.

Untuk penentuan nilai F_a , F_v dapat dilihat dari tabel berikut ini.

Dengan data tanah kelas situs masuk dalam klasifikasi situs SD (tanah sedang).

Tabel 6.1 Tabel Koefisien Situs F_a

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s | | | | |
|-------------|--|-------------|--------------|-----------|-----------------|
| | $S_s \leq 0,25$ | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| SD | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| SE | 2,5 | 1,7 | 1,2 | 0,9 | 0,9 |
| SF | SS ^b | | | | |

CATATAN :

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat **Pasal 6.9.1**

Tabel 6.2 Tabel Koefisien Situs Fv

| Kelas situs | Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_T | | | | |
|-------------|--|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | $S_T \leq 0,1$ | $S_T = 0,2$ | $S_T = 0,3$ | $S_T = 0,4$ | $S_T \geq 0,5$ |
| SA | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| SB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| SC | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| SD | 2,4 | 2 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| SE | 3,5 | 3,2 | 2,8 | 2,4 | 2,4 |
| SF | SS ^b | | | | |

CATATAN :(a) Untuk nilai-nilai antara S_T dapat dilakukan interpolasi linier(b) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat **Pasal 6.9.1**

Dari tabel diatas didapatkan nilai :

$$F_a = 1,2$$

$$F_v = 1,5$$

Maka nilai dari :

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,2 \times 0,7 = 0,84 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_a \times S_1 = 1,5 \times 0,25 = 0,375 \text{ g}$$

Parameter percepatan spektral desain adalah :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,84 = 0,56 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,375 = 0,25 \text{ g}$$

Tabel 6.3 Tabel Nilai S_{DS}

| Nilai S_{DS} | Kategori risiko | |
|----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$ | A | A |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B | C |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$ | C | D |
| $0,50 \leq S_{DS}$ | D | D |

Tabel 6.4 Tabel Nilai S_{D1}

| Nilai S_{D1} | Kategori risiko | |
|-----------------------------|--------------------|----|
| | I atau II atau III | IV |
| $S_{D1} < 0,067$ | A | A |
| $0,067 \leq S_{D1} < 0,133$ | B | C |
| $0,133 \leq S_{D1} < 0,20$ | C | D |
| $0,20 \leq S_{D1}$ | D | D |

Respon spectrum desain didapat nilai sebagai berikut :

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS} = 0,2 \frac{0,25}{0.600,567} = 0,089$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = \frac{0,25}{0.56} = 0,446$$

Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

$$S_a = 0,607 \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,089} \right)$$

$$S_a = 0,224$$

Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS}

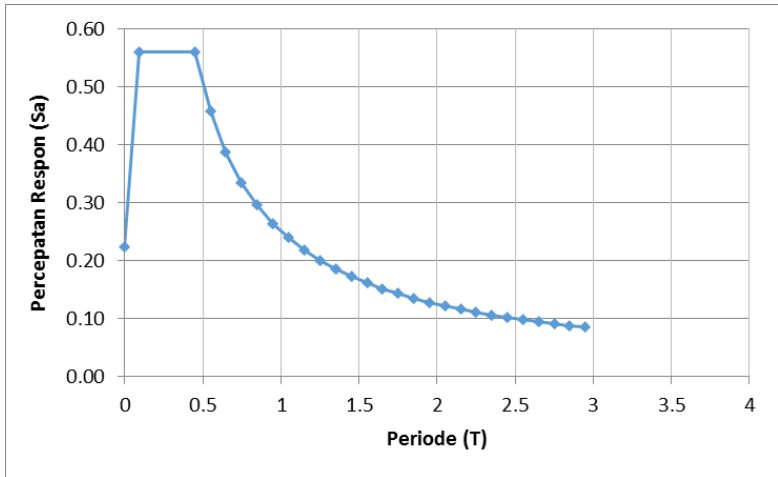
Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \left(\frac{SD1}{T} \right)$$

Selanjutnya, perhitungan spektrum respon desain yang merupakan korelasi antara T dan Sa akan disajikan dalam tabel 6.5 yang berada dibawah ini.

Tabel 6.5 Tabel Spektrum respon desain hubungan T dan Sa

| T | Sa | T | Sa |
|------|------|------|------|
| 0 | 0.22 | 1.65 | 0.15 |
| 0.09 | 0.56 | 1.75 | 0.14 |
| 0.45 | 0.56 | 1.85 | 0.14 |
| 0.55 | 0.46 | 1.95 | 0.13 |
| 0.65 | 0.39 | 2.05 | 0.12 |
| 0.75 | 0.34 | 2.15 | 0.12 |
| 0.85 | 0.30 | 2.25 | 0.11 |
| 0.95 | 0.26 | 2.35 | 0.11 |
| 1.05 | 0.24 | 2.45 | 0.1 |
| 1.15 | 0.22 | 2.55 | 0.1 |
| 1.25 | 0.20 | 2.65 | 0.1 |
| 1.35 | 0.19 | 2.75 | 0.1 |
| 1.45 | 0.17 | 2.85 | 0.1 |
| 1.55 | 0.16 | 2.95 | 0.1 |

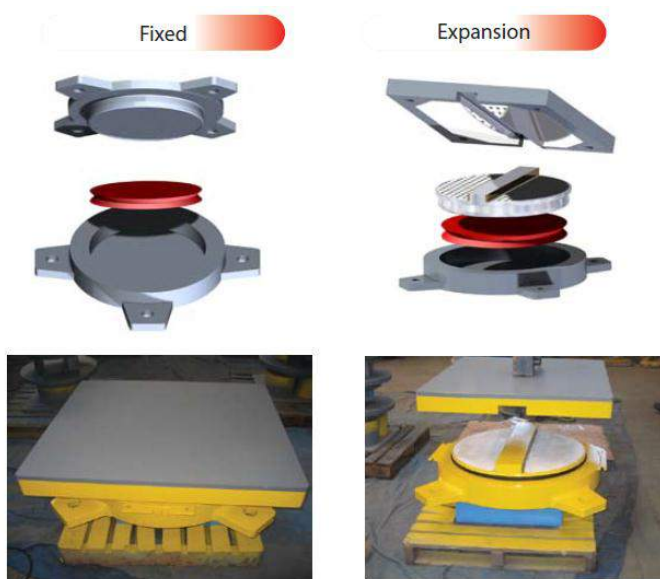


Gambar 6.3 Grafik Respon Spektrum

6.2 Perencanaan Tumpuan

Pada perencanaan jembatan ini digunakan tumpuan yang berupa rol sendi rol rol dimana pada bagian tumpuan direncanakan menggunakan Pod Bearing System dari R.J Watson. 1 unit bearing pod dapat memikul beban vertikal sampai 10000 kip yang apabila dikonversikan ke kilonewton menjadi 44482,216 kN.

Dalam hal ini penyedia jasa dapat membuat custom bearing sesuai dengan request beban yang terjadi. Sehingga kita dapat lebih mengefisienkan bahan yang kita rencanakan.



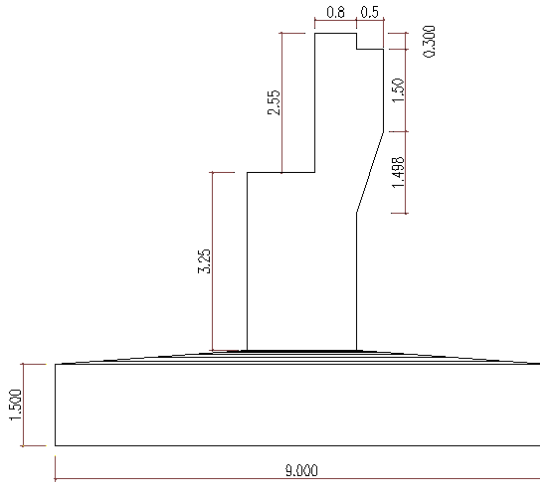
Gambar 6.4 Bearing pod

- **Kebutuhan bearing pod**

Diperoleh beban vertikal pada abutment sebesar 13285,431 kN
 Direncanakan pada bagian abutment menggunakan 2 buah bearing pod dengan kekuatan 1500 kip

Diperoleh beban vertikal pada pier sebesar 61694,478 kN
 Direncanakan pada bagian abutment menggunakan 2 buah bearing pod dengan kekuatan 7000 kip

6.3 Perencanaan Abutment



Gambar 6.5 Sketsa dimensi abutment

6.3.1 Pembebanan

a. Beban mati dan beban hidup

Dari Hasil SAP 2000 diperoleh nilai :

Beban Mati : 467080,4 kg

Beban Hidup : 204844,9 kg

b. Beban Angin

Letak Jembatan > 5 km

Maka kecepatan angin rencana

$$V_w = 30 \text{ m/s} \rightarrow (\text{SNI T-02-2005})$$

Akibat angin

$$\begin{aligned} T_{ew_1} &= 0,0006 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_b \\ &= 0,0006 \times 1,48 \times 30^2 \times (H_{\text{rata-rata}} \times 52) \\ &= 4147,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{w_1} &= \frac{1}{2} \times T_{ew_1} \\ &= 2073,74 \text{ kg} \end{aligned}$$

Titik tangkap angin (H_A) 7,55 dari dasar abutment ke lantai kendaraan

$$\begin{aligned} M_A &= H_A \times H_{w_1} \\ &= 7,55 \times 2073,74 \text{ kg} \\ &= 15657 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Beban akibat angin yang mengenai kendaraan

$$\begin{aligned} T_{ew_2} &= 0,0012 \times C_w \times (V_w)^2 \times L \\ &= 0,0012 \times 1,48 \times 30^2 \times 52 \\ &= 8311,68 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{w_2} &= \frac{1}{2} \times T_{ew_2} \\ &= 4156 \text{ kg} \end{aligned}$$

Titik tangkap angin dari dasar abutment ke lantai kendaraan ditambah tinggi kendaraan 2 (H_A) = 9,55 m

$$\begin{aligned} M_A &= H_A \times H_{w_1} \\ &= 9,55 \times 2073,74 \text{ kg} \\ &= 39688 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_T &= H_{w_1} + H_{w_2} \\ &= 2073,7 + 4156 \\ &= 6229,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

c. Beban gesekan

Beban gesekan pada tumpuan bergerak (Beban horisontal Longitudinal pada perletakan)

misal : akibat pemuaian, penyusutan, gaya gempa

$$\begin{aligned} G_g &= 0,15 \times (R_D + R_L) \\ &= 0,15 \times (1283122,11 + 241136) \\ &= 228638,76 \text{ kg} \end{aligned}$$

Titik tangkap gaya gesek -1,3 m dari lantai kendaraan (H_A)
6,25m

$$\begin{aligned} M_g &= G_g \times H_A \\ &= 228638,76 \times 6,25 \\ &= 1428892 \text{ kgm} \end{aligned}$$

d. Beban rem

Beban rem (Tr) berdasarkan SNI T-02-2005 Gbr.9 adalah 250 kN

Reaksi perletakan akibat pengereman adalah

$$\begin{aligned} R_m &= 0,5 \times Tr \\ &= 0,5 \times 250 \\ &= 125 \text{ kN} \\ &= 12500 \text{ kg} \end{aligned}$$

Titik tangkap gaya rem 1,8 m dari lantai kendaraan adalah
9,05 m

$$\begin{aligned} M_R &= 12500 \times 9,35 \\ &= 116875 \text{ kgm} \end{aligned}$$

e. Beban Gempa

Koefisien geser gempa "C"

Dimensi abutment taksiran 19,815 m², panjang 7,2 m

$$\begin{aligned} W_{TP} &= 467080,4 + 0,5 (19,815 \times 7,2 \times 2400) \\ &= 679646 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= 4700 \sqrt{f_c'} = 4700 \sqrt{35} = 27805.58 \text{ MPa} \\ &= 2,78 \times 10^7 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- Menghitung Inersia arah melintang dan memanjang

Tabel 6.9 rekapitulasi inersia pada abutmen

| No | t (m) | lebar (m) | Panjang (m) | I melintang | I memanjang |
|--------|-------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 2.55 | 0.8 | 7.2 | 1.105 | 116.070 |
| 2 | 1.5 | 0.5 | 7.2 | 0.141 | 23.625 |
| 3 | 1.5 | 0.5 | 7.2 | 0.141 | 23.625 |
| 4 | 3.5 | 2 | 7.2 | 7.146 | 300.125 |
| 5 | 0.25 | 2.6 | 7.2 | 0.003 | 0.109 |
| 6 | 0.25 | 2.6 | 7.2 | 0.003 | 0.109 |
| 7 | 1.25 | 7.2 | 7.2 | 1.172 | 13.672 |
| Jumlah | | | | 9.711 | 477.335 |

- Arah melintang

$$K_p = \frac{3EI}{L^3} = \frac{3 \times 2,78 \times 10^7 \times 9,71}{7,2^3}$$

$$= 21703336,01 \text{ kN/m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{g K_p}} = 2\pi \sqrt{\frac{679646}{9.8 \times 21703336,01}}$$

$$= 0.05 \text{ detik}$$

$$T_{EQ} = C \cdot S \cdot I \cdot Wt$$

Dimana :

C = Koefisien geser dasar gempa

S = Faktor type bangunan = 1

I = Faktor kepentingan = 1,2

$T_{EQ(x)}$ = $0,15 \times 1 \times 1,2 \times Wt$

= $0,18 \times Wt$

- **Arah memanjang**

$$K_p = \frac{3EI}{L^3} = \frac{3 \times 2,78 \times 10^7 \times 447}{7,2^3}$$

$$= 1066790532 \text{ kN/m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{g K_p}} = 2\pi \sqrt{\frac{679646}{9,8 \times 1066790532}}$$

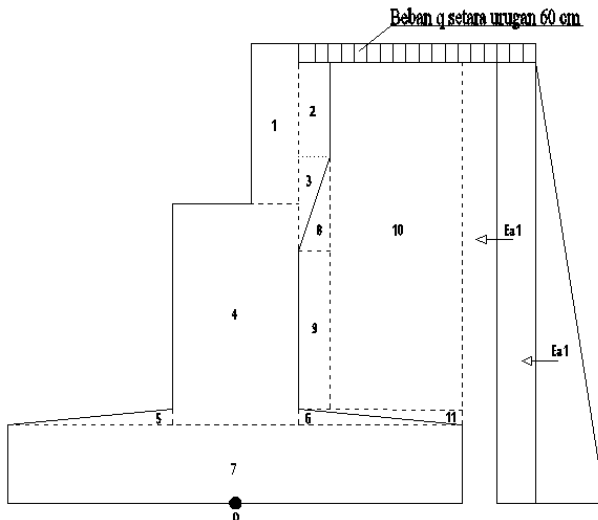
$$= 0,355 \text{ detik}$$

$$T_{EQ} = C \cdot S \cdot I \cdot Wt$$

$$T_{EQ(y)} = 0,15 \times 1 \times 1,2 \times Wt$$

$$= 0,18 \times Wt$$

6.3.2 Perhitungan beban lalu lintas dan tekanan tanah



Gambar 6.6 Segmen abutment

a. Tegangan tanah

Dari data tanah didapatkan :

$$\gamma_{\text{tanah}} = 1800 \text{ kg/m}^3; \theta = 30^\circ$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1800 \text{ kg/m}^3; c = 0$$

$$\begin{aligned} \gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \\ &= 1800 - 1000 \\ &= 800 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Koefisien tekanan tanah aktif menggunakan persamaan :

$$K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$$

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 (45^\circ - 30/2) \\ &= 0,333 \end{aligned}$$

Beban lalu – lintas ekuivalen dengan beban tanah urugan setebal 0,6 meter

$$\begin{aligned} q \text{ kendaraan} &= 0,6 \times \gamma_{\text{tanah timbunan}} \\ &= 0,6 \times 1800 \\ &= 1080 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Akibat beban lalu – lintas untuk tanah dibawahnya :

$$\begin{aligned} E_{a1} &= H_1 \times K_a \times q \text{ kendaraan} \\ &= 7,55 \times 0,33 \times 1080 \\ &= 2718 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Akibat urugan tanah :

$$\begin{aligned} E_{a2} &= (H_2 \times \gamma_{\text{tanah}} \times K_a) \\ &= (7,55 \times 1,800 \times 0,33) \\ &= 4530 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Tabel 6.10 Rekapitulasi momen terhadap titik O

| No | t (m) | l (m) | Shape | X terhadap titik O | Berat (kg) | Mx (kgm) | Y terhadap titik O | My (kgm) |
|----------------------|-------|-------|-------|--------------------|------------|-----------|--------------------|------------|
| Berat Abutmen | | | | | | | | |
| 1 | 2.55 | 0.8 | 1 | 0.625 | 35251.2 | 22032 | | |
| 2 | 1.5 | 0.5 | 1 | 1.250 | 12960 | 16200 | | |
| 3 | 1.5 | 0.5 | 0.5 | 1.166 | 6480 | 7555.68 | | |
| 4 | 3.5 | 2 | 1 | 0 | 120960 | 0 | | |
| 5 | 0.25 | 3.5 | 0.5 | -2.166 | 7560 | -16374.96 | | |
| 6 | 0.25 | 3.5 | 0.5 | 2.166 | 7560 | 16374.96 | | |
| 7 | 1.5 | 9 | 1 | 0 | 233280 | 0 | | |
| Jumlah | | | | | 424051.2 | 45787.68 | | |
| Berat Tanah | | | | | | | | |
| 8 | 1.5 | 0.5 | 0.5 | 1.33 | 6480 | 8637.84 | | |
| 9 | 2.5 | 0.5 | 1 | 1.25 | 21600 | 27000 | | |
| 10 | 5.8 | 3 | 1 | 3.00 | 300672 | 902016 | | |
| 11 | 0.25 | 3.5 | 0.5 | 3.33 | 7560 | 25205.04 | | |
| Jumlah | | | | | 336312 | 962858.88 | | |
| Tekanan Tanah | | | | | | | | |
| 1 | Ea 1 | | | | 19569.6 | | 3.60 | 70450.56 |
| 2 | Ea 2 | | | | 32616 | | 2.40 | 78278.400 |
| Jumlah | | | | | 52185.6 | | | 148728.960 |

b. Perhitungan letak titik berat abutment

Tabel 6.11 Perhitungan letak titik berat abutment

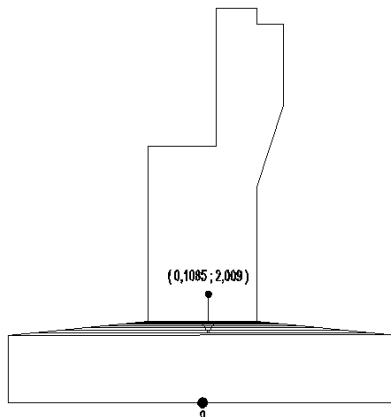
| No | t (m) | l (m) | Shape | A | X terhadap titik O | Y terhadap titik O | A.x | A.y |
|----------------------|-------|-------|-------|--------|--------------------|--------------------|--------|--------|
| Berat Abutmen | | | | | | | | |
| 1 | 2.55 | 0.8 | 1 | 2.04 | 0.625 | 6.025 | 1.275 | 12.291 |
| 2 | 1.5 | 0.5 | 1 | 0.75 | 1.250 | 6.251 | 0.938 | 4.688 |
| 3 | 1.5 | 0.5 | 0.5 | 0.375 | 1.200 | 5 | 0.450 | 1.875 |
| 4 | 3.5 | 2 | 1 | 7 | 0 | 3 | 0 | 21.000 |
| 5 | 0.25 | 3.5 | 0.5 | 0.4375 | -1.866 | 1.34 | -0.816 | 0.586 |
| 6 | 0.25 | 3.5 | 0.5 | 0.4375 | 1.866 | 0.625 | 0.816 | 0.273 |
| 7 | 1.5 | 9 | 1 | 13.5 | 0 | 0.625 | 0 | 8.438 |
| Jumlah | | | | 24.540 | | | 2.663 | 49.151 |

Didapatkan titik berat abutment :

$$x_A = \frac{\sum x \cdot A}{\sum A} = \frac{2,663}{24,540} = 0,1085 \text{ m dari O}$$

$$y_A = \frac{\sum y \cdot A}{\sum A} = \frac{49,151}{24,540} = 2,0029 \text{ m dari O}$$

Koordinat titik berat abutment (0,1085 ; 2,0029) m



Gambar 6.7 Letak titik berat abutment

c. Perhitungan gaya gempa

Gaya geser total

$$T_{eq} = 0,18 \times \text{Beban abutment}$$

Tabel 6.12 Perhitungan gaya geser total

| No | Berat | Teq | y | Meq |
|---------------|---------|-----------|-------|------------|
| | (kg) | (kg) | (m) | (kgm) |
| Struktur atas | | | | |
| Pmati | 467080 | 84074.47 | 5 | 420372.36 |
| Abutment | | | | |
| 1 | 35251.2 | 6345.216 | 6.275 | 39816.230 |
| 2 | 12960 | 2332.8 | 6.5 | 15163.200 |
| 3 | 6480 | 1166.4 | 5.222 | 6090.941 |
| 4 | 120960 | 21772.8 | 3.25 | 70761.600 |
| 5 | 7560 | 1360.8 | 1.583 | 2154.146 |
| 6 | 7560 | 1360.8 | 1.583 | 2154.146 |
| 7 | 233280 | 41990.4 | 0.75 | 31492.800 |
| | | 160403.69 | | 588005.424 |
| Tanah | | | | |
| 8 | 6480 | 1166.4 | 4.5 | 5248.8 |
| 9 | 21600 | 3888 | 2.75 | 10692 |
| 10 | 300672 | 54120.96 | 4.25 | 230014.08 |
| 11 | 7560 | 1360.8 | 1.33 | 1809.864 |
| | | 60536.16 | | 247764.744 |

6.3.3 Kontrol stabilitas abutment

a. Kontrol terhadap guling

$$\Sigma M_{\text{guling}} = 142819,2 \text{ kgm}$$

$$\Sigma M_{\text{penahan}} = 604577,82 \text{ kgm}$$

$$SF = \frac{\Sigma M_{\text{penahan}}}{\Sigma M_{\text{guling}}} \geq 2,2$$

$$SF = \frac{1008646,56}{148728,96} \geq 2,2$$

$$= 6,78 \geq 2,2 \rightarrow \text{OK!}$$

b. Kontrol terhadap geser

Faktor keamanan terhadap geser

$$SF = \frac{a \cdot b + W \cdot \operatorname{tg} \delta}{P} \geq 1,5$$

Dimana :

a = Karakteristik adhesi antara tanah dengan abutment

$$= 0,6 C \rightarrow C = 0$$

$$= 0,6 \times 0 = 0 \text{ kg/cm}^2$$

b = Lebar pondasi = 7,2 m

W = Komposisi vertikal dari R

$$= W_{t(\text{dead load})} + W_{\text{abutment}}$$

$$= 467080,4 + 424051,2$$

$$= 891131,6 \text{ kg}$$

P = Komposisi horizontal dari R (ΣE_a tanah)

$$= 52185,6 \text{ kg}$$

 δ = Faktor lekatan/hambatan antara tanah dan pondasi

$$= 30^\circ \text{ (Terzaghi \& Peck untuk mtanah lempung)}$$

$$\begin{aligned} SF &= \frac{(0 \times 7,2) + 891131,6 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ}{52185,6} \\ &= 9,858 \geq 1,5 \rightarrow \text{OK!} \end{aligned}$$

Tabel 6.13 Rekapitulasi momen yang terjadi

| No | Aksi / Beban | Vertikal | Horizontal | | Momen | |
|-----------------|---------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|
| | | P (kg) | Hx (kg) | Hy (kg) | Mx (kgm) | My (kgm) |
| Aksi Tetap | | | | | | |
| 1 | Berat sendiri | 424051.2 | | | 45787.68 | |
| 2 | Beban mati | 467080.4 | | | | |
| 3 | Berat Tanah | 336312 | | | 962858.88 | |
| 4 | Tekanan Tanah | | | 52185.6 | | 148729.0 |
| Lalu Lintas | | | | | | |
| 5 | Beban hidup | 205844.80 | | | | |
| 6 | Beban Rem | | | 12500 | | 116875 |
| Aksi Lingkungan | | | | | | |
| 7 | Beban Angin | | | 6229.578 | | 55344.995 |
| 8 | Beban Gempa | | 160403.69 | 160403.688 | 588005.42 | 588005.424 |
| 9 | Tekanan Tanah | | | 60536.16 | | 247764.744 |
| Aksi Lainnya | | | | | | |
| 10 | Gesekan | | | 100938.780 | | 630867 |
| | | 1433288.4 | 160403.7 | 231318.9 | 1596652.0 | 1787586.5 |

Kombinasi 1 (M +H + Ta)

Tabel 6.14 Perhitungan kombinasi 1

| No | Aksi / Beban | Vertikal | Horizontal | | Momen | |
|----|---------------|-------------|------------|----------|-------------|-------------|
| | | P (kg) | Hx (kg) | Hy (kg) | Mx (kgm) | My (kgm) |
| 1 | Berat sendiri | 424051.2 | | | 45787.68 | |
| 2 | Beban mati | 467080.4 | | | | |
| 3 | Berat Tanah | 336312 | | | 962858.88 | |
| 4 | Tekanan Tanah | | | 60536.16 | | 247764.74 |
| 5 | Beban hidup | 139.397 | | | | |
| | | 1227582.997 | | 60536 | 1008647 | 247765 |

Kombinasi 2 (M + Ta + Gg + A)

Tabel 6.15 Perhitungan kombinasi 2

| No | Aksi / Beban | Vertikal | Horisontal | | Momen | |
|----|---------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|
| | | P (kg) | Hx (kg) | Hy (kg) | Mx (kgm) | My (kgm) |
| 1 | Berat sendiri | 424051.2 | | | 45787.68 | |
| 2 | Beban mati | 467080.4 | | | | |
| 3 | Berat Tanah | 336312 | | | 962858.88 | |
| 4 | Tekanan Tanah | | | 60536.16 | | 247764.74 |
| 5 | Beban Angin | | | 6229.578 | | 55344.995 |
| 6 | Gesekan | | | 100938.780 | | 630867 |
| | | 1227443.6 | | 6229.578186 | 1008647 | 933977.1143 |

Kombinasi 3 (Kombinasi 1 + Rm + Gg + A)

Tabel 6.16 Perhitungan kombinasi 3

| No | Aksi / Beban | Vertikal | Horisontal | | Momen | |
|----|--------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | | P (kg) | Hx (kg) | Hy (kg) | Mx (kgm) | My (kgm) |
| 1 | Kombinasi 1 | 1227582.997 | | 60536 | 1008647 | 247765 |
| 2 | Beban Rem | | | 12500 | | 116875 |
| 3 | Beban Angin | | | 6229.578 | | 55344.995 |
| 4 | Gesekan | | | 100938.780 | | 630867 |
| | | 1227582.997 | | 6229.578 | 1008647 | 1050852.114 |

Kombinasi 4 (M + Ta + Hg + Tag)

Tabel 6.17 Perhitungan kombinasi 4

| No | Aksi / Beban | Vertikal | Horisontal | | Momen | |
|----|---------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|
| | | P (kg) | Hx (kg) | Hy (kg) | Mx (kgm) | My (kgm) |
| 1 | Berat sendiri | 424051.2 | | | 45787.68 | |
| 2 | Beban mati | 467080.4 | | | | |
| 3 | Berat Tanah | 336312 | | | 962858.88 | |
| 4 | Tekanan Tanah | | | | | |
| 5 | Beban Gempa | | 160403.69 | 160403.688 | 588005.424 | 588005.4 |
| 6 | Tekanan Tanah | | | 60536.16 | | 247764.74 |
| | | 1227443.6 | 160403.688 | 160403.688 | 1596652 | 835770.168 |

Kombinasi 5 (M + Hg + Gg + A)

Tabel 6.18 Perhitungan kombinasi 5

| No | Aksi / Beban | Vertikal | Horizontal | | Momen | |
|----|---------------|-----------|------------|-------------|------------|-------------|
| | | P (kg) | Hx (kg) | Hy (kg) | Mx (kgm) | My (kgm) |
| 1 | Berat sendiri | 424051.2 | | | 45787.68 | |
| 2 | Beban mati | 467080.4 | | | | |
| 3 | Berat Tanah | 336312 | | | 962858.88 | |
| 4 | Beban Angin | | | 6229.578186 | | 55344.9953 |
| 5 | Beban Gempa | | 160403.688 | 160403.688 | 588005.424 | 588005.424 |
| 6 | Gesekan | | | 100938.780 | | 630867 |
| | | 1227443.6 | 160403.688 | 166633.266 | 1596652 | 1274217.794 |

Rekapitulasi kombinasi pembebanan

Tabel 6.19 Rekapitulasi kombinasi beban

| No | Kombinasi Beban | P (kg) | Hx (kg) | Hy (kg) | Mx (kgm) | My (kgm) |
|----|-----------------|------------|------------|------------|----------|-------------|
| 1 | Kombinasi 1 | 1227583.00 | | 60536.16 | 1008647 | 247764.744 |
| 2 | Kombinasi 2 | 1227443.60 | | 6229.578 | 1008647 | 933977.1143 |
| 3 | Kombinasi 3 | 1227583.00 | | 6229.578 | 1008647 | 1050852.114 |
| 4 | Kombinasi 4 | 1227443.60 | 160403.688 | 160403.688 | 1596652 | 835770.168 |
| 5 | Kombinasi 5 | 1227443.60 | 160403.688 | 166633.266 | 1596652 | 1274217.794 |

6.3.4 Penulangan dinding abutment

Data perencanaan :

$$Mu = 1596652 \text{ kgm} = 15966,52 \text{ kNm}$$

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

$$dx = 2000 - 50 - 1/2 \cdot 29 = 1935,5 \text{ mm}$$

$$dy = 2000 - 50 - 29 - 1/2 \cdot 29 = 1906,5 \text{ mm}$$

$$\text{Momen ultimate (Mu)} = 15966,52 \text{ kNm}$$

$$\text{Mutu Beton (fc')} = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Baja (fy)} = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{tinggi efektif (dx')} = 1.9355 \text{ m}$$

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

$$\beta_1 = 0.8000$$

$$\lambda_b = 0,85 \left(0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

$$\rho_b = 0.0268$$

$$\phi \text{ lentur} = 0.8$$

$$d = 1935.5 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar} = 1000 \text{ mm}$$

Momen nominal rencana

$$M_n = M_u / \phi = 19958,15 \text{ kNm}$$

$$\text{Faktor tahanan momen (Rn)} = 5,3276$$

$$m = 9,714$$

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

$$\rho \text{ perlu} = 0,0187$$

$$\rho \text{ min} = 0,0035$$

$$\text{Luas Tulangan As} = 6774,25 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan D 29 - 100

Tulangan Bagi Plat Atas

$$\text{tulangan bagi} = 20\% \cdot A_s$$

$$\text{Luas Tulangan As} = 1354,85 \text{ mm}^2$$

$$\text{dipakai tulangan diameter} = 19$$

Maka dipakai tulangan D 19 - 200

6.3.5 Perencanaan pondasi abutment

Direncanakan menggunakan pondasi tiang pancang dengan diameter 60 cm dari PT. Gemilan Beton Precast.

6.3.5.1 Konfigurasi Pondasi

Direncanakan jumlah tiang pancang sebanyak 20 buah (4 x 5).

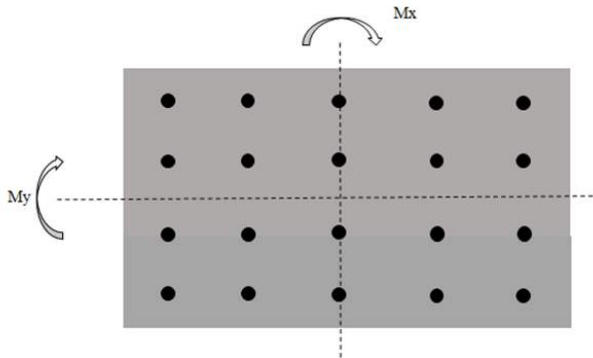
Syarat jarak minimal (s) antar tiang adalah sebagai berikut:

$$2,5D \leq s \leq 4D$$

$$1,5 \text{ m} \leq s \leq 2,4 \text{ m}$$

Dipakai $s = 3D = 1,8 \text{ m}$

Setelah menentukan konfigurasi tiang kelompok, langkah selanjutnya adalah menghitung beban yang bekerja pada satu tiang dari beban pada masing-masing kombinasi.



Gambar 6.8 Gambar Sket konfigurasi tiang kelompok

6.3.5.2 Perhitungan beban vertikal ekivalen

Perhitungan beban vertikal ekivalen yang diakibatkan oleh beban vertical, horizontal dan momen pada kepala tiang adalah sebagai berikut :

$$P_i = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x y}{\Sigma y^2}$$

Dimana :

ΣP = beban vertikal

n = jumlah tiang

M_x = Momen arah x

M_y = Momen arah y

x = jarak pondasi ke sumbu pusat arah x

y = jarak pondasi ke sumbu pusat arah y

Tabel 6.21 Tabel konfigurasi tiang pancang

| Titik | x (m) | y (m) | x ² (m ²) | y ² (m ²) |
|-------|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | -2.7 | 3.6 | 7.29 | 12.96 |
| 2 | -2.7 | 1.8 | 7.29 | 3.24 |
| 3 | 2.7 | 0 | 7.29 | 0 |
| 4 | 2.7 | 1.8 | 7.29 | 3.24 |
| 5 | 2.7 | 3.6 | 7.29 | 12.96 |
| 6 | 0.9 | 3.6 | 0.81 | 12.96 |
| 7 | 0.9 | 1.8 | 0.81 | 3.24 |
| 8 | 0.9 | 0 | 0.81 | 0 |
| 9 | -0.9 | 1.8 | 0.81 | 3.24 |
| 10 | -0.9 | 3.6 | 0.81 | 12.96 |
| 11 | -0.9 | -3.6 | 0.81 | 12.96 |
| 12 | -0.9 | -1.8 | 0.81 | 3.24 |
| 13 | -0.9 | 0 | 0.81 | 0 |
| 14 | 0.9 | -1.8 | 0.81 | 3.24 |
| 15 | 0.9 | -3.6 | 0.81 | 12.96 |
| 16 | 2.7 | -3.6 | 7.29 | 12.96 |
| 17 | 2.7 | -1.8 | 7.29 | 3.24 |
| 18 | -2.7 | 0 | 7.29 | 0 |
| 19 | -2.7 | -1.8 | 7.29 | 3.24 |
| 20 | -2.7 | -3.6 | 7.29 | 12.96 |
| | | | 81 | 129.6 |

Tabel 6.22 Reaksi pada tiang pancang

| Titik | $\frac{\sum P}{n} + \frac{M_y x}{\sum x^2} + \frac{M_x y}{\sum y^2}$ | $\frac{\sum P}{n} + \frac{M_y x}{\sum x^2} - \frac{M_x y}{\sum y^2}$ | $\frac{\sum P}{n} - \frac{M_y x}{\sum x^2} + \frac{M_x y}{\sum y^2}$ | $\frac{\sum P}{n} - \frac{M_y x}{\sum x^2} - \frac{M_x y}{\sum y^2}$ |
|-------|--|--|--|--|
| 1 | 63256.67 | 148204.52 | -25446.22 | 59501.63 |
| 2 | 41080.95 | 126028.80 | -3270.50 | 81677.35 |
| 3 | 103853.08 | 18905.22 | 103853.08 | 18905.22 |
| 4 | 126028.80 | 41080.95 | 81677.35 | -3270.50 |
| 5 | 148204.52 | 63256.67 | 59501.63 | -25446.22 |
| 6 | 119888.57 | 91572.62 | 31185.68 | 2869.73 |
| 7 | 97712.85 | 69396.90 | 53361.40 | 25045.45 |
| 8 | 75537.13 | 47221.17 | 75537.13 | 47221.17 |
| 9 | 69396.90 | 97712.85 | 25045.45 | 53361.40 |
| 10 | 91572.62 | 119888.57 | 2869.73 | 31185.68 |
| 11 | 2869.73 | 31185.68 | 91572.62 | 119888.57 |
| 12 | 25045.45 | 53361.40 | 69396.90 | 97712.85 |
| 13 | 47221.17 | 75537.13 | 47221.17 | 75537.13 |
| 14 | 53361.40 | 25045.45 | 97712.85 | 69396.90 |
| 15 | 31185.68 | 2869.73 | 119888.57 | 91572.62 |
| 16 | 59501.63 | -25446.22 | 148204.52 | 63256.67 |
| 17 | 81677.35 | -3270.50 | 126028.80 | 41080.95 |
| 18 | 18905.22 | 103853.08 | 18905.22 | 103853.08 |
| 19 | -3270.50 | 81677.35 | 41080.95 | 126028.80 |
| 20 | -25446.22 | 59501.63 | 63256.67 | 148204.52 |
| P max | 148204.52 | 148204.52 | 148204.52 | 148204.52 |
| P min | -25446.22 | -25446.22 | -25446.22 | -25446.22 |

Dari perhitungan diatas, maka diperoleh beban pada 1 tiang yang menentukan adalah :

$$P_{\max} = 148204,52 \text{ kg} = 148,2 \text{ ton}$$

$$P_{\min} = -25446,22 \text{ kg} = -25,446 \text{ ton}$$

6.3.5.3 Daya dukung aksial berdasarkan uji SPT

Daya dukung ijin pondasi dihitung berdasarkan nilai data tanah yaitu hasil SPT atau *Standart Penetration Test*. Dalam tugas akhir ini pondasi tiang pancang direncanakan dengan diameter 0,6 m

Perhitungan daya dukung tanah memakai metode Luciano Decourt :

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

Q_L = daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_p = resistance ultimate didasar tiang

Q_s = resistance ultimate akibat lekatan lateral

$Q_p = q_p \times A_p = (N_p \times K) \times A_p$

$Q_s = q_s \times A_s = (N_s/3 + 1) A_s$

Dengan :

N_p = harga rata-rata SPT pada 4D pondasi dibawah dan diatasnya

K = koef. karakteristik tanah

= 12 t/m², untuk tanah lempung

= 20 t/m², untuk tanah lanau berlempung

= 25 t/m², untuk tanah lanau berpasir

= 40 t/m², untuk tanah pasir

A_p = luas penampang dasar tiang

N_s = rata-rata SPT sepanjang tiang tertanam, dengan batasan $3 \leq N \leq 50$

A_s = keliling x panjang tiang tertanam

Tabel 6.20 Tabel Analisa Data Tanah

| Kedalaman (m) | N SPT | Jenis Tanah | Np | K (t/m ²) | Ns | Ns/3 | Qp ton | Qs ton | Ql ton |
|------------------|----------|------------------|-------|-----------------------|-------|------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 1.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 2.5 | 4 | Lanau berlempung | 5.33 | 20 | 4.00 | 1.3 | 30.16 | 6.05 | 36.21 |
| 3.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 4.5 | 5 | Lanau berlempung | 5.75 | 20 | 4.50 | 1.5 | 32.52 | 9.98 | 42.50 |
| 5.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 6.5 | 7 | Lanau berlempung | 8.00 | 20 | 5.33 | 1.8 | 45.24 | 14.03 | 59.27 |
| 7.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 8.5 | 7 | Lanau berlempung | 9.00 | 20 | 5.75 | 1.9 | 50.89 | 17.94 | 68.83 |
| 9.5 | | Pasir | | 40 | | | | | |
| 10.5 | 17 | Pasir | 10.00 | 40 | 8.00 | 2.7 | 113.10 | 22.46 | 135.56 |
| 11.5 | | Pasir | | 40 | | | | | |
| 12.5 | 9 | Pasir | 11.80 | 40 | 8.17 | 2.7 | 133.45 | 26.28 | 159.74 |
| 13.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 14.5 | 10 | Lanau berlempung | 14.20 | 20 | 8.43 | 2.8 | 80.30 | 30.14 | 110.44 |
| 15.5 | | Pasir | | 40 | | | | | |
| 16.5 | 16 | Pasir | 12.80 | 40 | 9.38 | 3.1 | 144.76 | 34.23 | 178.99 |
| 17.5 | | Pasir | | 40 | | | | | |
| 18.5 | 19 | Pasir | 13.60 | 40 | 10.44 | 3.5 | 153.81 | 38.35 | 192.17 |
| 19.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 20.5 | 10 | Lanau berlempung | 14.20 | 20 | 10.40 | 3.5 | 80.30 | 42.11 | 122.41 |
| 21.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 22.5 | 13 | Lanau berlempung | 18.20 | 20 | 10.64 | 3.5 | 102.92 | 45.96 | 148.88 |
| 23.5 | | Lanau berpasir | | 25 | | | | | |
| 24.5 | 13 | Lanau berpasir | 18.00 | 25 | 10.83 | 3.6 | 127.23 | 49.79 | 177.03 |
| 25.5 | | Lanau berpasir | | 25 | | | | | |
| 26.5 | 36 | Lanau berpasir | 20.67 | 25 | 12.77 | 4.3 | 146.08 | 54.21 | 200.29 |

6.3.5.4 Daya dukung aksial berdasarkan kekuatan bahan

Dari Spesifikasi PT.Gemilan Beton Precast direncanakan tiang pancang beton dengan :

- Diameter : 60 cm
- Tebal : 10 cm
- Luas : 1571 cm²
- Panjang : 6-18 m
- Tipe : C
- *Allowable axial* : 266,43 ton
- *Bending moment crack* : 16,15 t-m
- *Bending moment ultimate* : 24,11 t-m

Tabel 6.35 Spesifikasi tiang pancang PT. Gemilan Beton Precast

| DIAMETER (mm) | TYPE | LENGTH (m) | THICKNESS (mm) | AREA (cm ²) | WEIGHT (ton/m ¹) | MOMENT CRACK (ton.m) | MOMMENT ULTIMATE (ton.m) | AXIAL (ton) |
|---------------|------|------------|----------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------|
| 350 | A | 6-14 | 65 | 582 | 0.151 | 3.49 | 5.63 | 107.46 |
| | B | | | | | 4.96 | 11.25 | 100.93 |
| | C | | | | | 5.59 | 14.07 | 98.14 |
| 400 | A | 6-18 | 75 | 766 | 0.199 | 5.11 | 8.04 | 141.86 |
| | B | | | | | 6.01 | 11.25 | 138.37 |
| 450 | A | 6-18 | 80 | 923 | 0.242 | 7.29 | 11.62 | 171.62 |
| | B | | | | | 10.38 | 23.25 | 161.16 |
| 500 | A | 6-18 | 90 | 1159 | 0.301 | 9.47 | 14.07 | 215.78 |
| | B | | | | | 12.81 | 26.12 | 205.52 |
| | C | | | | | 15.82 | 38.74 | 196.30 |
| 600 | A | 6-18 | 100 | 1571 | 0.408 | 16.15 | 24.11 | 291.44 |
| | B | | | | | 22.40 | 46.49 | 275.86 |
| | C | | | | | 26.14 | 61.99 | 266.53 |
| 800 | A | 15-36 | 120 | 2564 | 0.667 | 75.13 | 141.11 | 372.22 |
| 1000 | A | 15-36 | 140 | 3781 | 0.907 | 136.17 | 261.20 | 674.56 |

Diperoleh daya dukung aksial berdasarkan bahan dari spesifikasi tiang pancang diatas yaitu sebesar 266,53 ton.

Diantara daya dukung berdasarkan uji SPT dan daya dukung berdasarkan bahan dipakai nilai daya dukung yang terkecil yaitu berdasarkan tanah sebesar 200,29 ton.

6.3.5.5 Efisiensi *Group Pile*

Ketika sebuah tiang merupakan bagian dari 1 kelompok (group), daya dukungnya mengalami modifikasi karena pengaruh dari tiang kelompok tersebut.

Perhitungan efisiensi dengan formula *Los Angeles* :

$$E_g = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} [m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)\sqrt{2}] = 0,7455$$

Dimana :

| | | |
|---|-----------------------------|---------|
| D | = diameter tiang pancang | = 0,6 m |
| s | = jarak antar tiang pancang | = 1,8 m |
| m | = jumlah 1 baris | = 5 |
| n | = jumlah baris | = 4 |

Maka :

$$\begin{aligned} Q_L \text{ 1 tiang dalam kelompok} &= P_{ijin} \text{ 1 tiang} \times E_g \\ &= 266,53 \times 0,7455 \\ &= 198,698 \text{ ton} \end{aligned}$$

- **Kontrol terhadap gaya aksial**

$$P_{max} = 148,2 \text{ ton} < P_{ijin} = 198,691 \text{ ton} \rightarrow \text{OK}$$

- **Kontrol terhadap gaya lateral**

Menurut Broms tahanan lateral tiang (H) kategori tiang panjang, dapat dihitung dengan persamaan :

$$H = y_o * k_h * D / [2 * b * (e * \beta + 1)]$$

$$\text{dengan, } \beta = [k_h * D / (4 * E_c * I_c)]^{0,25}$$

Dimana :

- D = Diameter tiang pancang (0,6 m)
- L = panjang tiang pancang (26,5 m)
- k_h = modulus subgrade horisontal (kN/m^3)
- E_c = modulus elastis tiang (kN/m^2)
- I_c = momen inersia penampang (m^4)
- e = Jarak beban lateral terhadap muka tanah (m)
- y_o = defleksi tiang maksimum (m)
- β = koefisien defleksi tiang

dimana :

$$\begin{aligned} k_h &= 0,2 * E_o * D^{-3/4} * y^{-1/2} \\ &= 0,2 * (28 * 3) * 60^{-3/4} * 1^{-1/2} \\ &= 3,78 \text{ kg/cm}^3 \\ &= 37800 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$E_c = 3,64 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$I_c = 6,36 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\begin{aligned}\beta &= [kh * D / (4 * Ec * Ic)]^{0,25} \\ &= [37800 * 0,6 / (4 * 3,64 \times 10^7 * 6,36 \times 10^{-3})]^{0,25} \\ &= 0,39556\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta * L &= 0,39556 * 34,5 = 13,646 \text{ m} > 2,5 \\ &\text{(termasuk tiang panjang)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H &= y_o * kh * D / [2 * b * (e * \beta + 1)] \\ &= 0,006 * 37800 * 0,6 / [2 * 0,39556 * (0,2 * 0,395 + 1)] \\ &= 159,4004 \text{ kN}\end{aligned}$$

Gaya lateral pada tiang pancang

$$\begin{aligned}h_x &= H_x / n \\ &= 1604,03 / 20 \\ &= 80,2018 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_y &= H_y / n \\ &= 1666,33 / 20 \\ &= 83,3166 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_{\max} &= \sqrt{h_x^2 + h_y^2} \\ &= \sqrt{80,2018^2 + 83,3166^2} \\ &= 1115,646 \text{ kN} < H \rightarrow \mathbf{OK}\end{aligned}$$

Kekuatan geser tiang pancang :

$$\begin{aligned}V_c &= 0,6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times D^2 \\ &= 0,6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{50} \times 600^2 \\ &= 254558,44 \text{ N} \\ &= 254,558 \text{ kN} > H \rightarrow \mathbf{OK}\end{aligned}$$

6.3.6 Perencanaan *Pile Cap* / *Poer*

Pile cap didesain untuk meneruskan beban yang diterima kolom/pilar ke grup tiang pondasi dan juga *pile cap* berfungsi untuk menyatukan gaya dari grup pondasi. Maka dari itu *pile cap* didesain harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

Data perencanaan *Pile Cap* / *Poer* :

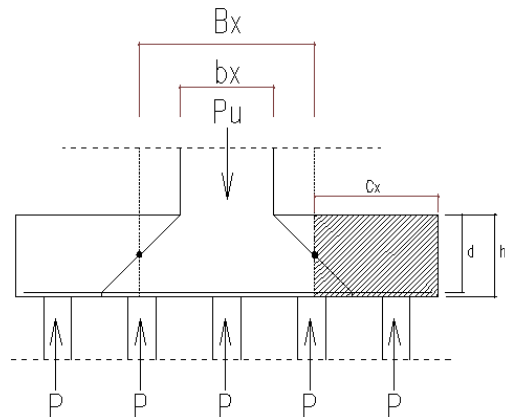
| | |
|-----------------------------|--------------------|
| P_{\max} (1tiang) | = 1482,21 kN |
| Σ tiang dalam 1 grup | = 20 buah |
| Dimensi <i>Pile Cap</i> | = 9 x 7,2 x 1,75 m |
| Mutu Beton | = 35 MPa |
| Mutu Baja | = 400 MPa |
| Tulangan Utama | = 29 |
| Decking | = 100 mm |

Tinggi efektif (d')

$$d_x = 1500 - 100 - 29 \times 1/2 = 1635,5 \text{ mm}$$

$$d_y = 1500 - 100 - 29 - 29 \times 1/2 = 1606,5 \text{ mm}$$

6.3.6.1 Perhitungan gaya geser arah X



Gambar 6.9 bidang geser arah X

- Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton
 $d' = 0,100 \text{ m}$
- Tebal efektif pilecap
 $d = h - d' = 1,75 - 0,1 = 1,74 \text{ m}$
- Jarak bidang kritis terhadap sisi luar

$$C_x = (L_x - b_x - d) / 2$$

$$= (9 - 2 - 1,74) / 2$$

$$= 2,675 \text{ m}$$
- Berat beton

$$W = C_x * L_y * h * B_j$$

$$= 0,925 * 7,2 * 1,75 * 24$$

$$= 808,92 \text{ KN}$$
- Gaya geser arah X

$$V_{ux} = 4 * P_{max} - W$$

$$= 4 * 1482,21 - 808,92$$

$$= 5119,92 \text{ kN}$$
- Lebar bidang geser untuk arah X
 $b = L_y = 7200 \text{ mm}$
- Tebal efektif pilecap
 $d = 1650 \text{ mm}$
- Rasio sisi panjang terhadap sisi pendek kolom
 $\beta_c = b_x / b_y = 2 / 7,2 = 0,27778$
- Kuat geser pilecap arah X

$$V_c = [1 + 2 / \beta_c] * \sqrt{f_c'} * b * d / 6 * 10^3$$

$$= [1 + 2 / 0,27778] * \sqrt{35} * 7200 * 1650 / 6 * 10^3$$

$$= 96053,5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}V_c &= 1 / 3 * \sqrt{f_c' * b * d} * 10^3 \\ &= 1 / 3 * \sqrt{35 * 7200 * 1650} / 6 * 10^3 \\ &= 23427,7 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Kuat geser

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi * V_c \\ &= 0,75 * 23427,7 \\ &= 17570,756 \text{ kN} > V_{ux} = 5119,92 \text{ kN (OK)}\end{aligned}$$

6.3.6.2 Penulangan *Pile Cap*

Untuk penulangan lentur, *pile cap* dianalisa menerima beban dari kolom dan menerima reaksi dari pondasi dibawah dan juga menerima beban *pile cap* sendiri.

Penulangan arah x

Gaya Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} P \text{ max} &= 1482,21 \text{ kN} \\ Q &= 378 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Momen yang bekerja :

$$M = 11370,746 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen ultimate (Mu)} &= 11370,746 \text{ kNm} \\ \text{Mutu Beton (fc')} &= 35 \text{ MPa} \\ \text{Mutu Baja (fy)} &= 400 \text{ MPa} \\ \text{tinggi efektif (dx')} &= 1,635 \text{ m} \\ E_s &= 200000 \text{ MPa} \\ \beta_1 &= 0,8000 \end{aligned}$$

$$\rho_b = 0,85 \left(0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,0268 \\ \phi \text{ lentur} &= 0,8 \\ d &= 1635 \text{ mm} \\ \text{Lebar} &= 9000 \text{ mm} \\ \text{Momen nominal rencana} \\ M_n = M_u / \phi &= 14213,455 \text{ kNm} \\ \text{Faktor tahanan momen (Rn)} &= 0,59041 \\ m &= 9,7142 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \rho \text{ perlu} &= 0,00149 \\ \rho \text{ min} &= 0,00350 \end{aligned}$$

$$\text{Luas Tulangan As} = 51518,25 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D29 – 100

Penulangan arah y

Gaya Momen yang terjadi :

$$\begin{aligned} P \text{ max} &= 1482,21 \text{ kN} \\ q &= 378 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Momen yang bekerja :

$$M = 22217,957 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen ultimate (Mu)} = 22217,957 \text{ kNm}$$

$$\text{Mutu Beton (f'c')} = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Baja (fy)} = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Tinggi efektif (dx')} = 1,606 \text{ m}$$

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

$$\beta_1 = 0,8000$$

$$\rho_b = 0,85 \left(0,85 \frac{f'c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

$$\rho_b = 0,02500$$

$$\phi \text{ lentur} = 0,8$$

$$d = 1606 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar} = 7200 \text{ mm}$$

Momen nominal rencana

$$M_n = Mu/\phi = 27772,446 \text{ kNm}$$

$$\text{Faktor tahanan momen (Rn)} = 1,4945$$

$$m = 9,714$$

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

$$\rho \text{ perlu} = 0,00381$$

$$\rho \text{ min} = 0,00350$$

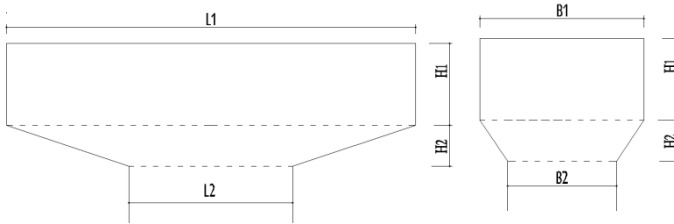
$$\text{Luas Tulangan As} = 40483,8 \text{ mm}^2$$

Digunakan D29-100

6.4 Perencanaan Pilar Jembatan

6.4.1 Perencanaan *Pier Head*

Untuk perencanaan *pier head*, dimensi dapat dilihat di gambar 5.4 dibawah ini :



Gambar 6.10 Gambar *Pier Head* Jembatan

Data perencanaan :

| | |
|----|----------|
| B1 | = 3 m |
| B2 | = 2 m |
| H1 | = 1,75m |
| H2 | = 0,75 m |
| L1 | = 7 m |
| L2 | = 3 m |

| | |
|-----------------------|----------------|
| Berat sendiri | = 368,625 kN/m |
| (BTR ₅₂) | = 134 kN/m |
| (BTR ₁₀₄) | = 109,58 kN/m |
| Beban Hidup Garis | = 614,5 kN |
| Beban Angin | = 4,515 kN/m |
| Beban mati tambahan | = 35,11 kN/m |

Dari beban bangunan atas akan dijadikan beban yang diterima pierhead kemudian dikombinasikan menjadi 5 kombinasi pembebanan untuk mendapatkan nilai momen maupun geser yang maksimal dengan bantuan SAP 2000 sehingga didapatkan desain tulangan pada *pier head*. Dan ini merupakan kombinasi pembebanan *pier head*

Kombinasi 1 = 1,2 D + 1,6 (L + R)

Kombinasi 2 = 1,2 D + L + G X

Kombinasi 3 = 1,2 D + L + G Y

Kombinasi 4 = 0,9 D + G X

Kombinasi 5 = 0,9 D + G Y

Dari SAP 2000 dipeoleh hasil :

Tabel 6.24 Tabel hasil Kombinasi Pembebanan pada *Pier Head*

| Kombinasi | | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-----------|-----|-----------|------------|-----------|----------|------------|
| | | kN | kN | kN | kNm | kNm |
| 1 | max | 0.000 | 30083.794 | 2171.693 | 6255.220 | 13280.732 |
| | min | -5235.786 | -30083.794 | -2171.693 | -96.983 | -73625.740 |
| 2 | max | 0.480 | 26848.713 | 2127.960 | 6132.418 | 12136.446 |
| | min | -4850.311 | -26848.713 | -2127.960 | -92.529 | -65730.616 |
| 3 | max | 1.920 | 26969.855 | 2076.124 | 5991.825 | 13176.322 |
| | min | -5383.273 | -26969.855 | -2076.124 | -93.215 | -67223.280 |
| 4 | max | 0.480 | 15806.818 | 1301.58 | 3751.876 | 7295.274 |
| | min | -2967.432 | -15806.818 | -1301.580 | -55.908 | -38546.400 |
| 5 | max | 1.920 | 15927.96 | 1249.743 | 3611.283 | 8335.150 |
| | min | -3500.395 | -15927.960 | -1249.743 | -56.594 | -40039.064 |

6.4.1.1 Tulangan Lentur *Pier Head*

Data perencanaan :

| | | | |
|--------------------------------|---|-----------|-----|
| Momen ultimate (M_u) | = | 73625,74 | kNm |
| Mutu Beton (f_c') | = | 35 | MPa |
| Mutu Baja (f_y) | = | 400 | MPa |
| Tinggi Balok Pier | = | 2,5 | m |
| Decking (d') | = | 0,05 | m |
| Es | = | 200000 | MPa |
| β_1 | = | 0,8000 | |
| ρ_b | = | 0,02500 | |
| ϕ lentur | = | 0,8 | |
| $d = h - d'$ | = | 2450 | mm |
| Lebar balok pier (b) | = | 3000 | Mm |
| Momen nominal rencana | | | |
| $M_n = M_u / \phi$ | = | 92032,175 | kNm |
| Faktor tahanan momen (R_n) | = | 5,111 | |
| M | = | 9,71428 | |

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

| | | |
|---------------------------|---|---------|
| ρ perlu | = | 0,01369 |
| ρ min | = | 0,00350 |
| Maka dipakai ρ perlu | | |

| | | | |
|---------------------------|---|------------|-----------------|
| Luas Tulangan As | = | 100598,01 | mm ² |
| dipakai tulangan diameter | | 32 | |
| Jumlah tulangan | = | 125,083369 | |

Maka dipakai tulangan 126 D 32

Untuk menjamin daktilitas struktur, maka diambil tulangan bawah pierhead sebesar 50%

| | | |
|-----------------------------------|---|----------|
| rasio tulangan 0,5 x ρ pakai | = | 0,00698 |
| Luas Tulangan As' | = | 50299,01 |
| dipakai tulangan diameter | | 32 |

Jumlah tulangan = 62,54168

Maka dipakai tulangan 63 D 32

6.4.1.2 Tulangan Geser *Pier Head*

Data Perencanaan :

Gaya geser ultimate (V_u) = 30083,794 kN

ϕ geser = 0,85

gaya geser beton (V_c) = 2673,169

ϕV_c = 2272,1937 kN

$V_u > \phi V_c$

43951,910 > 2272,194 = Perlu tulangan geser

$\phi V_s = V_u - \phi V_c$ = 27811,60022 kN

V_s = 32719,52967 kN

dipakai tulangan diameter 19 mm

Kaki = 9

A_v = 2551,76

= 25,069

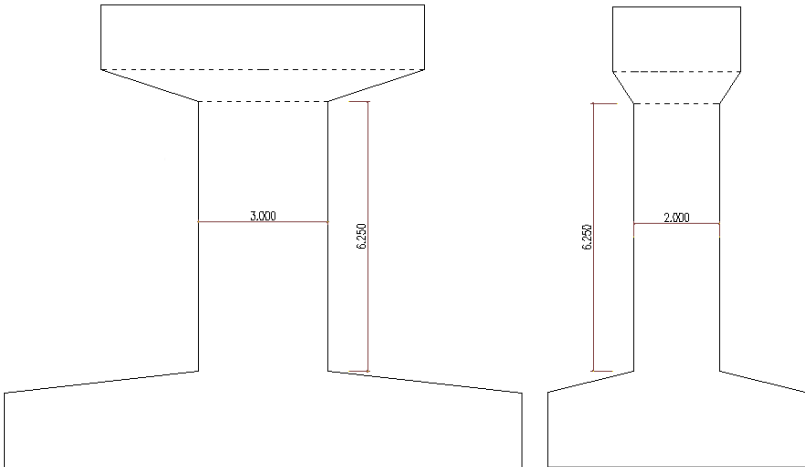
S = 101,7860433

maka dipakai tul.

Sengkang 9 D 19-100

6.4.2 Perencanaan Kolom Jembatan

Untuk perencanaan Pilar, dimensi dapat dilihat di gambar 5.5 dibawah ini :



Gambar 6.11 Gambar Pilar Jembatan

Data perencanaan :

| | |
|---------------------------------------|----------------|
| B | = 2 m |
| H | = 3 m |
| Berat sendiri (BTR ₅₂) | = 368,625 kN/m |
| (BTR ₁₀₄) | = 134 kN/m |
| Beban Hidup Garis | = 109,58 kN/m |
| Beban Angin | = 614,5 kN |
| Beban mati tambahan | = 4,515 kN/m |
| | = 35,11 kN/m |

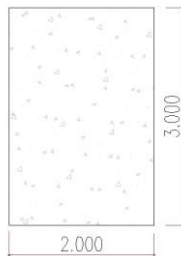
Dari beban bangunan diatas kolom/pilar akan dijadikan beban yang diterima kolom kemudian dikombinasikan menjadi 5 kombinasi pembebanan untuk mendapatkan nilai momen maupun geser yang maksimal

dengan bantuan SAP 2000 sehingga didapatkan desain tulangan pada kolom dengan bantuan PCAColumn.

Hasil dari SAP 2000 diperoleh :

Tabel 6.25 Tabel hasil Kombinasi Pembebanan pada Kolom

| Kombinasi | | P | V2 | V3 | M2 | M3 |
|-------------|-----|------------|-----------|-----------|------------|------------|
| | | kN | kN | kN | kNm | kNm |
| Kombinasi 1 | max | -60422.069 | 0.000 | -4343.386 | -13030.16 | 0.000 |
| | min | -61694.478 | 0.000 | -4343.386 | -45605.56 | 0.000 |
| Kombinasi 2 | max | -52843.517 | 368.464 | -3215.950 | -9874.90 | 4423.042 |
| | min | -55189.242 | -368.464 | -4336.994 | -45311.31 | -4423.042 |
| Kombinasi 3 | max | -53246.011 | 1473.857 | -3636.342 | -10965.79 | 17692.169 |
| | min | -54786.748 | -1473.857 | -3916.603 | -41067.54 | -17692.170 |
| Kombinasi 4 | max | -30696.106 | 368.464 | -1563.189 | -4916.6169 | 4423.042 |
| | min | -32723.729 | -368.464 | -2684.233 | -27957.315 | -4423.042 |
| Kombinasi 5 | max | -31098.599 | 1473.857 | -1983.581 | -6007.5043 | 17692.170 |
| | min | -32321.235 | -1473.857 | -2263.842 | -23713.554 | -17692.170 |

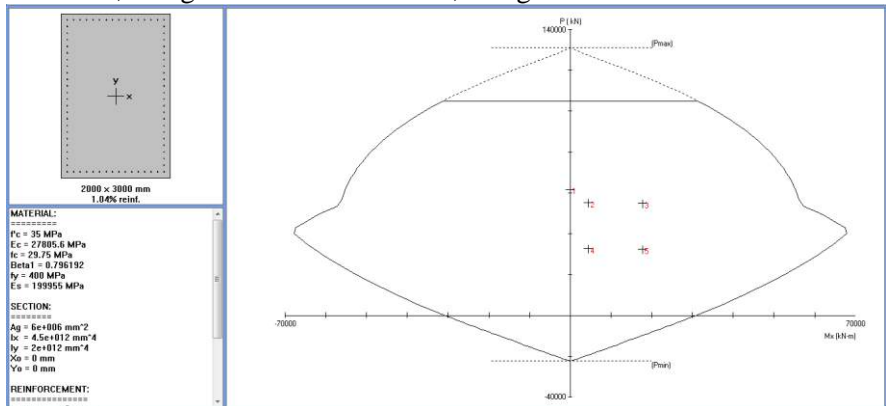


Gambar 6.12 Gambar dimensi Pilar Jembatan

Dimensi kolom yang digunakan $b = 2$ m dan $h = 3$ m

6.4.2.1 Penulangan Utama Kolom/Pilar

Sesuai dengan SNI luas dari tulangan tidak kurang dari 0,01 A_g dan tidak lebih dari 0,08 A_g



Gambar 6.13 Gambar diagram interaksi M dan P Kolom Pilar jembatan dari PCAColumn

Pada program PCAColumn direncanakan tulangan dengan rasio 1,038% , dan ini masuk dalam syarat rasio tulangan kolom yaitu 1% - 8% dari luas kotor (A_g) kolom, dan didapatkan tulangan **76 D 32** dengan $A_s = 62270,8 \text{ mm}^2$

6.4.2.2 Tulangan Geser Kolom

| | | | |
|--------------|---|----------|-----------------|
| P_u | = | 61694,48 | kN |
| M_u | = | 17692,17 | kNm |
| V_u | = | 1473,86 | kN |
| f_c' | = | 35 | Mpa |
| F_y | = | 400 | Mpa |
| Luas | | | |
| (A_s) | = | 62270,8 | mm ² |
| Decking | = | 100 | m |
| ϕ geser | = | 0,85 | |

$$V_c \text{ max} = 0,2 f_c' \times l \times d = 7000000 > V_u$$

$$\phi V_c = 5950000$$

Kontrol Kapasitas geser

$$V_c = V_{uc} + (0,6\sqrt{f_c'} 1 d)$$

$$V_c = 3551122 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,85 \times V_c$$

$$\phi V_c = 3018453 \text{ kN}$$

Karena $\phi V_c > V_u$, Maka dipakai tulangan geser minimum, digunakan diameter tulangan geser D13 dengan jarak tidak boleh dari : (SNI 2847 2013 pasal 21.3.5.2)

$$S_o = 200 \text{ mm}$$

$$S_o = 450 \text{ mm}$$

Maka dipasang tulangan geser **D13 – 200 dan D13 – 450**

6.4.3 Perencanaan Pondasi Pilar

Pondasi merupakan elemen struktur bangunan yang paling bawah yang berfungsi untuk meneruskan beban di atasnya ke tanah. Perencanaan pondasi juga sangat penting dan vital karena sebagai struktur terbawah yang harus kuat menopang dan diharapkan tidak terjadi penurunan pondasi karena dapat membahayakan perencanaan struktur atas khususnya struktur prategang dari box girder sendiri. Perencanaan pondasi untuk jembatan marmoyo ini menggunakan pondasi Tiang Pancang

Data perencanaan pondasi jembatan kalimas sebagai berikut :
 Data tanah = STA 41+400 Proyek tol Surabaya-Mojokerto
 Diameter = 60 cm

Perencanaan pembebanan pondasi digunakan bantuan software SAP 2000. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan dimensi optimum pada pondasi. Berikut adalah beban maksimum yang bekerja pada pondasi :

Tabel 6.26 Tabel Hasil Kombinasi Pembebanan Pondasi

| Beban | Simbol | Hx | Hy | P | Momen x | Momen y |
|-------------|--------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Mati | D | 0.00 | 0.00 | 35763.412 | 0.00 | 0.00 |
| Lalu Lintas | L | 0.00 | 0.00 | 11736.49 | 0.00 | 0.00 |
| Rem | R | 250.00 | 0.00 | 0.00 | 3950.00 | 0.00 |
| Gempa X | Gx | 3670.617 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 21867.162 |
| Gempa Y | Gy | 0.00 | 3181.845 | 0.00 | 6054.7263 | 0.00 |

Setelah diadapat nilai gaya masing-masing beban, menentukan kombinasi pembebanan seperti berikut :

- Kombinasi 1 = D
- Kombinasi 2 = D + L
- Kombinasi 3 = D + L + R
- Kombinasi 4 = D + L + Gx
- Kombinasi 5 = D + L + Gy

Berikut ini merupakan tabel hasil pembebanan pada kolom/pilar dari masing-masing kombinasi

Kombinasi 1

Tabel 6.27 Tabel hasil Kombinasi 1 Pembebanan Pondasi

| Beban | Simbol | Hx | Hy | P | Momen x | Momen y |
|--------|--------|----|----|-----------|---------|---------|
| Mati | D | 0 | 0 | 35763.412 | 0 | 0 |
| Jumlah | | 0 | 0 | 35763.412 | 0 | 0 |

Kombinasi 2

Tabel 6.28 Tabel hasil Kombinasi 2 Pembebanan Pondasi

| Beban | Simbol | Hx | Hy | P | Momen x | Momen y |
|-------------|--------|----|----|-----------|---------|---------|
| Mati | D | 0 | 0 | 35763.41 | 0 | 0 |
| Lalu Lintas | L | 0 | 0 | 11736.49 | 0 | 0 |
| Jumlah | | 0 | 0 | 47499.902 | 0 | 0 |

Kombinasi 3

Tabel 6.29 Tabel hasil Kombinasi 3 Pembebanan Pondasi

| Beban | Simbol | Hx | Hy | P | Momen x | Momen y |
|-------------|--------|-----|----|-----------|---------|---------|
| Mati | D | 0 | 0 | 35763.41 | 0 | 0 |
| Lalu Lintas | L | 0 | 0 | 11736.49 | 0 | 0 |
| Rem | R | 250 | 0 | 0.00 | 3950 | 0 |
| Jumlah | | 250 | 0 | 47499.902 | 3950 | 0 |

Kombinasi 4

Tabel 6.30 Tabel hasil Kombinasi 4 Pembebanan Pondasi

| Beban | Simbol | Hx | Hy | P | Momen x | Momen y |
|-------------|--------|----------|----|-----------|---------|-----------|
| Mati | D | 0 | 0 | 35763.41 | 0 | 0 |
| Lalu Lintas | L | 0 | 0 | 11736.49 | 0 | 0 |
| Gempa X | Gx | 3670.617 | 0 | 0.00 | 0 | 21867.162 |
| Jumlah | | 3670.617 | 0 | 47499.902 | 0 | 21867.162 |

Kombinasi 5

Tabel 6.31 Tabel hasil Kombinasi 5 Pembebanan Pondasi

| Beban | Simbol | Hx | Hy | P | Momen x | Momen y |
|-------------|--------|----|----------|-----------|----------|---------|
| Mati | D | 0 | 0 | 35763.41 | 0 | 0 |
| Lalu Lintas | L | 0 | 0 | 11736.49 | 0 | 0 |
| Gempa Y | Gy | 0 | 3181.845 | 0 | 6054.726 | 0 |
| Jumlah | | 0 | 3182 | 47499.902 | 6054.726 | 0 |

Dari pembebanan kombinasi diperoleh gaya maksimal sebagai berikut :

$$P_u \text{ max} = 47499,9 \text{ kN}$$

$$M_x \text{ max} = 6054,73 \text{ kNm}$$

$$M_y \text{ max} = 21867,16 \text{ kNm}$$

$$H_x \text{ max} = 3670,62 \text{ kN}$$

$$H_y \text{ max} = 3181,85 \text{ kN}$$

6.4.3.1 Konfigurasi Pondasi

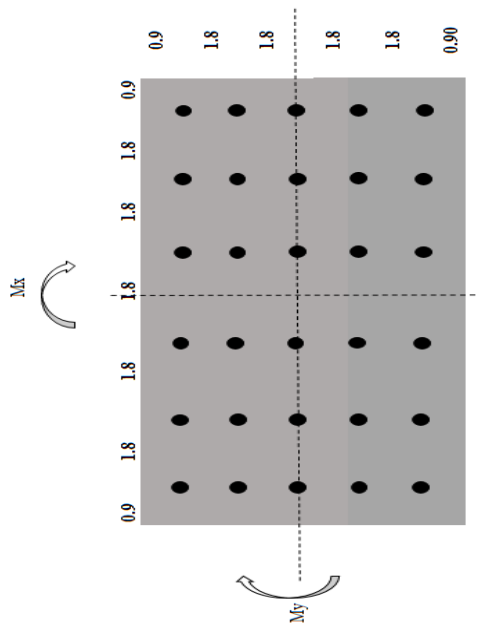
Direncanakan jumlah tiang pancang 30 buah (6 x 5)
Syarat jarak minimal (s) antar tiang adalah sebagai berikut:

$$2,5D \leq s \leq 4D$$

$$1,5 \text{ m} \leq s \leq 2,4 \text{ m}$$

Direncanakan jarak antar tiang yaitu $3D = 3 \times 0,6 = 1,8 \text{ m}$

Setelah menentukan konfigurasi tiang kelompok, langkah selanjutnya adalah menghitung beban yang bekerja pada satu tiang dari beban pada masing-masing kombinasi.



Gambar 6.14 Gambar Sket konfigurasi tiang kelompok

6.4.3.2 Perhitungan beban vertikal ekivalen

Perhitungan beban vertikal ekivalen yang diakibatkan oleh beban vertikal, horizontal dan momen pada kepala tiang adalah sebagai berikut :

$$P_i = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{M_y x}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x y}{\Sigma y^2}$$

Dimana :

ΣP = beban vertikal

n = jumlah tiang

M_x = Momen arah x

M_y = Momen arah y

x = jarak pondasi ke sumbu pusat arah x

y = jarak pondasi ke sumbu pusat arah y

Tabel 6.33 Tabel konfigurasi tiang pancang

| Titik | x (m) | y (m) | x ² (m ²) | y ² (m ²) |
|-------|-------|-------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1 | -4.5 | -3.6 | 20.25 | 12.96 |
| 2 | -2.7 | -3.6 | 7.29 | 12.96 |
| 3 | -0.9 | -3.6 | 0.81 | 12.96 |
| 4 | -0.9 | 3.6 | 0.81 | 12.96 |
| 5 | -2.7 | 3.6 | 7.29 | 12.96 |
| 6 | -4.5 | 3.6 | 20.25 | 12.96 |
| 7 | -4.5 | 1.8 | 20.25 | 3.24 |
| 8 | -2.7 | 1.8 | 7.29 | 3.24 |
| 9 | -0.9 | 1.8 | 0.81 | 3.24 |
| 10 | -0.9 | -1.8 | 0.81 | 3.24 |
| 11 | -2.7 | -1.8 | 7.29 | 3.24 |
| 12 | -4.5 | -1.8 | 20.25 | 3.24 |
| 13 | -4.5 | 0 | 20.25 | 0 |
| 14 | -2.7 | 0 | 7.29 | 0 |
| 15 | -0.9 | 0 | 0.81 | 0 |
| 16 | 0.9 | 0 | 0.81 | 0 |
| 17 | 2.7 | 0 | 7.29 | 0 |
| 18 | 4.5 | 0 | 20.25 | 0 |
| 19 | 4.5 | 1.8 | 20.25 | 3.24 |
| 20 | 2.7 | 1.8 | 7.29 | 3.24 |
| 21 | 0.9 | 1.8 | 0.81 | 3.24 |
| 22 | 0.9 | -1.8 | 0.81 | 3.24 |
| 23 | 2.7 | -1.8 | 7.29 | 3.24 |
| 24 | 4.5 | -1.8 | 20.25 | 3.24 |
| 25 | 4.5 | -3.6 | 20.25 | 12.96 |
| 26 | 2.7 | -3.6 | 7.29 | 12.96 |
| 27 | 0.9 | -3.6 | 0.81 | 12.96 |
| 28 | 0.9 | 3.6 | 0.81 | 12.96 |
| 29 | 2.7 | 3.6 | 7.29 | 12.96 |
| 30 | 4.5 | 3.6 | 20.25 | 12.96 |
| | | | 283.5 | 194.4 |

Tabel 6.34 Reaksi pada tiang pancang

| Titik | $\frac{\sum P}{n} + \frac{M_o x}{\sum x^2} + \frac{M_o y}{\sum y^2}$ | $\frac{\sum P}{n} + \frac{M_o x}{\sum x^2} - \frac{M_o y}{\sum y^2}$ | $\frac{\sum P}{n} - \frac{M_o x}{\sum x^2} + \frac{M_o y}{\sum y^2}$ | $\frac{\sum P}{n} - \frac{M_o x}{\sum x^2} - \frac{M_o y}{\sum y^2}$ |
|-------|--|--|--|--|
| 1 | 1124.11 | 1818.30 | 1348.36 | 2042.55 |
| 2 | 1262.95 | 1679.46 | 1487.20 | 1903.71 |
| 3 | 1401.79 | 1540.63 | 1626.04 | 1764.87 |
| 4 | 1626.04 | 1764.87 | 1401.79 | 1540.63 |
| 5 | 1487.20 | 1903.71 | 1262.95 | 1679.46 |
| 6 | 1348.36 | 2042.55 | 1124.11 | 1818.30 |
| 7 | 1292.29 | 1986.49 | 1180.17 | 1874.37 |
| 8 | 1431.13 | 1847.65 | 1319.01 | 1735.53 |
| 9 | 1569.97 | 1708.81 | 1457.85 | 1596.69 |
| 10 | 1457.85 | 1596.69 | 1569.97 | 1708.81 |
| 11 | 1319.01 | 1735.53 | 1431.13 | 1847.65 |
| 12 | 1180.17 | 1874.37 | 1292.29 | 1986.49 |
| 13 | 1236.23 | 1930.43 | 1236.23 | 1930.43 |
| 14 | 1375.07 | 1791.59 | 1375.07 | 1791.59 |
| 15 | 1513.91 | 1652.75 | 1513.91 | 1652.75 |
| 16 | 1652.75 | 1513.91 | 1652.75 | 1513.91 |
| 17 | 1791.59 | 1375.07 | 1791.59 | 1375.07 |
| 18 | 1930.43 | 1236.23 | 1930.43 | 1236.23 |
| 19 | 1986.49 | 1292.29 | 1874.37 | 1180.17 |
| 20 | 1847.65 | 1431.13 | 1735.53 | 1319.01 |
| 21 | 1708.81 | 1569.97 | 1596.69 | 1457.85 |
| 22 | 1596.69 | 1457.85 | 1708.81 | 1569.97 |
| 23 | 1735.53 | 1319.01 | 1847.65 | 1431.13 |
| 24 | 1874.37 | 1180.17 | 1986.49 | 1292.29 |
| 25 | 1818.30 | 1124.11 | 2042.55 | 1348.36 |
| 26 | 1679.46 | 1262.95 | 1903.71 | 1487.20 |
| 27 | 1540.63 | 1401.79 | 1764.87 | 1626.04 |
| 28 | 1764.87 | 1626.04 | 1540.63 | 1401.79 |
| 29 | 1903.71 | 1487.20 | 1679.46 | 1262.95 |
| 30 | 2042.55 | 1348.36 | 1818.30 | 1124.11 |

Dari perhitungan diatas, maka diperoleh beban pada 1 tiang yang menentukan adalah :

$$P_{\max} = 2042,55 \text{ kN} = 204,255 \text{ ton}$$

$$P_{\min} = 1124,11 \text{ kN} = 112,411 \text{ ton}$$

6.4.3.3 Daya dukung aksial berdasarkan hasil uji SPT

Daya dukung ijin pondasi dihitung berdasarkan nilai data tanah yaitu hasil SPT atau *Standart Penetration Test*. Dalam tugas akhir ini pondasi tiang pancang direncanakan dengan diameter 0,6 m.

Perhitungan daya dukung tanah memakai metode Luciano Decourt :

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

Dimana :

Q_L = daya dukung tanah maksimum pada pondasi

Q_p = resistance ultimate didasar tiang

Q_s = resistance ultimate akibat lekatan lateral

$Q_p = q_p \times A_p = (N_p \times K) \times A_p$

$Q_s = q_s \times A_s = (N_s/3 + 1) A_s$

Dengan :

N_p = harga rata-rata SPT pada 4D pondasi dibawah dan diatasnya

K = koef. karakteristik tanah

= 12 t/m^2 , untuk tanah lempung

= 20 t/m^2 , untuk tanah lanau berlempung

= 25 t/m^2 , untuk tanah lanau berpasir

= 40 t/m^2 , untuk tanah pasir

A_p = luas penampang dasar tiang

N_s = rata-rata SPT sepanjang tiang tertanam, dengan batasan $3 \leq N \leq 50$

A_s = keliling x panjang tiang tertanam

Tabel 6.32 Tabel Analisa Data Tanah

| Kedalaman (m) | N SPT | Jenis Tanah | Np | K (t/m ²) | Ns | Ns/3 | Qp ton | Qs ton | Ql ton |
|------------------|----------|------------------|-------|-----------------------|-------|------|-----------|-----------|-----------|
| 0 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 1.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 2.5 | 4 | Lanau berlempung | 5.33 | 20 | 4.00 | 1.3 | 30.16 | 6.05 | 36.21 |
| 3.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 4.5 | 5 | Lanau berlempung | 5.75 | 20 | 4.50 | 1.5 | 32.52 | 9.98 | 42.50 |
| 5.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 6.5 | 7 | Lanau berlempung | 8.00 | 20 | 5.33 | 1.8 | 45.24 | 14.03 | 59.27 |
| 7.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 8.5 | 7 | Lanau berlempung | 9.00 | 20 | 5.75 | 1.9 | 50.89 | 17.94 | 68.83 |
| 9.5 | | Pasir | | 40 | | | | | |
| 10.5 | 17 | Pasir | 10.00 | 40 | 8.00 | 2.7 | 113.10 | 22.46 | 135.56 |
| 11.5 | | Pasir | | 40 | | | | | |
| 12.5 | 9 | Pasir | 11.80 | 40 | 8.17 | 2.7 | 133.45 | 26.28 | 159.74 |
| 13.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 14.5 | 10 | Lanau berlempung | 14.20 | 20 | 8.43 | 2.8 | 80.30 | 30.14 | 110.44 |
| 15.5 | | Pasir | | 40 | | | | | |
| 16.5 | 16 | Pasir | 12.80 | 40 | 9.38 | 3.1 | 144.76 | 34.23 | 178.99 |
| 17.5 | | Pasir | | 40 | | | | | |
| 18.5 | 19 | Pasir | 13.60 | 40 | 10.44 | 3.5 | 153.81 | 38.35 | 192.17 |
| 19.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 20.5 | 10 | Lanau berlempung | 14.20 | 20 | 10.40 | 3.5 | 80.30 | 42.11 | 122.41 |
| 21.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 22.5 | 13 | Lanau berlempung | 18.20 | 20 | 10.64 | 3.5 | 102.92 | 45.96 | 148.88 |
| 23.5 | | Lanau berpasir | | 25 | | | | | |
| 24.5 | 13 | Lanau berpasir | 19.00 | 25 | 10.83 | 3.6 | 134.30 | 49.79 | 184.10 |
| 25.5 | | Lanau berpasir | | 25 | | | | | |
| 26.5 | 36 | Lanau berpasir | 21.80 | 25 | 12.77 | 4.3 | 154.10 | 54.21 | 208.30 |
| 27.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 28.5 | 23 | Lanau berlempung | 24.00 | 20 | 13.50 | 4.5 | 135.72 | 58.22 | 193.94 |
| 29.5 | | Lanau berlempung | | 20 | | | | | |
| 30.5 | 24 | Lanau berlempung | 27.67 | 20 | 14.20 | 4.7 | 156.45 | 62.22 | 218.68 |

6.4.3.4 Daya dukung aksial berdasarkan kekuatan bahan

Dari Spesifikasi PT.Gemilan Beton Precast direncanakan tiang pancang beton dengan :

- Diameter : 60 cm
- Tebal : 10 cm
- Luas : 1571 cm²
- Panjang : 6-18 m
- Tipe : A
- *Allowable axial* : 291,44 ton
- *Bending moment crack* : 16,15 t-m
- *Bending moment ultimate* : 24,11 t-m

Tabel 6.35 Spesifikasi tiang pancang PT. Gemilan Beton Precast

| DIAMETER (mm) | TYPE | LENGTH (m) | THICKNESS (mm) | AREA (cm ²) | WEIGHT (ton/m ¹) | MOMENT CRACK (ton.m) | MOMMENT ULTIMATE (ton.m) | AXIAL (ton) |
|---------------|------|------------|----------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------|
| 350 | A | 6-14 | 65 | 582 | 0.151 | 3.49 | 5.63 | 107.46 |
| | B | | | | | 4.96 | 11.25 | 100.93 |
| | C | | | | | 5.59 | 14.07 | 98.14 |
| 400 | A | 6-18 | 75 | 766 | 0.199 | 5.11 | 8.04 | 141.86 |
| | B | | | | | 6.01 | 11.25 | 138.37 |
| 450 | A | 6-18 | 80 | 923 | 0.242 | 7.29 | 11.62 | 171.62 |
| | B | | | | | 10.38 | 23.25 | 161.16 |
| 500 | A | 6-18 | 90 | 1159 | 0.301 | 9.47 | 14.07 | 215.78 |
| | B | | | | | 12.81 | 26.12 | 205.52 |
| | C | | | | | 15.82 | 38.74 | 196.30 |
| 600 | A | 6-18 | 100 | 1571 | 0.408 | 16.15 | 24.11 | 291.44 |
| | B | | | | | 22.40 | 46.49 | 275.86 |
| | C | | | | | 26.14 | 61.99 | 266.53 |
| 800 | A | 15-36 | 120 | 2564 | 0.667 | 75.13 | 141.11 | 372.22 |
| 1000 | A | 15-36 | 140 | 3781 | 0.907 | 136.17 | 261.20 | 674.56 |

Diperoleh daya dukung aksial berdasarkan bahan dari spesifikasi tiang pancang diatas yaitu sebesar 291,44 ton.

Diantara daya dukung berdasarkan uji SPT dan daya dukung berdasarkan bahan dipakai nilai daya dukung yang terkecil yaitu berdasarkan bahan sebesar 218,65 ton.

6.4.3.5 Efisiensi

Perhitungan efisiensi dengan formula *Los Angeles* :

$$E_g = 1 - \frac{D}{\pi \cdot s \cdot m \cdot n} [m(n-1) + n(m-1) + (m-1)(n-1)\sqrt{2}] = 0,7266$$

Dimana :

| | | |
|---|-----------------------------|---------|
| D | = diameter tiang pancang | = 0,6 m |
| s | = jarak antar tiang pancang | = 1,8 m |
| m | = jumlah 1 baris | = 6 |
| n | = jumlah baris | = 5 |

Maka :

$$\begin{aligned} Q_L \text{ 1 tiang dalam kelompok} &= P \text{ ijin 1 tiang} \times E_g \\ &= 291,44 \times 0,7266 \\ &= 211,76 \text{ ton} \end{aligned}$$

- **Kontrol terhadap gaya aksial**

$$P_{\max} = 204,225 \text{ ton} < Q_{L1} \text{ tiang dalam kelompok} = 211,76 \text{ ton (OK)}$$

- **Kontrol terhadap gaya lateral**

Menurut Broms tahanan lateral tiang (H) kategori tiang panjang, dapat dihitung dengan persamaan :

$$H = y_o * k_h * D / [2 * b * (e * \beta + 1)]$$

$$\text{dengan, } \beta = [k_h * D / (4 * E_c * I_c)]^{0,25}$$

Dimana :

D = diameter tiang pancang (0,6 m)

L = panjang tiang pancang (34,5 m)

k_h = modulus subgrade horisontal (kN/m^3)

E_c = modulus elastis tiang (kN/m^2)

I_c = momen inersia penampang (m^4)

e = Jarak beban lateral terhadap muka tanah (m)

y_o = defleksi tiang maksimum (m)

β = koefisien defleksi tiang

dimana :

$$\begin{aligned} k_h &= 0,2 * E_o * D^{-3/4} * y^{-1/2} \\ &= 0,2 * (28 * 3) * 60^{-3/4} * 1^{-1/2} \\ &= 3,78 \text{ kg/cm}^3 \\ &= 37800 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$E_c = 3,64 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$I_c = 6,36 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$\begin{aligned} \beta &= [k_h * D / (4 * E_c * I_c)]^{0,25} \\ &= [37800 * 0,6 / (4 * 3,64 \times 10^7 * 6,36 \times 10^{-3})]^{0,25} \\ &= 0,39556 \end{aligned}$$

$$\beta * L = 0,39556 * 34,5 = 13,646 \text{ m} > 2,5$$

(termasuk tiang panjang)

$$\begin{aligned} H &= y_o * k_h * D / [2 * b * (e * \beta + 1)] \\ &= 0,006 * 37800 * 0,6 / [2 * 0,39556 * (0,2 * 0,395 + 1)] \\ &= 159,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya lateral pada tiang pancang

$$\begin{aligned} h_x &= H_x/n \\ &= 3670,62 / 30 \\ &= 122,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_y &= H_y/n \\ &= 3181,85 / 30 \\ &= 106,061 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\max} &= \sqrt{h_x^2 + h_y^2} \\ &= \sqrt{122,35^2 + 106,061^2} \\ &= 158,00762 \text{ kN} < H \rightarrow \mathbf{OK} \end{aligned}$$

Kekuatan geser tiang pancang :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times D^2 \\ &= 0,6 \times \frac{1}{6} \times \sqrt{50} \times 600^2 \\ &= 254558,44 \text{ N} \\ &= 254,558 \text{ kN} > H \rightarrow \mathbf{OK} \end{aligned}$$

6.4.4 Perencanaan *Pile Cap* / *Poer*

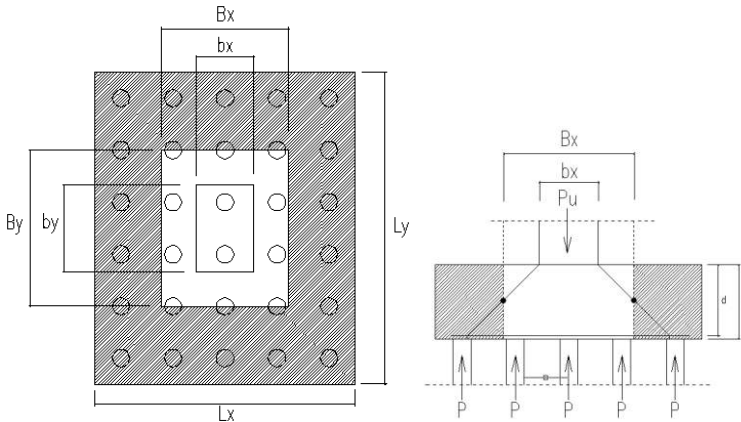
Pile cap didesain untuk meneruskan beban yang diterima kolom/pilar ke grup tiang pondasi dan juga *pile cap* berfungsi untuk menyatukan gaya dari grup pondasi. Maka dari itu *pile cap* didesain harus memiliki kekuatan yang cukup terhadap geser pons dan lentur.

Data perencanaan *Pile Cap* / *Poer* :

| | |
|-----------------------------|----------------------|
| P_{\max} (1tiang) | = 2042,25 kN |
| Σ tiang dalam 1 grup | = 30 buah |
| Dimensi Kolom | = 2 x 3 m |
| Dimensi <i>Pile Cap</i> | = 10,8 x 9 x 2,5 m |
| Mutu Beton | = 35 MPa |
| Mutu Baja | = 400 MPa |
| Tulangan Utama | = 32 |
| Decking | = 100 mm |
| Tinggi efektif (d') | |
| d' | = 2500-100 = 2400 mm |

6.4.4.1 Kontrol geser pons pada *pile cap*

Perencanaan *Pile Cap* harus memenuhi persyaratan kekuatan gaya geser nominal beton yang harus lebih besar dari geser pons yang terjadi. Hal ini sesuai yang diisyaratkan pada SNI 03-2847-2013 pasal 11.11.2.1.



6.15 Gambar gaya pons

- Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton
 $d' = 0,100 \text{ m}$
- Tebal efektif pilecap
 $d = h - d' = 2,5 - 0,1 = 2,4 \text{ m}$
- Lebar bidang geser pons arah x
 $Bx = bx + d = 2 + 2,4 = 4,4 \text{ m}$
- Lebar bidang geser pons arah y
 $By = by + d = 3 + 2,4 = 5,4 \text{ m}$
- $P_u = 47499,9 \text{ kN}$
- Luas bidang geser pons

$$\begin{aligned} A_p &= 2 * (Bx + By) * d \\ &= 2 * (4,4 + 5,4) * 2,4 \\ &= 47,040 \text{ m}^2 \end{aligned}$$
- Lebar bidang geser pons

$$\begin{aligned} b_p &= 2 * (Bx + By) \\ &= 2 * (4,4 + 5,4) \end{aligned}$$

$$= 19,6 \text{ m}$$

- Rasio sisi panjang thd. sisi pendek kolom

$$\beta_c = b_x / b_y = 2/3 = 0,667$$

- Tegangan geser pons

$$\begin{aligned} V_c &= [1 + 2 / \beta_c] * \sqrt{f_c'} / 6 \\ &= [1 + 2 / 0,667] * \sqrt{35} / 6 \\ &= 3,9441 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 1 / 3 * \sqrt{f_c'} \\ &= 1 / 3 * \sqrt{35} \\ &= 1,972 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

- Kuat geser pons

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi * A_p * V_c * 10^3 \\ &= 0,75 * 47,040 * 1,972 * 10^3 \\ &= 69573,098 \text{ kN} > P_u = 47499,9 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

Sehingga ketebalan dan ukuran pilecap memenuhi syarat terhadap geser pons.

6.4.4.2 Penulangan *Pile Cap*

Untuk penulangan lentur, *pile cap* dianalisa menerima beban dari kolom dan menerima reaksi dari pondasi dibawah dan juga menerima beban *pile cap* sendiri.

| | |
|-------------------------|------------------------|
| P max 1 tiang | = 2042,55 |
| Jumlah tiang dalam grup | = 30 buah |
| Dimensi kolom | = 2 m x 3 m |
| Dimensi pile cap | = 10,8 m x 9 m x 2,5 m |
| ϕ tulangan | = 29 mm |
| Decking | = 100 mm |

Penulangan arah x

Gaya Momen yang terjadi :

| | | | |
|-------|---|---------|------|
| P max | = | 2042,55 | kN |
| q | = | 540 | kN/m |

Momen yang bekerja :

| | | | |
|---|---|----------|-----|
| M | = | 60853,37 | kNm |
|---|---|----------|-----|

| | | | |
|---------------------------|---|----------|-----|
| Momen ultimate (M_u) | = | 60853,37 | kNm |
| Mutu Beton (f'_c) | = | 35 | MPa |
| Mutu Baja (f_y) | = | 400 | MPa |
| tinggi efektif (d_x') | = | 2,3855 | m |
| E_s | = | 200000 | MPa |
| β_1 | = | 0,8000 | |

$$\rho_b = 0,85 \left(0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

| | | | |
|--------------------------------|---|-----------|-----|
| ρ_b | = | 0,03035 | |
| ϕ lentur | = | 0,8 | |
| d | = | 2385,5 | mm |
| Lebar (b) | = | 9000 | mm |
| Momen nominal rencana | | | |
| $M_n = M_u / \phi$ | = | 76066,717 | kNm |
| Faktor tahanan momen (R_n) | = | 1,48522 | |

$$M = 9,7142$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho \text{ perlu} = 0,00378$$

$$\rho \text{ min} = 0,00350$$

Maka dipakai $\rho \text{ perlu}$

$$\text{Luas Tulangan As} = 81209,82 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D29 – 125

Penulangan arah y

Gaya Momen yang terjadi :

$$P_{\max} = 2042,55 \text{ kN}$$

$$q = 648 \text{ kN/m}$$

Momen yang bekerja :

$$M = 28387,339 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen ultimate (Mu)} = 28387,339 \text{ kNm}$$

$$\text{Mutu Beton (f'c)} = 35 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu Baja (fy)} = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Tinggi efektif (dx')} = 2,3565 \text{ m}$$

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

$$\beta_1 = 0,8000$$

$$\rho_b = 0,85 \left(0,85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \right)$$

$$\rho_b = 0,03035$$

$$\phi \text{ lentur} = 0,8$$

$$D = 2356,5 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar (b)} = 10800 \text{ mm}$$

Momen nominal rencana

$$M_n = M_u / \phi = 35484,173 \text{ kNm}$$

$$\text{Faktor tahanan momen (Rn)} = 0,59166$$

$$M = 9,71428$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = 0,00149$$

$$\rho_{min} = 0,00350$$

Maka dipakai **ρ_{min}**

$$\text{Luas Tulangan As} = 89075,70 \text{ mm}^2$$

Digunakan D29 -150

BAB VII

METODE PELAKSANAAN

7.1 Umum

Struktur jembatan Marmoyo Tol Sumo ini tersusun dari single box girder dengan lebar 12,5 meter. Sedangkan tinggi box girder bervariasi dengan ketinggian maksimum 5 meter di dekat pilar dan ketinggian minimum 2,5 meter di dekat abutment dan tengah bentang. Bentang total jembatan sepanjang 208 m dibagi menjadi 3 bentang yaitu 52 m + 104 m + 52 m, ditopang oleh dua pilar dan dua abutment. Pelaksanaan jembatan ini menggunakan metode *balance cantilever* dengan *traveler*

7.2 Prinsip Tahap konstruksi

Sistem pelaksanaan yang akan diterapkan pada jembatan ini menggunakan alat *traveler* dengan prinsip *kantilever* secara segmental. Dimana dengan sistem ini tiap segmen *box girder* akan dicor di tempat (*cast in situ*) sampai bentang jembatan keseluruhan. Pelaksanaan ini akan dimulai dari pilar yang berada ditengah secara bertahap, dengan memakai sistem *balance kantilever* (sistem keseimbangan). Pemasangan pilar di tengah dengan cara cor di tempat dengan bantuan perancah. Hal yang perlu diperhatikan adalah stabilitas struktur akibat diterapkan sistem ini. Karena dimensi pilar yang terbatas untuk bisa menahan momen lentur yang dihasilkan oleh konstruksi kantilever, maka pada sistem ini di bagian pilarnya (tumpuan) akan dipasang penyambung sementara (*temporary connection*) yang berupa prestressing rods yang distressing secara vertikal antara deck dengan pilar, dimana diantara deck dengan pilar diletakkan spacer blok untuk menahan tumbukan. Sedangkan sistem penarikan tendon (*jacking*) juga dilakukan sesuai dengan sistem

kantilever. Yaitu dengan melakukan stressing berturut-turut setiap segmennya.

Kemudian diikuti stressing untuk tendon menerus saat jembatan sudah menjadi struktur statis tak tentu.

7.3 Temporary Connection

Pada saat pelaksanaan stabilitas struktur sangat diperhatikan, dimana dalam metode pelaksanaan balance kantilever kondisi box girder harus benar-benar seimbang antara kedua sisinya.

Untuk mengantisipasi ketidakseimbangan pada struktur maka perlu diberikan penyambungan sementara (*temporary connection*) berupa tendon yang *distressing* secara vertikal dari flens bawah box girder ke bagian pilar. Ketika *temporary connection* dipasang maka tumpuan pada pilar menjadi jepit.

Temporary connection sendiri akan dilepas ketika struktur box girder sudah menjadi statis tak tentu, dalam hal ini dimaksudkan untuk mengembalikan dan menyesuaikan dengan analisa tumpuan jembatan sebelumnya sehingga ketika *distressing* tendon menerus perhitungan sesuai dengan yang direncanakan.

7.4.1 Tahap Pemasangan Temporary Connection

Dalam pembuatan pier head sekaligus ditanam tendon vertikal berupa angkur mati, dimana tendon ini berfungsi sebagai penstabilitas struktur pada saat pelaksanaan.

Pada saat pembuatan pier table dibuat manhole dengan ukuran 1 m x 1,5 m yang berada pada flens bagian atas, manhole sendiri adalah lubang akses masuk kedalam struktur box girder untuk menunjang pelaksanaan konstruksi dari dalam box girder. Ketika pembuatan pier table selesai maka tendon vertikal *distressing*.

Setelah pembuatan *closed* selesai dan struktur menjadi statis tak tentu tendon vertikal dilepas untuk mengembalikan fungsi tumpuan sebagai sendi.

7.4 Prinsip Tahap Stressing

Tahap stressing struktur prategang *box girder* dilakukan dalam 2 tahap utama, yaitu :

Tahap 1 : *stressing* tendon *temporary* atau tendon kantilefer.

Pada tahap ini, pemasangan tendon dilakukan setiap pengecoran segmen *box girder* selesai dilakukan. Pemasangan diawali dari pembuatan *pier table* dibagian pilar kemudian berjalan ke samping kiri dan kanannya secara konstan, bersamaan dan seimbang. Tendon ini disebut sebagai tendon kantilever.

Tahap 2 : *stressing continous* tendon atau tendon menerus.

Pada tahap ini, pemasangan tendon dilakukan setelah pelaksanaan pemasangan *box girder* per segmen setelah itu dilakukan pengecoran beton ditengah bentang difungsikan sebagai penyambung jembatan yang akan menjadikan jembatan tersebut balok menerus. Setelah itu dilakukan stressing tendon menerus.

7.5 Tahap Pelaksanaan *Stressing Temporary Tendon (Post Tension)*

1. Pengecoran Beton Prategang *Segmental*

Dengan cetakan (*formwork*) yang telah dibuat, kemudian dilakukan pembesian dan juga pemasangan saluran/*selongsong* kabel prategang (*tendon duct*) yang dipasang sesuai bidang momen balok, sesuai dengan ekesentrisitas dan juga koordinat tendon rencana , kemudian beton dicor. Semua tahap ini dilakukan dengan bantuan alat *traveler*.

2. Pemasangan dan *Stressing* Kabel Prategang

Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong (tendon *duct*), kemudian ditarik sesuai dengan gaya prategang (F) yang direncanakan. Metode pemberian gaya prategang ini yaitu dengan cara ditarik dikedua sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah itu diangkur, kemudian saluran di grouting melalui lubang yang telah disediakan

3. Proses *Jacking*

Setelah pemasangan dan *stressing* tendon kantilefer, kemudian dilakukan proses *jacking*. Setelah dilakukan *jacking* tendon kantilefer maka fungsi tendon sudah bekerja untuk menahan beban mati akibat beban sendiri.

7.6 Tahap Pelaksanaan *Stressing Continuity* Tendon (*Post Tension*)

Pada prinsipnya pelaksanaan *continuity* tendon dengan tendon kantilefer hampir sama. Yang membedakan keduanya merupakan fungsi waktu *stressing* dan *jacking* dikarenakan fungsi antara kedua tendon berbeda dalam bekerja menerima beban.

Pekerjaan tendon menerus atau *continuity* tendon dilakukan setelah pemasangan semua segmen *box girder* dilakukan secara menyeluruh. Tapi untuk pemasangan tendon duct tahap menerus itu sama dengan pemasangan tendon duct untuk tendon kantilefer. Setelah pemasangan segmen selesai dilakukan *stressing* sesuai dengan F rencana dan setelah itu dilakukan proses *jacking* tendon menerus maka fungsi tendon sudah bekerja untuk menahan beban layan dari jembatan tersebut.

LAMPIRAN

Bore No. : DB - 20 (41 + 200)
 Project : TOL SURABAYA - MOJOKERTO
 Location : SISI MOJOKERTO SEKSI 4
 Elevation : + 18,002
 Date : 24 - 26 April 2010
 GWL : - 0,80 m

Coordinates of GPS (UTM) X = 0660793
 Y = 9179705
 Diameter of Bore : 73 mm
 Diameter of Casing : 89 mm

BORE LOG

| DEPTH (m) | BORE LOG | Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm | DESCRIPTION | COLOUR | SPT Value Depth sample (Blow / 30 cm) | Grain Size Analysis (%) | | | | Physical Properties | | | | Mechanical Properties | | | | | | | |
|-----------|----------|---|-------------|--------|--|-------------------------|----------|----------|----------|---------------------|---------------------------------------|---------------------|------------|-----------------------|--|-------------------------|-------------------------|----|-------------------|---|---------------|
| | | | | | | Gravel (%) | Sand (%) | silt (%) | clay (%) | Water Content (%) | Dry Density (vd) (g/cm ³) | Specific Gravity Gs | Porosity n | Void Ratio e | Unconfined Test (qu) (kg/cm ²) | Atterberg Test | | | Direct Shear Test | | Consolidation |
| | | | | | | | | | | | | | LL % | PL % | IP % | c (kg/cm ²) | s (kg/cm ²) | Cc | Cv | σ ₁ ^u (kg/cm ²) | |
| | | 0 10 20 30 40 | | | 36,00 - 36,50 m | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 13 + 18 + 21 = 39 38,00 - 38,50 m | 0,42 | 89,76 | 9,62 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 13 + 19 + 23 = 42 40,00 - 40,50 m | 9,53 | 83,99 | 6,49 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| | | | Pasir | Hitam | 12 + 14 + 20 = 34 42,00 - 42,50 m | 0,24 | 98,77 | 0,99 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 11 + 16 + 20 = 36 44,00 - 44,50 m | 1,26 | 92,74 | 6,00 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 13 + 18 + 21 = 39 46,00 - 46,50 m | 4,48 | 92,10 | 3,42 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 12 + 17 + 22 = 39 48,00 - 48,50 m | 0,89 | 95,61 | 3,50 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 12 + 16 + 22 = 38 50,00 - 50,50 m | 1,53 | 95,90 | 2,58 | 0,00 | | | | | | | | | | | | |

Mengetahui :
 Kepala Seksi Administrasi Teknik Bintek
 Jalan dan Jembatan

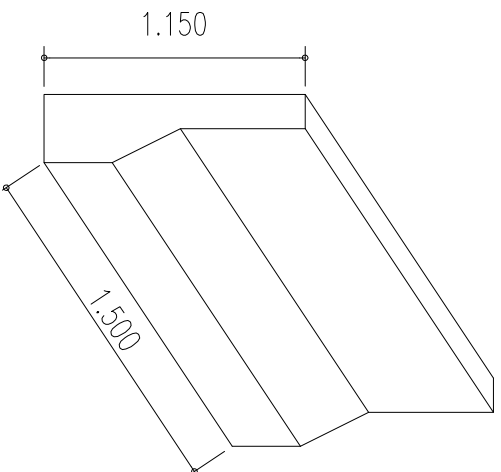


**DINAS PEKERJAAN UMUM
 BINA MARGA**
 IF. MOCH. DJUNAEDI, MT
 NIP. 110 041 543

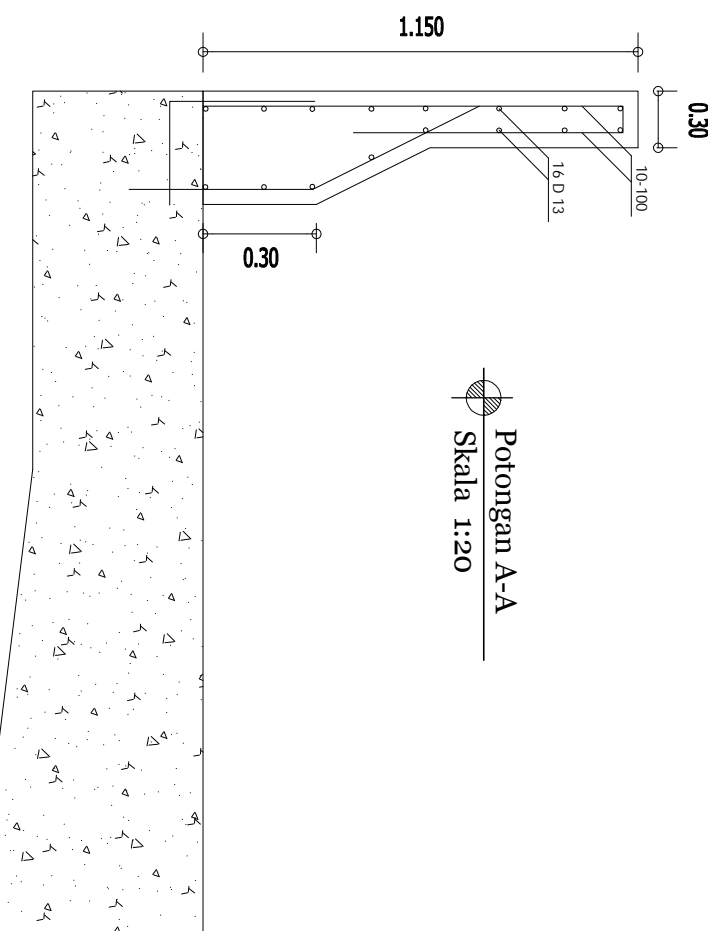
Manajer Teknis
 Laboratorium Jalan



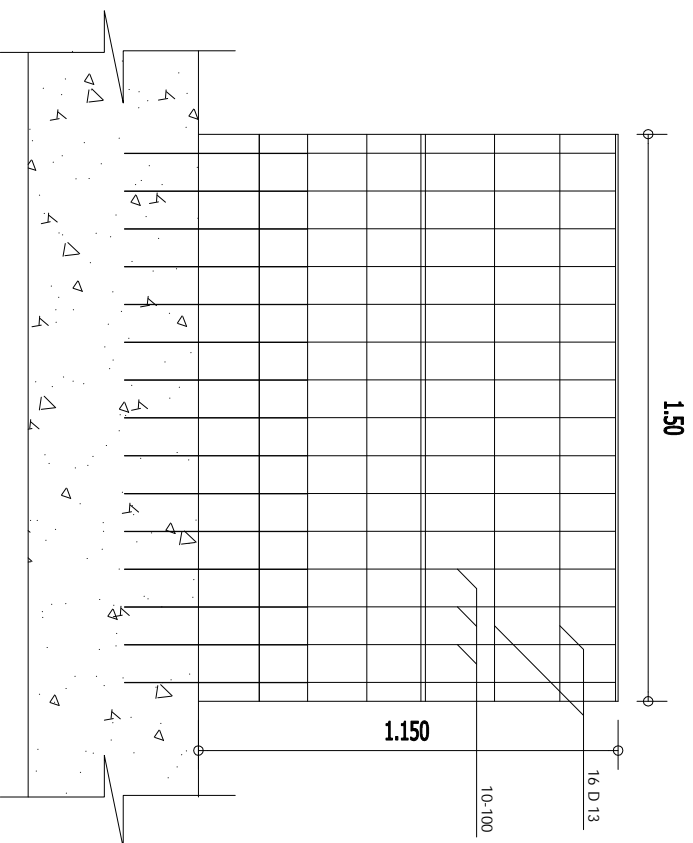
M. Nurhamyis, ST
 NIP. 510 121 813



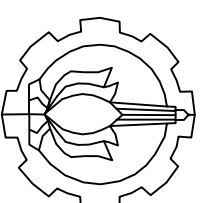
Isometri penampang parapet
Skala 1:30



Potongan A-A
Skala 1:20



Potongan B-B
Skala 1:20



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOVO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO), STA.
41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

PARAPHET JALAN

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA

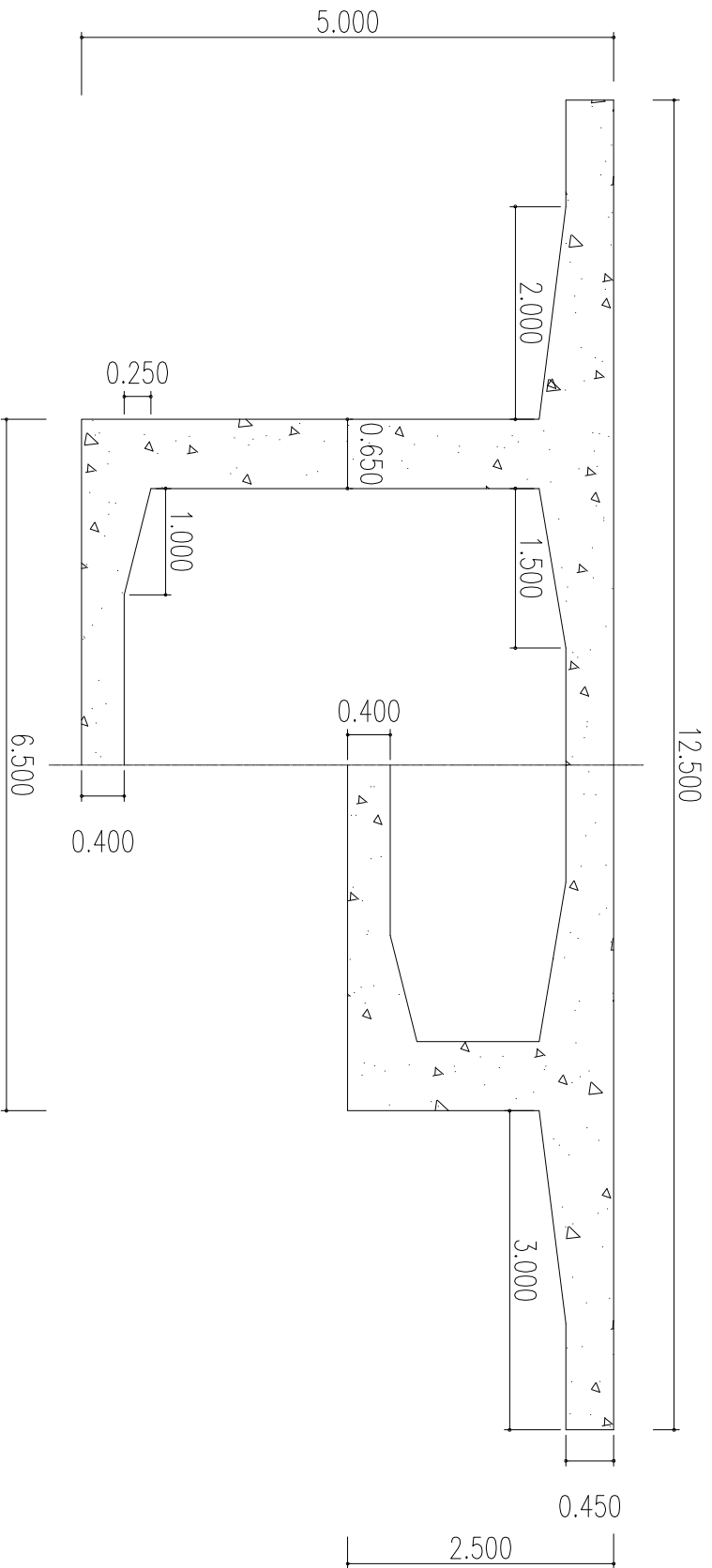
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D


MAHASISWA

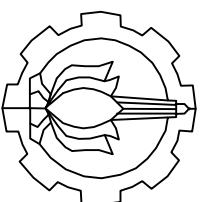
MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 31113 106 011

NOMER LEMBAR JUMLAH LEMBAR

1




Dimensi Box Girder
 Skala 1:75



JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
 PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
 JEMBATAN MARMOYO TOL SUMO
 (SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
 41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
 GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

DIMENSI BOX GIRDER

SKALA **PARAF**

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA

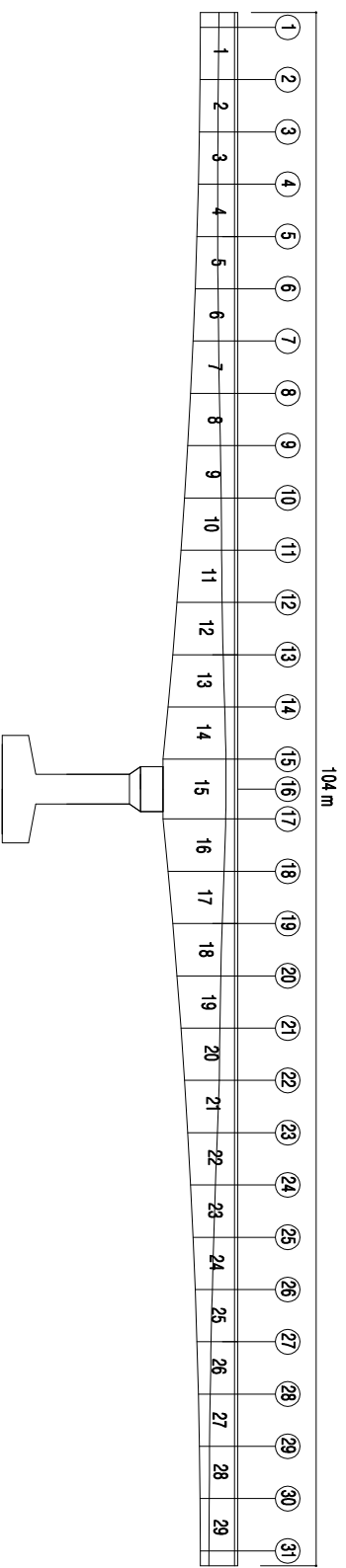
Prof. TAVIO, ST., MT., Ph.D

MAHASISWA

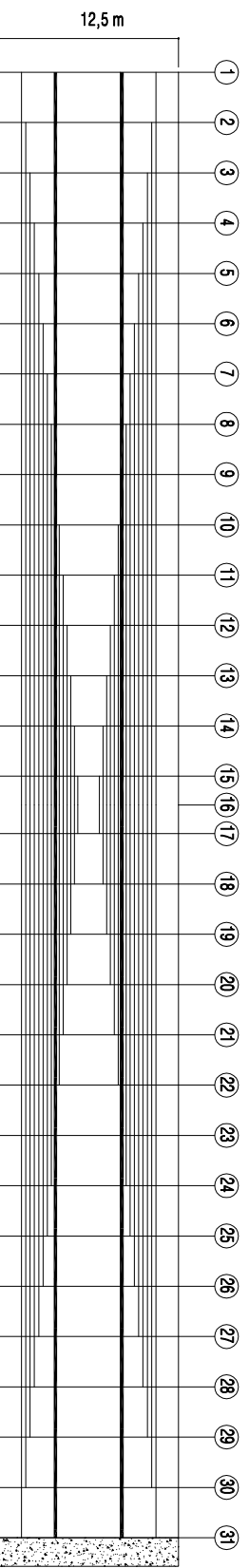
MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
 NRP 3113 106 011

NOMER **JUMLAH**
LEMBAR **LEMBAR**

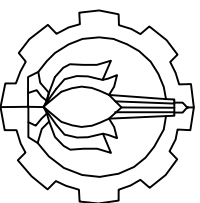
2



Layout tendon tampak samping
Skala 1:500



Layout tendon tampak atas
Skala 1:500



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOMOYO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

LAYOUT TENDON

| | |
|-------|-------|
| SKALA | PARAF |
|-------|-------|

DOSEN PEMBIMBING

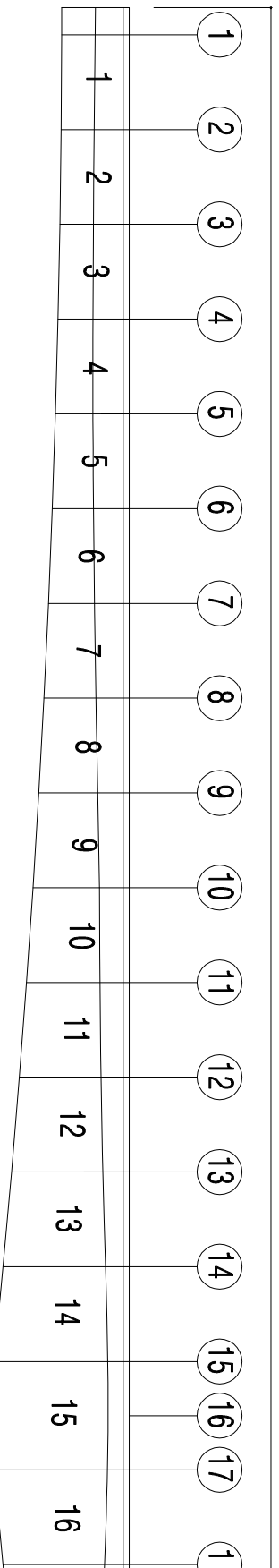
Prof. Dr. Ir. I. GUSTI PUTU RAKA, DEA
Prof. TAWO, ST., MT., Ph.D

MAHASISWA

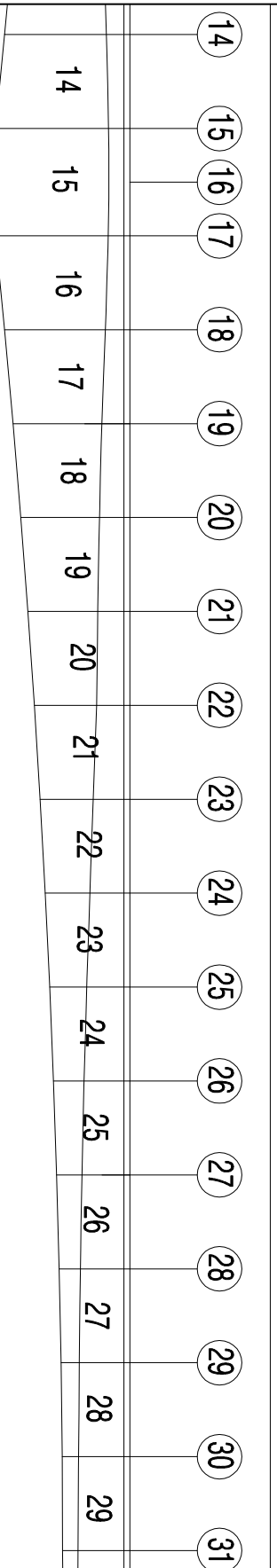
MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

| | |
|-----------------|------------------|
| NOMER LEMBAR | JUMLAH LEMBAR |
|-----------------|------------------|

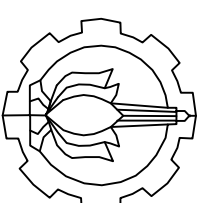
3



Layout tendon tampak samping
Skala 1:250



Layout tendon tampak samping
Skala 1:250



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOROYO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

LAYOUT TENDON TAMPAK SAMPIING

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA
Prof. TAVIO, ST. MT. Ph.D

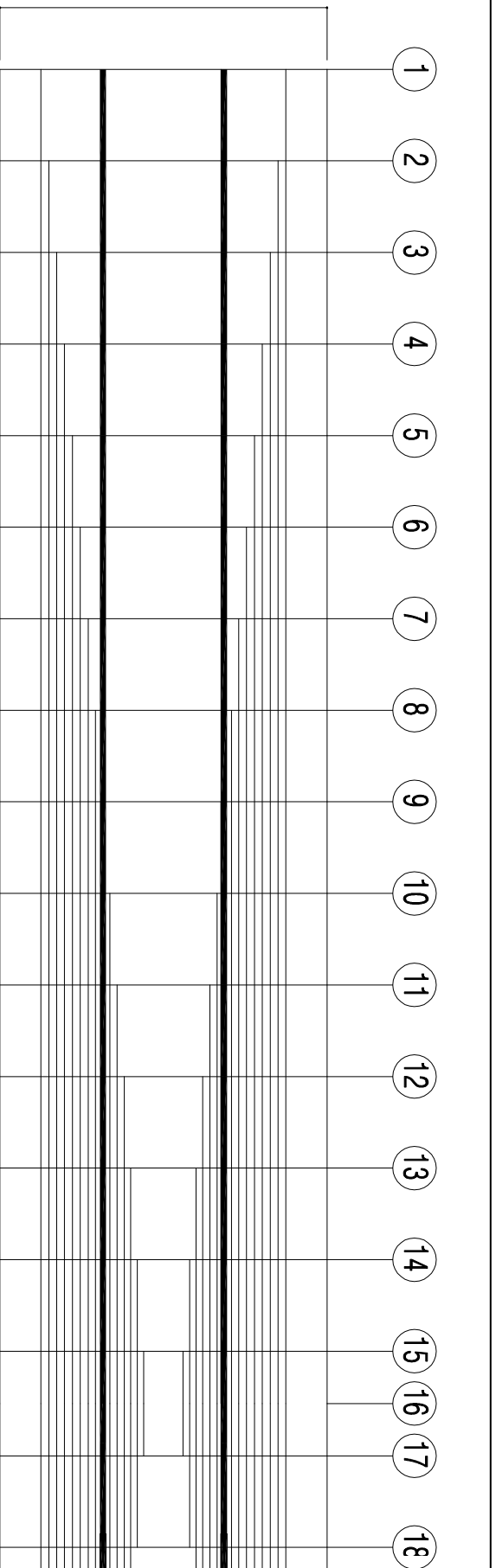
MAHASISWA

MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

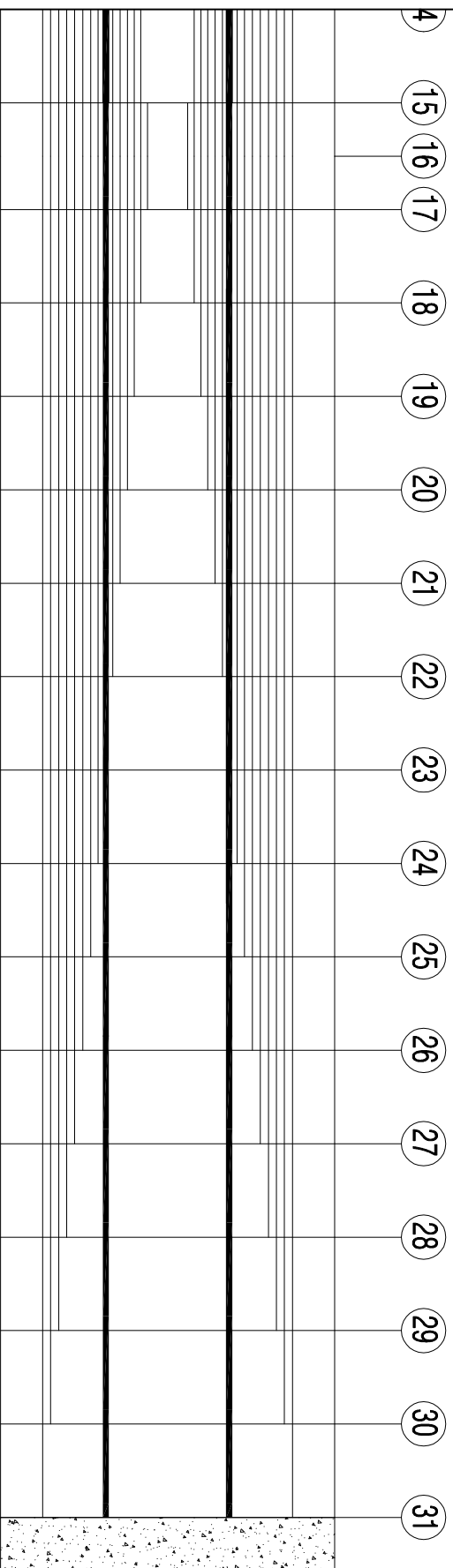
NOMER JUMLAH
LEMBAR LEMBAR

4

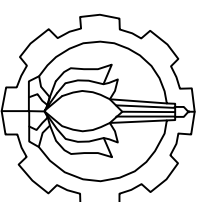
12,5 m



Layout tendon tampak atas
 Skala 1:250



Layout tendon tampak atas
 Skala 1:250



JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
 PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
 JEMBATAN MARMOROY TOJ SUMO
 (SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
 41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
 GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

LAYOUT TENDON TAKIMPAK ATAS

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA

Prof. TAWO, ST., MT., Ph.D

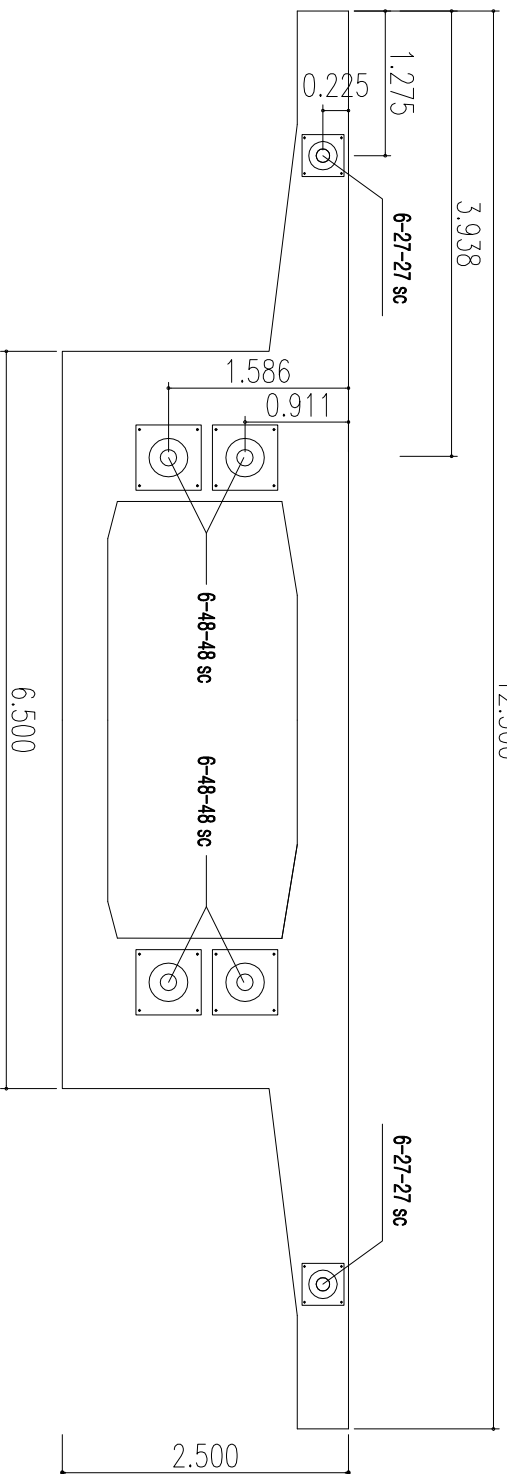
MAHASISWA

MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
 NRP 3113 106 011

NOMER JUMLAH
 LEMBAR LEMBAR

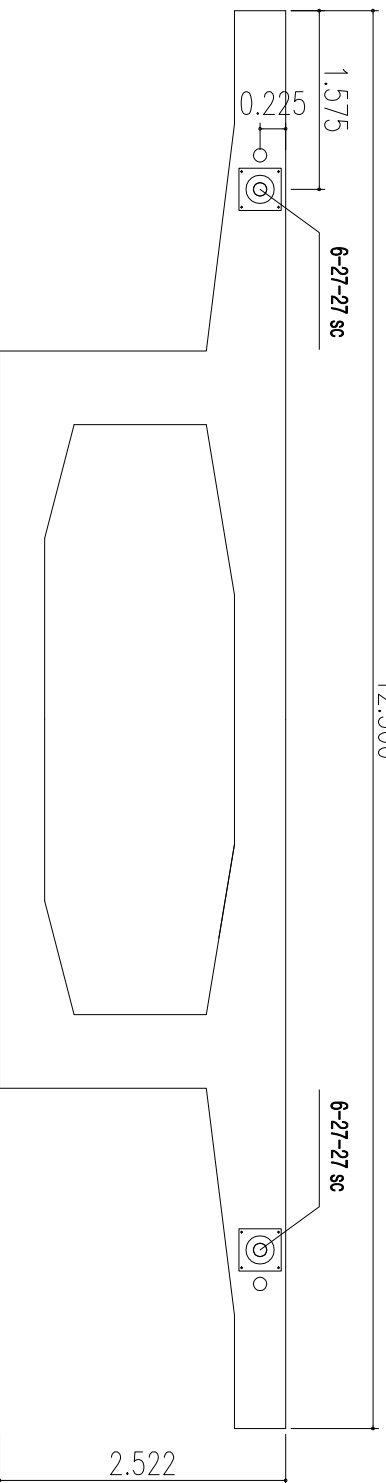
5

12.500

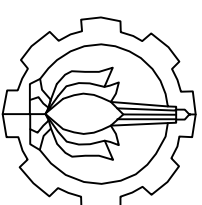


Letak tendon joint O
Skala 1:75

12.500



Letak tendon joint 1
Skala 1:75



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOYO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
41 + 400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

LETAK TENDON PERJOINT

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA

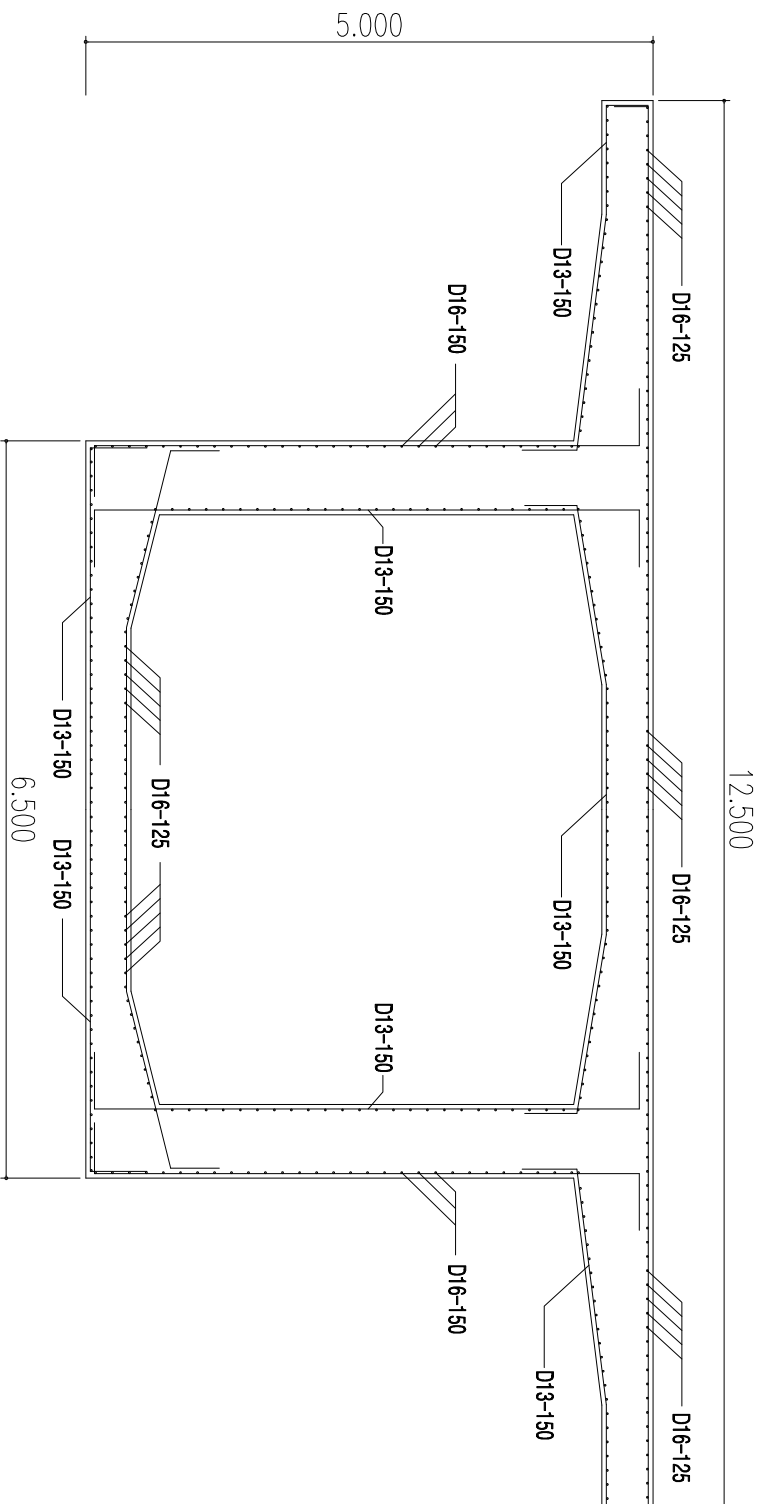
Prof. TAWO, ST., MT., Ph.D

MAHASISWA

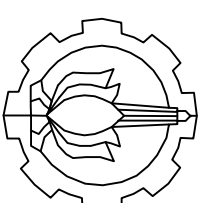
MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

NOMER JUMLAH
LEMBAR LEMBAR

6



Penulangan Box Girder
Skala 1:75



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOMOYO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN BOX GIRDER

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA

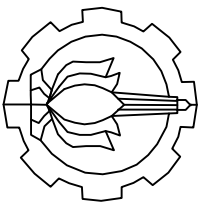
Prof. TAWO, ST., MT., Ph.D

MAHASISWA

MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

NOMER JUMLAH
LEMBAR LEMBAR

18



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOMOYO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER

JUDUL GAMBAR

POTONGAN ABUTMENT

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA

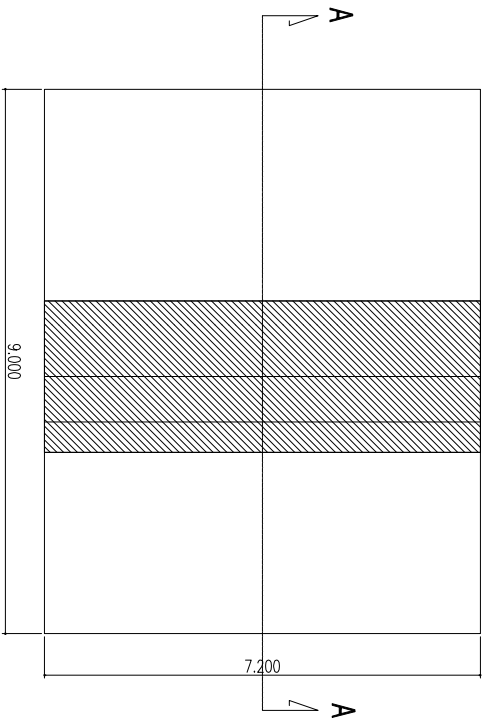
Prof. TAWO, ST., MT., Ph.D

MAHASISWA

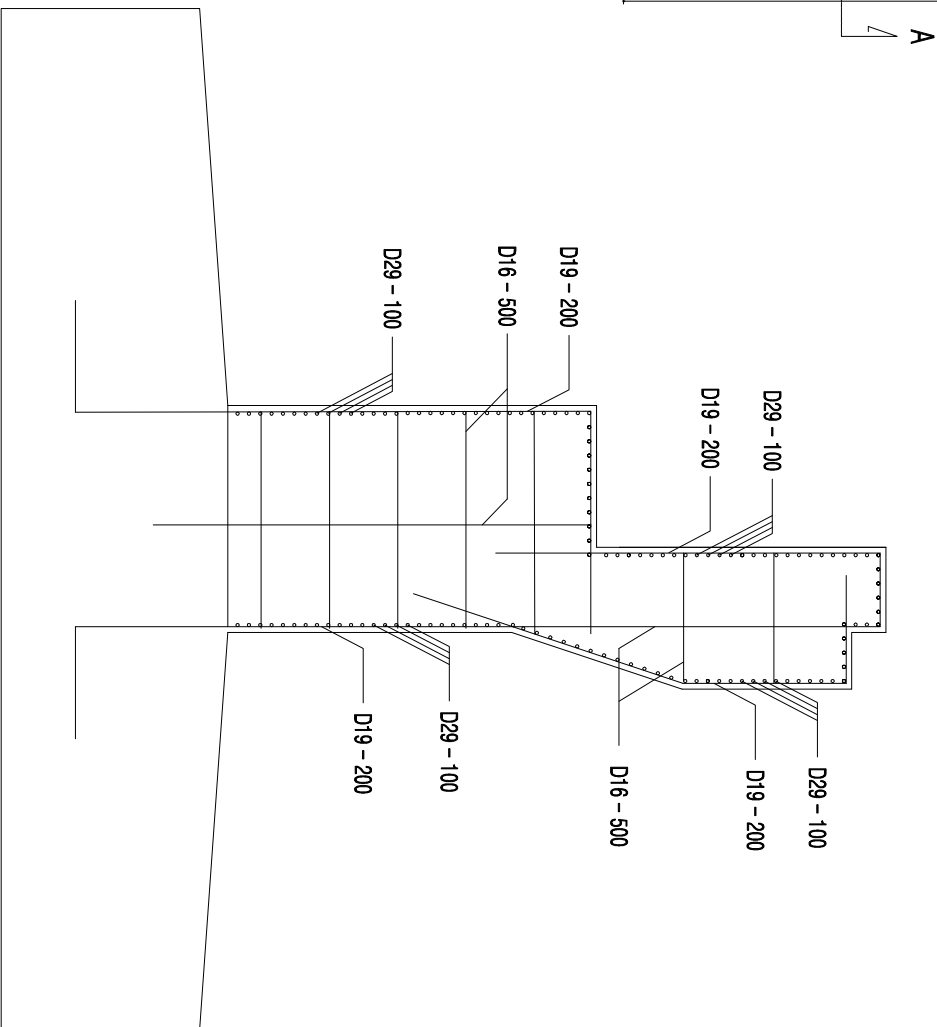
MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

NOMER JUMLAH
LEMBAR LEMBAR

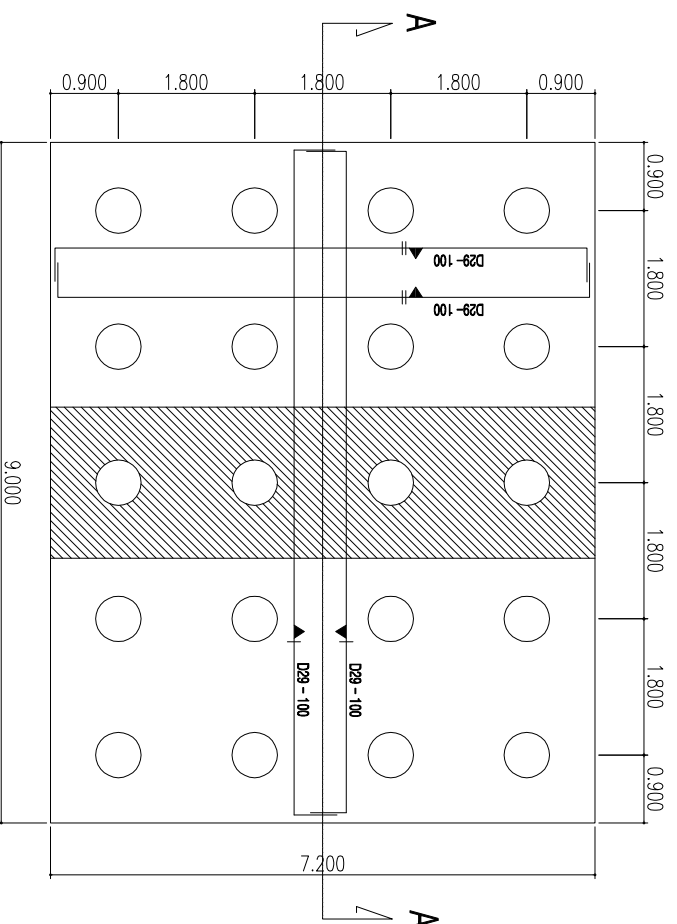
19



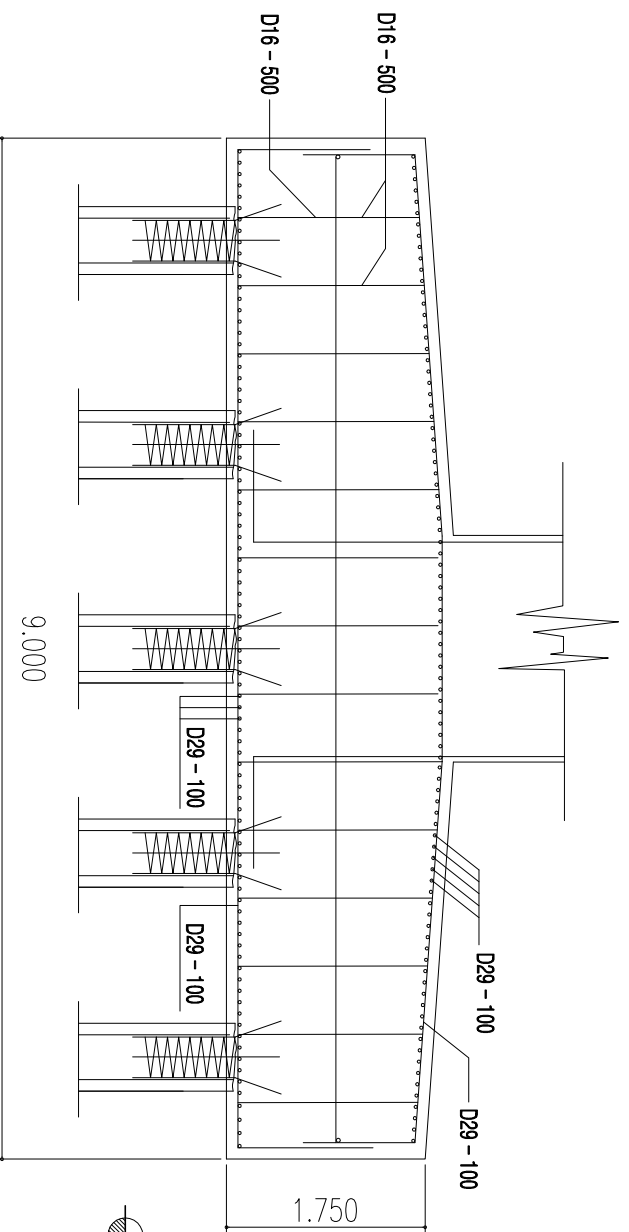
Tampak Atas
Skala 1:125



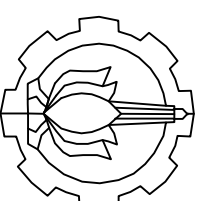
Potongan A-A
Skala 1:75



Penulangan Poer
Skala 1:100



Potongan A-A
Skala 1:175



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOMOYO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN POER ABUTMENT

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

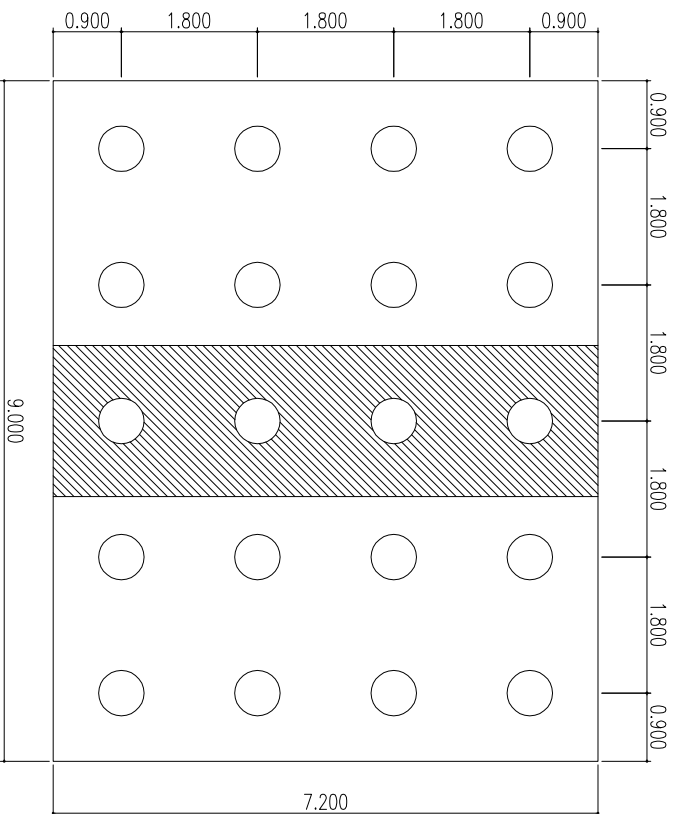
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA
Prof. TAWO, ST. MT. Ph.D

MAHASISWA

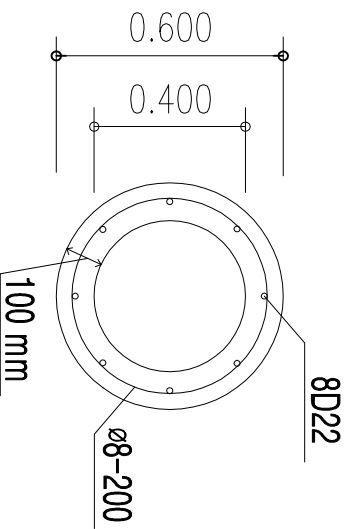
MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

NOMER JUMLAH
LEMBAR LEMBAR

20

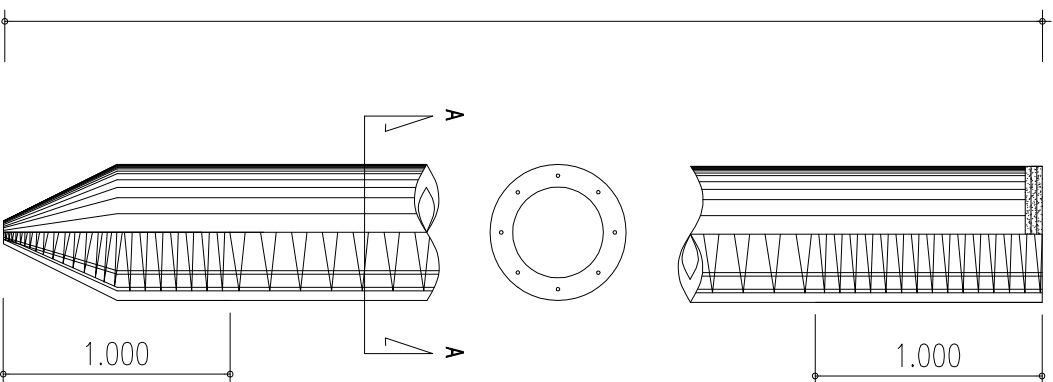


Konfigurasi pondasi
Skala 1:100

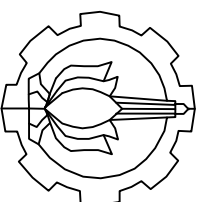


Potongan A-A
Skala 1:20

26.50



Pondasi Tiang pancang
Skala 1:30



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOMOYO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PONDASI
ABUTMENT

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

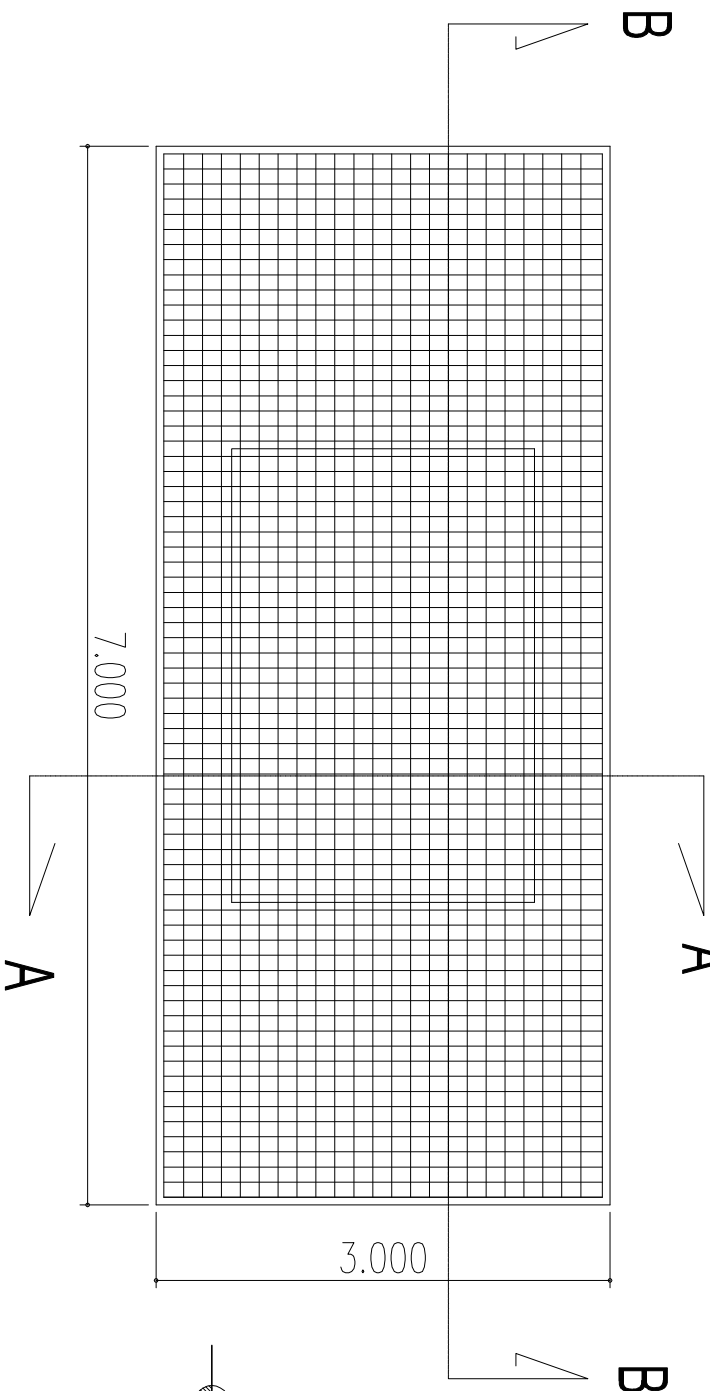
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA
Prof. TAWO, ST. MT. Ph.D

MAHASISWA

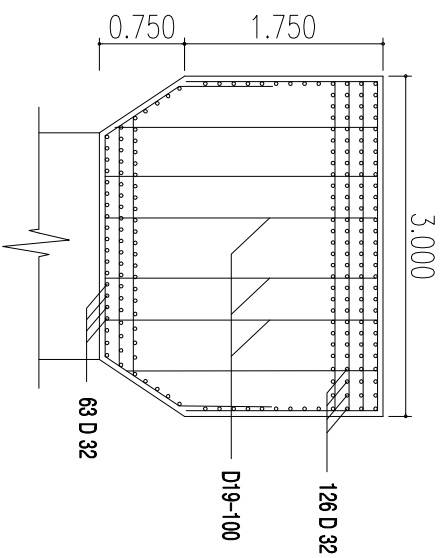
MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

NOMER JUMLAH
LEMBAR LEMBAR

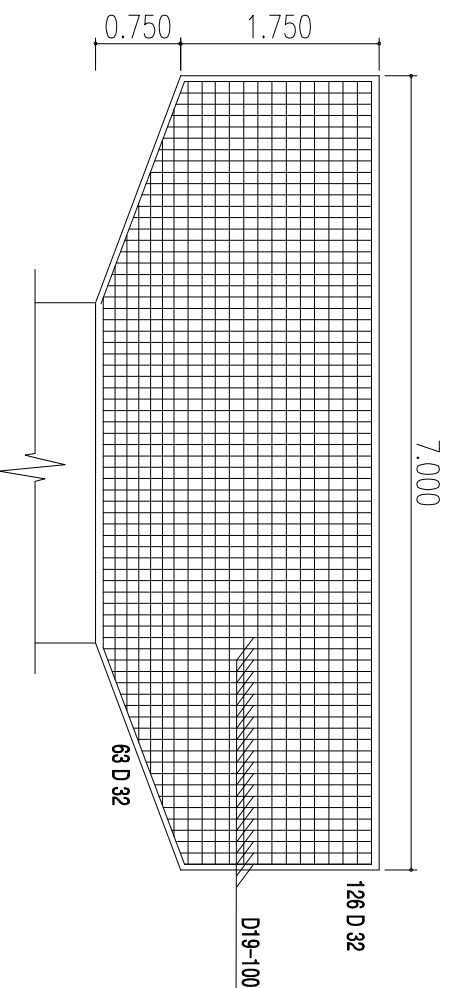
21



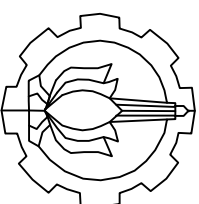
Penulangan Pier head
Skala 1:50



Potongan A-A
Skala 1:75



Potongan B-B
Skala 1:75



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOMOYO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PIER HEAD

| | |
|-------|-------|
| SKALA | PARAF |
|-------|-------|

DOSEN PEMBIMBING

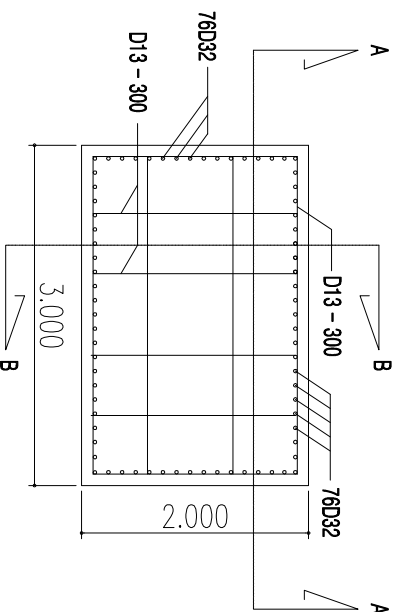
Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA
Prof. TAWO, ST., MT., Ph.D

MAHASISWA

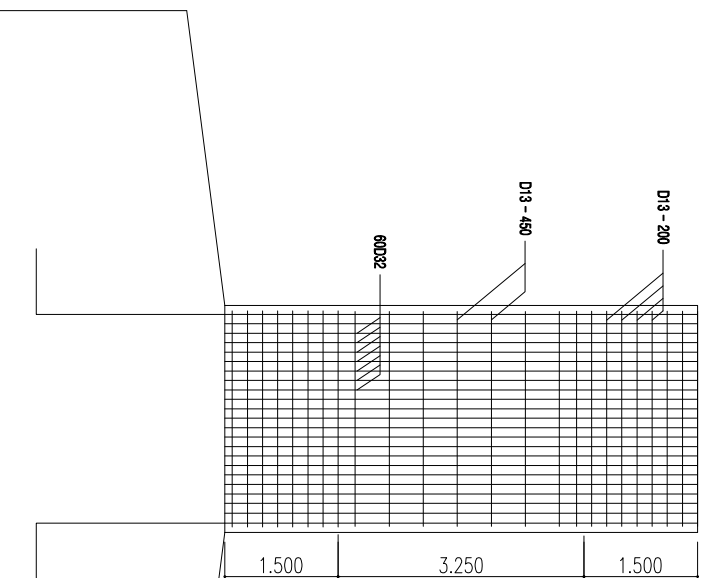
MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

| | |
|-----------------|------------------|
| NOMER LEMBAR | JUMLAH LEMBAR |
|-----------------|------------------|

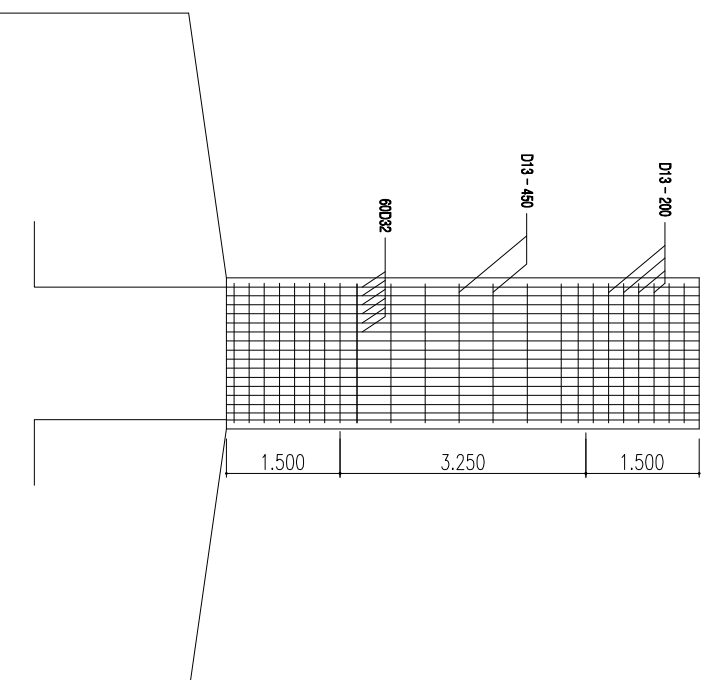
22



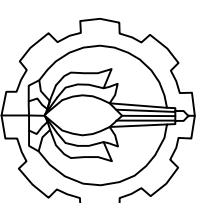
Penulangan Kolom Pilar
Skala 1:75



Potongan A-A
Skala 1:100



Potongan B-B
Skala 1:100



JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
JEMBATAN MARMOMOYO TOL SUMO
(SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

PENULANGAN PILAR

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA

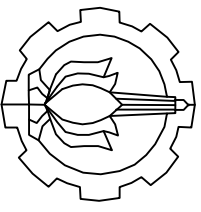
Prof. TAWO, ST., MT., Ph.D

MAHASISWA

MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
NRP 3113 106 011

NOMER JUMLAH
LEMBAR LEMBAR

23



JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN
 PERENCANAAN
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
 NOPEMBER SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

MODIFIKASI PERENCANAAN
 JEMBATAN MARMOMOYO TOL SUMO
 (SURABAYA - MOJOKERTO) STA.
 41+400 DENGAN KONSTRUKSI BOX
 GIRDER USING TRAVELER)

JUDUL GAMBAR

TEMPORARY CONNECTION

SKALA PARAF

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. I GUSTI PUTU RAKA, DEA
 Prof. TAWO, ST., MT., Ph.D

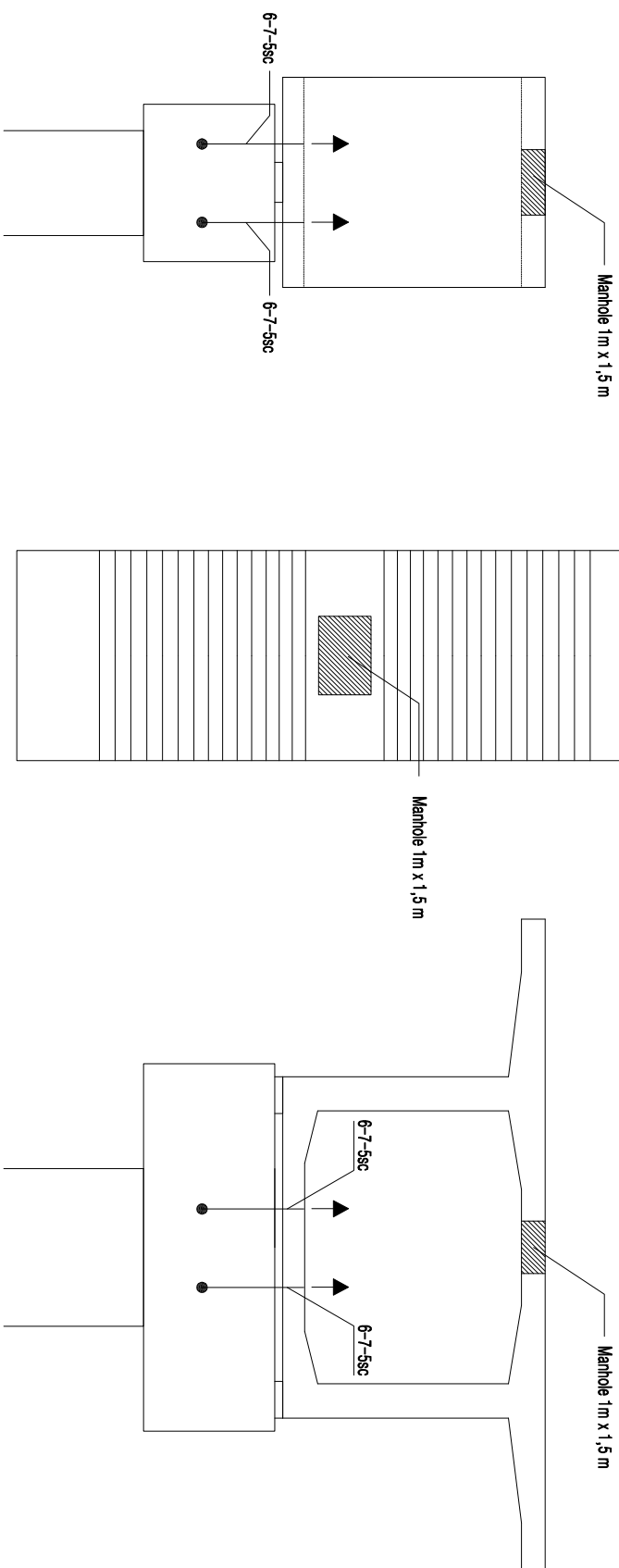
MAHASISWA

MAHARDIKA BAGUS PURNAMA
 NRP 3113 106 011

NOMER JUMLAH
 LEMBAR LEMBAR

26

15 16 17



Temporary Connection
 Skala 1:75

BAB VIII PENUTUP

7.1 Kesimpulan

Jembatan Marmoyo Proyek Tol Surabaya-Mojokerto direncanakan menggunakan *single box girder* di setiap lajur dengan penampang sebagai berikut

Bangunan atas direncanakan dengan 15 segmen, dengan tinggi *box girder* di tumpuan 5 m dan di tengah bentang 2,5 m. Dalam perencanaan ini digunakan 15 tendon kantilefer dan 4 tendon menerus. Tendon kantilefer yang digunakan pada perencanaan ini terdapat tiga jenis ukuran yaitu 19 sc (4750 kN), 22 sc (5500 kN) dan 27 sc (6750 kN). Sedangkan untuk tendon menerus hanya menggunakan satu jenis tendon saja dengan ukuran 48 sc (12000 kN). Untuk penulangan utama flens atas *box girder* menggunakan D16-125, flens dinding menggunakan D16-150, flens bawah menggunakan D16-125. Untuk penulangan geser digunakan tulangan D13-150.

Untuk bangunan bawah, pada bagian dinding abutment direncanakan menggunakan tulangan D29 - 100. Sedangkan pada bagian *Pier Head* direncanakan dengan tulangan utama dibagian atas 126 D32 dibagian bawah 63 D32 dan tulangan geser D19-200. Perencanaan kolom/Pilar jembatan direncanakan tulangan utama 76 D32 dan tulangan geser D13-200. Untuk Perencanaan *pile cap* abutment direncanakan tulangan D29-125 untuk arah x dan juga D29-125 untuk arah y sedangkan untuk *pile cap* pilar direncanakan tulangan D29-150 untuk arah x dan y. Pada perencanaan pondasi direncanakan dengan tiang pancang sebanyak 20 buah untuk abutment dan 30 buah untuk pilar dengan diameter 60 cm dari PT. Gemilan Beton Precast.

Rencana pelaksanaan Jembatan Marmoyo Proyek Tol Surabaya-Mojokerto menggunakan metode *Balance Cantilever* dengan menggunakan *traveler formwork* oleh karena metode itu jembatan ini direncanakan dengan 2 perencanaan tendon di struktur atas, yaitu tendon kantilefer dan tendon menerus. Tendon

Kantilefer yaitu tendon yang difungsikan untuk menahan berat sendiri dari segmen box girder saat pelaksanaan. Kemudian setelah jembatan menjadi 1 kesatuan *continous beam* dilakukan *stressing* tendon menerus yang telah dipasang, tendon menerus sendiri berfungsi menahan beban servis saat jembatan digunakan.

7.2 Saran

Dalam perencanaan jembatan *box girder prestressed* ini metode pelaksanaan sangat vital oleh karena saat pelaksanaan harus benar diperhatikan karena apabila ada pemasangan yang kurang tepat akan menimbulkan permasalahan. Untuk dari segi material harus diperhatikan secara detail karena dalam pekerjaan jembatan beton pratekan memerlukan mutu beton maupun mutu baja tinggi maka perhitungan dan pelaksanaan harus benar-benar siap dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Lin Ned, TY and Burn, NH.1989.*Desain Struktur Beton Pratekan*.
- Nawy, Edward. G. 2001. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar. Jilid I Edisi III*. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Jakarta : Erlangga
- Budiadi, Andri.2008. *Desain Praktis Beton Prategang*.
- Murni Dewi,Sri.2003. *Beton Prategang*.
- Asiyanto.2005. *Metode Konstruksi Jembatan Beton*.
- Wahyudi, Herman. 2013. *Daya Dukung Pondasi Dalam. Edisi Kesatu*. Surabaya : ITS Press
- RSNI T-12-2004. Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan*
- RSNI T-02-2005. Standart Pembebanan Untuk Jembatan*
- SNI 2833:2008. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan*
- SNI03-2847-2013. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.



Mahardika Bagus Purnama

Penulis dilahirkan di Lamongan 17 Juni 1992, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Pertiwi (Lamongan) tahun 1995-1998, SDN Pelang IV (Lamongan) tahun 1998-2004, SMPN 1 Lamongan tahun 2004-2007, dan SMAN 2 Lamongan tahun 2007-2010. Setelah lulus dari SMAN 2 Lamongan tahun 2010, Penulis diterima di Jurusan

Teknik Sipil dan Bangunan Diploma III Universitas Negeri Malang melalui jalur Penelusuran Minat dan Kemampuan (PMDK). Penulis pernah aktif mengikuti organisasi Workshop jurusan teknik sipil CREMONA Galeri. Setelah penulis lulus dari Diploma III Teknik Sipil dan Bangunan Universitas Negeri Malang pada tahun 2013, penulis mengikuti ujian masuk program S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun ajaran 2013-2014 semester genap. Dan diterima di program S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, terdaftar dengan NRP 3113 106 011. Di jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS penulis mengambil bidang struktur.

mahardikabaguspurnama@gmail.com (085646262446)