



**PERENCANAAN ULANG JEMBATAN CURAHMALANG
JEMBER MENGGUNAKAN BOX GIRDER PRATEKAN**

***(CURAHMALANG REINFORCEMENT BRIDGE OF JEMBER
USING PRESTRESSED BOX GIRDER)***

SKRIPSI

Oleh

M. Shofie El Faid

NIM. 141910301068

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019



**PERENCANAAN ULANG JEMBATAN CURAHMALANG
JEMBER MENGGUNAKAN BOX GIRDER PRATEKAN**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas seminar dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

M. Shofie El Faid

NIM. 141910301068

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2019

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah Yang Maha Esa karena atas limpahan karunia-Nya skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Saya persembahkan karya sederhana ini untuk :

1. Ayahanda Shohibul Faizin dan Ibunda Indah Hariati tercinta atas segala doa dan, kasih sayang, dan pengorbanan yang telah diberikan selama ini;
2. Keluargaku tercinta, Mufty El Mahie, Janki Safitri, Muqtaf El Muflihie Fain, Diah Ayu Novitasari, Mirza, Reza, Wirda, dan Mumtaz yang selalu menghibur, memberikan *support* dan sekaligus tempat untuk berbagi;
3. Guru-guru mulai dari tingkat taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat;
4. Rekan – rekan saya Jack, Dannis, Srun, Ilham, Ferman, Gio, Bagas yang telah menemani kegokilan selama di kosan pak eko ;
5. Ami Aulia Rahma Putri, Arifa, Arik, dan Devi (Epik) yang selalu mensupport, membantu, dan menemani saya selama mengerjakan tugas akhir ini;
6. Keluarga Grujungan (Enik, Narita, Yolanda, Septi, Rozzy, Rifqiy, Gary, Prima, dan Indah) yang telah menjadi keluarga 45 hari;
7. Teknik Sipil 2014 yang senantiasa membantu dan memberi dukungan pada proses penyusunan Tugas Akhir;
8. Almamater Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember;
9. Semua pihak yang turut berperan dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu;

Terimakasih kepada kalian semua, semoga Allah membalas budi kalian dikemudian hari dan memberikan kemudahan dalam segala urusan.

MOTTO

“Setiap hembusan nafas yang diberikan Allah padamu bukan hanya berkah, tapi tanggung jawab”

(Anonim)

“Saat masalahmu jadi terlalu berat untuk ditangani, beristirahatlah dan hitung berkah yang sudah kau dapatkan ”

(Anonim)

“Hanya perlu sedikit semangat untuk membuatmu bangkit. Jangan menjadi lemah hanya karena kamu rasa itu berat. yang penting yakin”

(M. Shofie El Faid)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : M. Shofie El Faid

Nim : 141910301068

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul **"Perencanaan Ulang Jembatan Curahmalang Jember Menggunakan *Box Girder Pratekan*"** adalah benar-benar karya sendiri, kecuali sumber kutipan yang telah diberikan penulis dan belum pernah diajukan pada skripsi manapun, dan bukan karya jiplakan. Penulis bertanggung jawab akan keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini penulis berikan dengan sebenarnya tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serat bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2019

Yang menyatakan,

M. Shofie El Faid

141910301068

SKRIPSI

**PERENCANAAN ULANG JEMBATAN CURAHMALANG
JEMBER MENGGUNAKAN BOX GIRDER PRATEKAN**

Oleh :

M. Shofie El Faid
Nim 141910301068

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama	: Dwi Nurtanto, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota	: Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "**Perencanaan Ulang Jembatan Curahmalang Jember Menggunakan *Box Girder Pratekan***", atas nama M. Shofie El Faid (141910301068) telah diuji dan disahkan pada :

Hari/Tanggal : Selasa, 15 Januari 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

Dwi Nurtanto, S.T., M.T.
NIP. 19731015 199802 1 001

Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T.
NIP. 760016772

Dosen Penguji

Penguji Utama

Penguji Anggota

Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T.
NIP. 19700530 199803 2 001

Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T.
NIP. 760014641

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M
NIP. 19661215 199503 2 001

RINGKASAN

Perencanaan Ulang Jembatan Curahmalang Jember Menggunakan Box Girder Pratekan; M. Shofie El Faid; 141910301068; 2018; 105 Halaman; Jurusan S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Jembatan Curahmalang yang ada di Jember ini memiliki umur jembatan kurang lebih 80 tahun dan sudah mengalami 2 kali pemeliharaan. Pada pemeliharaan yang kedua Dinas PU Binamarga Kabupaten Jember merencanakan renovasi jembatan agar jembatan bisa lebih layak untuk mendongkrak perekonomian warga sekitar. Sehingga dilakukan perencanaan jembatan menggunakan struktur prategang tipe box untuk komponen struktur utama jembatan.

Pada perencanaan ini kombinasi pembebanan diambil dari SNI 1725-2016 yaitu kombinasi pembebanan Kuat I, Ekstrem I, dan Daya Layan I yang digunakan untuk memperhitungkan momen yang terjadi sebelum diberikan gaya prategang. Gaya prategang total direncanakan berdasarkan hitungan dan hasilnya sebesar 70000 kN. Kemudian gaya prategang tersebut mengalami kehilangan akibat Perpendekan Elastis (ES), Rangkak Beton (CR), Susut (SH), dan Relaksasi Baja (RE) dengan total kehilangan sebanyak 19,581 %. Tegangan yang terjadi pada jembatan dilakukan kontrol berurutan sesuai dengan SNI T-12-2004 yaitu berupa kontrol tegangan yang sesuai dengan syarat tegangan saat transfer yaitu tekan $\leq -23,4$ MPa dan tarik $\leq 1,561$ MPa. Kemudian dilakukan kembali kontrol tegangan akibat dari kombinasi pembebanan beban mati ditambah beban hidup dari kendaraan yang sesuai dengan syarat yaitu tekan ≤ -27 MPa dan tarik $\leq 3,8729$ MPa.

Pada kontrol kestabilan, perhitungan kontrol momen retak (M_{cr}) dikontrol dengan $M_n \geq 1,2M_{cr}$. Hasil dari perhitungan didapatkan M_n sebesar 152834,924 kNm dan $1,2 M_{cr}$ sebesar 133490,5595 kNm. Dari hasil perhitungan tersebut kontrol momen retak dianggap sudah memenuhi.

Selanjutnya untuk lendutan pada jembatan bentang sederhana atau menerus akibat beban kendaraan adalah sebesar $L/250$. Dalam hal ini diketahui syarat lendutan sebesar 220 mm. Lalu pada saat layan dihitung lendutan yang terjadi sebesar 69,704 mm sedangkan melalui hasil analisis SAP2000 didapatkan lendutan sebesar 73,34 mm maka lendutan dinyatakan telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dengan validasi perbandingan sebesar 4,96%.



SUMMARY

Curahmalang Reinforcement Bridge of Jember Using Prestressed Box Girder; M. Shofie El Faid; 141910301068; 2018; 105 pages; Department of Civil Engineering Faculty of Engineering, University of Jember.

The Curahmalang Bridge in Jember has a bridge age of approximately 80 years and has undergone 2 maintenance times. In the second maintenance of the Binamarga Public Works Agency, Jember Regency plans to renovate the bridge so that the bridge can be more feasible to boost the economy of the surrounding residents. So that the bridge planning is carried out using a box type prestressed structure for the main structural components of the bridge.

In this planning the loading combination is taken from SNI 1725-2016, namely the combination of loading Kuat I, Ekstrem I, and Daya Layan I which is used to calculate the moment that occurs before being given prestressing force. Total of prestressed style is planned based on the count and the result is 70000 kN. Then the prestressing force loses due to Elastic Shortening (ES), Concrete Crawling (CR), Shrinkage (SH), and Steel Relaxation (RE) with a total loss of 14.2895%. The stress that occurs on the bridge is carried out sequentially control in accordance with SNI T-12-2004, namely in the form of stress control that is in accordance with the stress requirements at the transfer, press < -23.4 MPa and pull < 1.561 MPa. Then the stress control was carried out again as a result of the combination of loading dead load plus the live load of the vehicle that corresponds to the conditions of press < -27 MPa and pull < 3.8729 MPa.

In stability control, the calculation of moment crack control (M_{cr}) is controlled by $M_n \geq 1.2M_{cr}$. The results of the calculation obtained M_n of 152834,924 kNm and 1.2 M_{cr} of 133490,5595 kNm. From the results of these calculations the crack moment control is considered to have met.

Furthermore, for deflection in simple or continuous span bridges due to vehicle load is equal to $L / 250$. In this case the deflection requirement is 220 mm. Then when the service is calculated deflection occurs at 69,704 mm while through

the results of SAP2000 analysis obtained deflection of 73.34 mm then deflection is stated to have fulfilled the requirements set by the comparison validation of 4.96%.



PRAKATA

Puji syukur ditujukan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas karunia rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Perencanaan Ulang Jembatan Curahmalang Menggunakan *Box Girder* Pratekan” dengan baik.

Penyelesaian skripsi ini tak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Ir. Hernu Suyoso, M.T., selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T., selaku Dosen penguji dan Kepala Prodi S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Dwi Nurtanto, S.T., M.T. dan Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, ilmu dan saran yang bermanfaat.
5. Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran demi perbaikan skripsi;
6. Luthfi Amri Wicaksono, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberi banyak nasehat dan saran;
7. Willy Kriswardhana, S.T., M.T., dan Winda Tri Wahyuningtyas, S.T., M.T. selaku komisi bimbingan;

Penulis menerima kritik dan saran untuk kesempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

Jember, Januari 2019

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PEMBIMBING	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Jembatan	4
2.2 Beton Prategang	4
2.2.1 Jenis-Jenis Penampang Jembatan Beton Prategang	5
2.2.2 Penarikan Tendon (Baja Prategang)	5
2.2.3 Gaya Prategang	6
2.2.4 Tahap – Tahap Pembebanan	6
2.2.5 Kehilangan Gaya Prategang	7

2.3 Tendon	11
2.3.1 Kawat Baja (<i>Wire</i>)	12
2.3.2 Untaian Kawat (<i>Strand</i>) Baja	12
2.3.3 Batang Baja (<i>Bar</i>)	13
2.3.4 <i>Grouting</i>	14
2.4 <i>Precast Segmental Box Girder</i>	14
2.5 <i>Box Girder</i>	14
2.5.1 Desain Elemen Sambungan	16
2.6 Beban Rencana Pada Struktur Jembatan	16
2.6.1 Beban Mati	16
2.6.2 Beban Hidup.....	18
2.6.3 Aksi Lingkungan.....	21
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Lokasi Penelitian	24
3.2 Diagram Alir	25
3.3 Pengumpulan Data dan Literatur	27
3.4 Preliminary Desain.....	27
3.5 Perhitungan Gaya Prategang.....	28
3.5.1 Tegangan Ijin.....	28
3.6 Pembebanan pada Struktur Utama Jembatan.....	28
3.7 Perhitungan Kontrol Struktur	29
3.7.1 Kontrol Analisis Tegangan Akhir	29
3.7.2 Kontrol Momen Retak	29
3.7.3 Kontrol Geser Sambungan	30
3.7.4 Kontrol Lendutan	30
BAB 4. PEMBAHASAN	
4.1 Perencanaan Jembatan.....	31
4.1.1 Data-Data Perencanaan.....	31
4.1.2 Spesifikasi Bahan	31
4.2 <i>Preliminary Design</i>	32
4.2.1 Tipe Jembatan.....	32

4.2.2 Bentuk dan Dimensi <i>Box Girder</i>	32
4.2.3 <i>Section Properties</i>	34
4.3 Struktur Sekunder	36
4.3.1 Perencanaan Pipa Sandaran	36
4.3.2 Perencanaan Tiang Sandaran	38
4.3.3 Perhitungan Plat Trotoar	41
4.3.4 Rekapitulasi Beban Struktur Sekunder	43
4.3.5 Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Struktur Sekunder	43
4.4 Pembebanan <i>Box Girder</i> Prategang	44
4.4.1 Berat Sendiri (MS)	44
4.4.2 Beban Mati Tambahan (MA)	44
4.4.3 Beban Lajur “D” (TD)	44
4.4.4 Beban Lajur Pejalan kaki (TP)	45
4.4.5 Gaya Rem (TB)	46
4.4.6 Beban Angin (EW)	46
4.4.7 Rekapitulasi Pembebanan pada Jembatan	47
4.5 Analisis Beban	49
4.6 Analisis Struktur Utama Jembatan	50
4.6.1 Perhitungan Gaya Prategang Awal	50
4.6.2 Perencanaan Jumlah Tendon	52
4.6.3 Perencanaan Posisi Tendon	52
4.6.4 Kehilangan Gaya Prategang	55
4.6.5 Kontrol terhadap Tegangan	59
4.6.6 Permodelan SAP	77
4.7 Kontrol terhadap Kestabilan	78
4.7.1 Kontrol Momen Retak	78
4.7.2 Kontrol Lendutan	79
4.8 Perhitungan Tulangan	83
4.8.1 Tulangan Geser Badan	83
4.8.2 Pembesian <i>Box Girder</i>	88
4.8.3 Perencanaan <i>Shear Key</i>	93

4.8.4 Perencanaan <i>End Block</i>	98
BAB 5 PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	103
5.2 Saran	104

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN – LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

2.1	Kawat Baja (<i>Wire</i>)	12
2.2	Untaian Kawat (<i>Strand</i>) Baja.....	13
2.3	Baja Batangan (<i>Bar</i>)	14
2.4	Tipe Segmen <i>Box Girder</i>	16
2.5	Detail sambungan pada <i>segmental box girder</i>	17
2.6	Beban Lajur “D”	18
2.7	Pembebanan Truck “T” (500 kN).....	19
2.8	Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”	20
3.1	Lokasi Penelitian	24
3.2	<i>Flowchart</i> Perencanaan Struktur Jembatan	26
4.1	Potongan Melintang <i>Box Girder</i>	33
4.2	Pembagian Luasan Perhitungan Analisis Penampang <i>Box Girder</i>	34
4.3	Struktur Sekunder Jembatan yang Direncanakan	36
4.4	Profil Pipa Sandaran	37
4.5	Tiang Sandaran	38
4.6	Penulangan Tiang Sandaran	40
4.7	Tinjauan Beban pada Lantai Trotoar	41
4.8	Pembebanan Jembatan.....	48
4.9	Diagram Momen Kombinasi Beban Kuat I.....	49
4.10	Diagram Momen Kombinasi Beban Ekstrem I	49
4.11	Diagram Momen Kombinasi Beban Daya Layan I	49
4.12	Posisi Tendon Arah Memanjang	53
4.13	Tampak Potongan Tendon ½ Bentang.....	53
4.14	Tampak Potongan Tendon ¼ Bentang.....	54
4.15	Tampak Tendon Bagian Ujung Jembatan.....	54
4.16	Diagram tegangan tendon pada baris pertama saat transfer	59
4.17	Diagram tegangan tendon pada baris pertama saat layan akibat kombinasi pembebanan “Kuat I”	60
4.18	Diagram tegangan tendon pada baris kedua saat transfer.....	62

4.19	Diagram tegangan tendon pada baris kedua saat layan akibat kombinasi pembebanan “Kuat I”	63
4.20	Diagram tegangan tendon pada baris pertama saat transfer	65
4.21	Diagram tegangan tendon pada baris pertama saat layan akibat kombinasi pembebanan Ekstrem I.....	66
4.22	Diagram tegangan tendon pada baris kedua saat transfer.....	68
4.23	Diagram tegangan tendon pada baris kedua saat layan akibat kombinasi pembebanan Ekstrem I.....	69
4.24	Diagram tegangan tendon pada baris pertama saat transfer	71
4.25	Diagram tegangan tendon pada baris pertama saat layan akibat kombinasi pembebanan Daya Layan I.....	73
4.26	Diagram tegangan tendon pada baris kedua saat transfer	74
4.27	Diagram tegangan tendon pada baris pertama saat layan akibat kombinasi pembebanan Daya Layan I.....	75
4.28	Permodelan Box Girder Arah Melintang.....	77
4.29	Permodelan Box Girder Arah Memanjang	77
4.30	<i>Joint Displacement</i>	82
4.31	Letak lendutan maksimum pada permodelan SAP2000.....	82
4.32	Momen dan Geser Maksimum Kombinasi Beban Daya Layan I.....	83
4.33	Momen dan Geser Permodelan Arah Melintang <i>Box Girder</i> SAP2000	88
4.34	Detail Penulangan <i>Box Girder</i>	92
4.35	Letak Pengunci Joint Antar-Segmen	94
4.36	Potongan A-A Pengunci Joint Antar-Segmen	94
4.37	Pembagian Gaya pada <i>End Block</i>	99

DAFTAR TABEL

2.1	Nilai K_{sh} untuk Komponen Struktur Pasca-Tarik	8
2.2	Nilai K_{re} dan J	9
2.3	Nilai C	10
2.4	Koefisien <i>Wobble</i> dan Kelengkungan	11
2.5	Sifat-Sifat Kawat yang “ <i>Uncoated Stress Relieved</i> ” (ASTM A-421)	12
2.6	Sifat-Sifat <i>Strand Relieved</i> dengan Tujuh Kawat Tanpa Pelapisan (ASTM-416).....	13
2.7	Berat Isi untuk Beban Mati.....	17
2.8	Faktor Beban untuk Beban Sendiri.....	17
2.9	Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”	18
2.10	Faktor Beban untuk Beban “T”	19
2.11	Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu	22
2.12	Tekanan Angin Dasar	23
4.1	Tipe Jembatan.....	32
4.2	Spesifikasi <i>Box Girder</i>	33
4.3	Perhitungan Analisis Penampang <i>Box Girder</i>	35
4.4	Rekapitulasi Penulangan Struktur Sekunder	43
4.5	Berat Sendiri	44
4.6	Beban Mati Tambahan.....	44
4.7	Gaya Luar	47
4.8	Kombinasi Pembebanan	48
4.9	Rekapitulasi Nilai Momen akibat Kombinasi Beban	49
4.10	Rekapitulasi Nilai Momen akibat Kombinasi Beban (Lanjutan)	50
4.11	Spesifikasi <i>Strand</i> yang Direncanakan	51
4.12	Posisi Tendon	55
4.13	Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan	56
4.14	Perhitungan Kehilangan Prategang Akibat Rangkak Beton.....	57
4.15	Perhitungan Tegangan Tendon Baris Pertama Akibat Kombinasi Pembebanan Kuat I.....	61

4.16	Perhitungan Tegangan Tendon Baris Kedua Akibat Kombinasi Pembebanan Kuat I.....	64
4.17	Perhitungan Tegangan Tendon Baris Pertama Akibat Pembebanan Ekstrem I.....	67
4.18	Perhitungan Tegangan Tendon Baris Kedua Akibat Pembebanan Ekstrem I.....	70
4.19	Perhitungan Tegangan Tendon Baris Pertama Akibat Pembebanan Daya Layan I.....	73
4.20	Perhitungan Tegangan Tendon Baris Kedua Akibat Pembebanan Daya Layan I.....	76
4.21	Kombinasi Pembebanan Permodelan <i>Box Girder</i>	77
4.22	Rekapitulasi Penulangan <i>Box Girder</i>	92
4.23	Rekapitulasi Penulangan <i>Box Girder</i> (Lanjutan).....	93
4.24	Kontrol Tegangan <i>Shear Key</i>	97
4.25	Perhitungan Gaya pada <i>Spalling Zone</i>	99
4.26	Perhitungan Gaya Prategang akibat <i>Jacking</i>	100
4.27	Perhitungan Tulangan Sengkan <i>Bursting Zone</i>	101
4.28	Perhitungan Penulangan <i>Bursting Zone</i>	102

DAFTAR LAMPIRAN

- A.1 Tampak Jembatan dari Arah Ambulu ke Balung
- A.2 Tampak Jembatan dari Arah Balung ke Ambulu
- A.3 Tampak Jembatan dari Arah Samping
- A.4 Layout & Pot. Memanjang Jembatan oleh Dinas PU Binamarga
- A.5 Jembatan Arah Memanjang
- A.6 Melintang Jembatan
- A.7 Posisi Tendon Arah Memanjang
- A.8 Tampak Tendon Potongan A-A, B-B, dan C-C
- A.9 Penulangan *Bursting Zone* dan Detail Penulangan *Bursting Zone*
- A.10 Penulangan *Box Girder*
- A.11 Detail Tendon
- A.12 Penulangan Struktur Sekunder
- A.13 Pengunci Joint Antar-Segmen
- A.14 Potongan A-A Pengunci Joint Antar-Segmen
- A.15 Brosur WIKA Beton (*Box Girder*)
- A.16 Tabel VSL *Post-Tensioning* (Tendon)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Struktur jembatan merupakan komponen penting bagi jalan raya, kereta api, dan jalan perkotaan serta memainkan peran penting dalam ekonomi, politik, budaya, dan pertahanan nasional. Jembatan berfungsi sebagai pelayan "kehidupan" karena fungsi vitalnya dalam jaringan transportasi (Weiwei dan Teruhiko, 2017).

Penggunaan beton pratekan banyak digunakan dalam konstruksi jembatan. Dalam hal ini beton pratekan menawarkan banyaknya keuntungan beton dan tendon pratekan di atas bahan konstruksi lainnya. Keunggulan ini terdiri atas tiga aspek: yang pertama adalah beton memiliki harga yang relatif rendah; Yang kedua adalah penahan retakan struktur yang lebih kuat; Yang terakhir adalah bahwa dimensi bagian girder jembatan PC dapat dikurangi untuk meningkatkan panjang bentangnya akibat prategang (Zhang, Kodur, Xie, He, Hou, 2017). Sehingga beton pratekan merupakan salah satu bahan struktur yang paling efisien untuk jembatan.

Jembatan di Desa Curahmalang yang sudah dibangun sejak tahun 1929 dan memiliki bentang sepanjang 55 meter (Dinas PU. BMBA Kabupaten Jember). Jembatan yang sudah berdiri lebih dari 80 tahun ini memiliki peran yang krusial bagi masyarakat sekitar dan telah dilakukan pemeliharaan pada tahun 1994. Pada tahun terakhir ini Jembatan Curahmalang dilaksanakan pemeliharaan kembali serta dilakukan perombakan total guna pelebaran struktur jembatan. Hal ini tidak lain karena peningkatan laju transportasi bagi masyarakat sekitar untuk meningkatkan dan memperlancar perekonomian membutuhkan jembatan yang kokoh, aman dan nyaman digunakan. Sehingga, perlu adanya tambahan referensi mengenai perencanaan struktur jembatan dengan kekakuan lentur, torsi, dan kekakuan konstruksi yang tinggi, serta pekerjaan konstruksi yang cepat. *Box*

Girder adalah salah satu konstruksi jembatan itu dengan pelaksanaan beton pratekannya menggunakan *Post-Tension*.

Box girder memiliki nilai efisiensi struktural tinggi yang dapat meminimalkan kekuatan prestressing yang diperlukan untuk menahan momen lentur yang diberikan. Jembatan ini mudah dalam pemeliharaan dan dari bentuknya yang seperti *box* memberikan nilai lebih pada estetika. Perencanaan kembali pada Jembatan di Desa Curahmalang ini menggunakan beton prategang dengan bentuk *Box Girder* berupa trapezium sebagai pembentuk struktur atas. Keutamaan dari *box-girder* adalah memiliki momen inersia yang tinggi dalam kombinasi dengan berat sendiri yang relatif ringan karena adanya rongga di tengah penampang. David Collings, 2005 menyatakan bahwa Beton kotak lebih baik dalam menerima beban yang terjadi pada sambungan, efek melengkung, dan distorsi yang mempengaruhi bagian yang berlapis baja tipis, seringkali diafragma tidak diperlukan, sehingga lebih sederhana untuk dibangun.

Dengan perencanaan jembatan baru ini diharapkan mampu menjadi referensi bagi pemerintah maupun perencana dalam pembangunan jembatan yang baru lainnya. Dari jembatan ini bisa dijadikan prioritas karena memiliki kekuatan dan efektifitas dalam menerima beban hidup yang bergerak di atas jembatan.

1.2 Rumusan Masalah

Latar belakang di atas menjadi kerangka acuan sehingga ditemukan rumusan masalah yaitu : Bagaimana merencanakan jembatan Curahmalang Jember dengan *box girder* pratekan?

1.3 Tujuan

Tujuan dari perencanaan ini adalah merencanakan kembali struktur atas Jembatan Curahmalang Jember menggunakan *Box Girder* pratekan sebagai penampang struktur utamanya.

1.4 Manfaat

1. Bagi Penulis

Dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai dunia ketekniksipilan khususnya di bidang struktur

2. Bagi Pemerintah dan Masyarakat

Dengan perencanaan ini diharapkan bisa dijadikan sebagai referensi pembuatan desain struktur jembatan yang memiliki kuat tekan maupun kuat Tarik yang besar pada perkembangan pembangunan jembatan selanjutnya.

1.5 Batasan Masalah

Perencanaan ini memiliki masalah yang cukup luas, sehingga agar perencanaan ini lebih lancar dan lebih terarah diperlukan Batasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak merencanakan perkerasan jalan
2. Tidak mendesain jalan pendekat jembatan
3. Tidak memperhitungkan analisis biaya konstruksi dan waktu
4. Tidak merencanakan struktur bawah jembatan
5. Literatur yang digunakan sebagai acuan perencanaan jembatan ini antara lain:
 - a. Kriteria Desain Jembatan Standar 2017 yang merupakan Revisi terhadap Kriteria Desain Jembatan pada Surat Edaran Direktur Jendral Bina Marga Nomor Um.01.03-Db/242 Tahun 2008
 - b. Peraturan Pembebanan untuk Jembatan (RSNI T-02-2005 dan SNI 1725-2016)
 - c. Peraturan Perencanaan Beton untuk Jembatan (Revisi SNI T-12-2004)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan adalah bagian jalan yang berfungsi untuk menghubungkan antara dua wilayah atau 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 karena membantu mobilitas manusia untuk menjalankan aktifitas. Akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagi tiap orang, seperti menghubungkan jalan lokal, propinsi, nasional. Sehingga disain jembatan sendiri menyesuaikan dengan kebutuhan yang diinginkan.

Jembatan menurut bentangnya dibagi menjadi (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.

2.2 Beton prategang

Definisi beton pratekan menurut RSNI T – 12 – 2004 (pasal 3.16) yaitu beton bertulang yang diberi tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja.

Beton prategang merupakan penerapan gaya pratekan pada balok sedemikian rupa sebelum dikerjakan beban luar, guna meniadakan tegangan tarik serat beton yang terjadi saat beban luar bekerja (Nasution, 2009). Gaya prategang (*longitudinal*) yaitu gaya tekan yang memberikan prategang pada penampang di sepanjang bentang suatu elemen struktur sebelum bekerjanya beban mati dan hidup transversal (Nawy, 2001)

2.2.1 Jenis-Jenis Penampang Jembatan Beton Prategang (Hardiwiyono, Soebandono, dan Hakim, 2013)

Beberapa jenis penampang jembatan beton prategang yakni :

a. Penampang I (*I-girder*)

Gelagar utama terdiri dari plat girder atau *rolled-I*, penampang I efektif menahan beban tekuk dan geser.

b. Penampang kotak maupun trapesium (*box girder*)

Gelagar utama terdiri dari satu atau beberapa balok kotak berongga dari beton, sehingga mampu menahan lendutan, geser dan torsi secara efektif. Pada perencanaan kali ini menggunakan *box girder* bentuk trapesium berongga. Menurut Karthika dan Prof. P Asha (2016), *box girder* trapesium ini memiliki struktur yang paling kaku dan paling stabil dibanding *box girder* bentuk yang lain, meskipun paling kaku Pragma dan Dr. Bokare (2017), menyatakan bahwa kebutuhan beton dan tulangan dari *box girder* trapesium ini lebih sedikit sehingga biaya yang dibutuhkan lebih sedikit pada penggunaan *box girder* bentuk trapesium.

c. Penampang U (*U-girder*)

Gelagar utama terdiri dari satu atau beberapa balok berpenampang U dan akan diperkuat baja-baja prategang di dalamnya.

2.2.2 Penarikan Tendon (Baja Prategang) (Hardiwiyono, Soebandono, dan Hakim, 2013)

Penarikan baja prategang dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

a. Pratarik (*Pre-tensioning*)

Pratarik yaitu penarikan baja dilakukan sebelum pengecoran beton. Pada sistem penarikan awal (*pre tensioning*), untuk mempercepat proses penarikan tendon dilepaskan pada saat beton mencapai 60% – 80% kekuatan yang disyaratkan yaitu pada umur 28 hari.

b. Paskatarik (*Post-tensioning*)

Paskatarik yaitu kebalikan dari sistem pratarik dimana penarikan baja dilakukan setelah beton mengeras. Bila kekuatan beton yang diperlukan telah tercapai, maka baja ditegangkan di ujung-ujungnya dan dijangkar.

2.2.3 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 dengan gaya prategang (T.Y Lin, 1996).

$$F = T = \frac{M_T}{0,65 \cdot h} \dots (2.1)$$

Keterangan :

M_T = Momen Total

h = tinggi balok

2.2.4 Tahap – Tahap Pembebanan

Salah satu pertimbangan istimewa pada beton prategang adalah banyaknya tahapan pembebanan saat komponen struktur dibebani. Tahapan pembebanan tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. Tahap Awal.

Batang atau struktur diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Sebelum diberi gaya prategang, beton cukup lemah dalam memikul beban, oleh karena itu harus dicegah agar tidak terjadi kehancuran pada perlekatan. Pada saat diberi gaya prategang, ini merupakan percobaan kritis dari kekuatan tendon. Pada saat peralihan gaya prategang. Untuk komponen-komponen pratarik, peralihan gaya prategang dilakukan sekaligus dan dalam waktu yang singkat. Untuk komponen-komponen struktur Pasca-tarik, peralihan seringkali secara bertahap, gaya prategang pada tendon-tendon dialihkan ke beton satu-persatu.

b. Tahap Antara (*Intermediate*)

Tahap antara (*Intermediate*) adalah tahapan selama pengangkatan dan pengangkutan dan pada saat penambahan beban-beban mati.

c. Tahap Akhir

Tahap akhir adalah tahapan beban kerja yang sesungguhnya bekerja pada struktur. Setelah beton prategang digunakan atau difungsikan sebagai komponen struktur, maka mulailah masuk ke tahap *service* atau tahap layan dari beton prategang

tersebut. Pada tahap ini beban luar seperti *live load*, angin, gempa, dan lain-lain mulai harus bekerja. Semua beban itu akan bekerja Terbagi Rata (BTR) yang tergabung dengan Beban Garis (BGT) dan pada tahap ini semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan di dalam analisa strukturnya.

2.2.5 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain (T.Y Lin, 1996):

a. Perpendekan elastis beton

Pertama-tama tinjaulah hanya perpendekan beton searah sumbu yang diakibatkan oleh prategang, kita mendapat:

$$ES = \frac{nF_i}{A_t} \dots (2.2)$$

b. Rangkak.

Rangkak dianggap terjadi dengan beban mati permanen yang ditambahkan pada komponen struktur setelah beton diberi gaya beton prategang. Kehilangan gaya prategang akibat rangkak untuk komponen struktur dengan tendon terekat dihitung dari persamaan berikut :

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds}) \dots (2.3a)$$

Keterangan :

$K_{cr} = 2,0$ untuk komponen struktur pratarik

$K_{cr} = 1,6$ untuk komponen struktur pasca-tarik

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

E_s = modulus elastisitas tendon prategang

E_c = modulus elastisitas beton umur 28 hari, yang bersesuaian dengan f'_c

Kehilangan prategang pada tendon yang tidak terekat dihubungkan dengan regangan komponen struktur rata-rata dan bukan regangan pada titik momen maksimum. Jadi:

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} f_{cpa} \dots (2.3b)$$

f_{cpa} = Tegangan tekan rata-rata pada beton sepanjang komponen struktur pada titik berat beton

c. Susut.

Kehilangan gaya prategang akibat susut adalah hasil susut relatif, ϵ_{sh} , dan modulus elastisitas dari baja prategang. Diketahui rumus susut relative sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\epsilon_{sh} &= 550 \times 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (1,5 - 0,015 RH) \dots (2.4a) \\ &= 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH)\end{aligned}$$

Keterangan:

RH = Kelembaban Relatif

Satu-satunya factor lain yang terdapat pada persamaan kehilangan gaya prategang akibat susut adalah koefisien K_{sh} yang menggambarkan fakta bahwa komponen struktur pasca-tarik akan lebih menguntungkan akibat susut yang terjadi sebelum penarikan sistem prategang. Nilai 1,0 untuk balok pratarik. Untuk balok pasca-tarik bisa diambil dari tabel berikut:

Tabel 2.1 Nilai K_{sh} untuk komponen struktur pasca-tarik

Jangka waktu setelah perawatan basa sampai pada penerapan prategang, hari:	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{sh}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

(Sumber : Buku Desain Struktur Beton Prategang , Edisi III, T.Y Lin Ned dan H. Burns)

Perhitungan susut yang direncanakan pada komponen pasca-tarik dapat dihitung dengan rumus:

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{sh} E_s \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH) \dots (2.4b)$$

d. Relaksasi tendon.

Besarnya pengurangan tergantung pada lamanya waktu dan perbandingan f_{pi}/f_{py} . Kehilangan gaya prategang ini disebut relaksasi. Dengan selang waktu saat penarikan t_1 pada pelataran kerja dan waktu t pada saat kita ingin memperkirakan gaya yang tertinggal, dapat dituliskan persamaan berikut:

$$\frac{f_p}{f_{pi}} = 1 - \left(\frac{\log t - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \dots (2.5a)$$

Dimana $\log t$ merupakan bilangan dasar 10 dan f_{pi}/f_{py} lebih dari 0,55.

Besarnya kehilangan tegangan pada baja akibat relaksasi baja prategang dapat dihitung dengan rumus:

$$RE = [K_{re} - J(SH + CR + ES)] C \dots (2.5b)$$

Keterangan :

RE = kehilangan tegangan akibat relaksasi baja prategang

K_{re} = Koefisien relaksasi

J = Faktor waktu

C = Faktor relaksasi yang besarnya tergantung pada jenis tendon

SH = Kehilangan tegangan akibat susut

CR = Kehilangan tegangan akibat rangkai

ES = Kehilangan tegangan akibat perpendekan elastis beton

Tabel 2.2 Nilai K_{re} dan J

Tipe-tipe tendon	K_{re} (MPa)	J
Kawat atau <i>stress-relieved strand</i> 1860 MPa	138	0,15
Kawat atau <i>stress-relieved strand</i> mutu 1720 MPa	128	0,14
Kawat <i>stress-relieved</i> mutu 1655 atau 1620 MPa	121	0,13
<i>Strand</i> relaksasi rendah mutu 1860 MPa	35	0,04
Kawat relaksasi rendah mutu 1720 MPa	32	0,037
Kawat relaksasi rendah mutu 1655 atau 1620 MPa	30	0,035
Batang <i>stress-relieved</i> mutu 1000 atau 1100	41	0,05

(Sumber : Buku Desain Struktur Beton Prategang , Edisi III, T.Y Lin Ned dan H. Burns)

Tabel 2.3 Nilai C

fsi/fpu	Kawat atau <i>strand</i> <i>stress-relieved</i>	Kawat atau <i>strand</i> relaksasi rendah atau batang <i>stress relieved</i>
0,8		1,28
0,79		1,22
0,78		1,16
0,77		1,11
0,76		1,05
0,75	1,45	1,00
0,74	1,36	0,95
0,73	1,27	0,90
0,72	1,18	0,85
0,71	1,09	0,8
0,7	1,00	0,75
0,69	0,94	0,70
0,68	0,89	0,66
0,67	0,83	0,61
0,66	0,78	0,57
0,65	0,73	0,53
0,64	0,68	0,49
0,63	0,63	0,45
0,62	0,58	0,41
0,61	0,53	0,37
0,6	0,49	0,33

(Sumber : Buku Desain Struktur Beton Prategang , Edisi III, T.Y Lin Ned dan H. Burns)

e. Friksi

Kehilangan ini terjadi akibat gesekan antara tendon dengan bahan sekitarnya (selubung tendon). Kehilangan ini langsung dapat diatasi dari penarikan tendon pada jack. Kehilangan prategang terjadi pada komponen struktur pascatarik (*post tension*) yang dipengaruhi oleh besarnya sudut kelengkungan tendon.

Kehilangan prategang akibat gesekan dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$P_s = P_o e^{-\mu(\alpha + KL)} \dots (2.6)$$

Keterangan :

K = koefisien *wobble*

P_o = Prategang awal

μ = koefisien kelengkungan

α = sudut kelengkungan tendon

Tabel 2.4 Koefisien *wobble* dan kelengkungan

Jenis Tendon	Koefisien <i>wobble</i> K tiap meter	Koefisien kelengkungan, μ
Tendon di selubung logam fleksibel		
Tendon kawat	0,0033-0,0049	0,15-0,25
Strand dengan untaian		
7 kawat	0,0016-0,0066	0,15-0,25
Batang baja mutu tinggi	0,0003-0,0020	0,08-0,3
Tendo di saluran logam yang rigid		
Strand dengan untaian		
7 kawat	0,0007	0,15-0,25
Tendon yang dilapisi mastic		
Tendon kawat dan	0,0010-0,0066	0,05-0,15
Strand dengan untaian		
7 kawat		
Tendon yang dilumasi dahulu		
Tendon kawat dan	0,0033-0,0066	0,05-0,15
Strand dengan untaian		
7 kawat		

(Sumber : Buku Desain Struktur Beton Prategang , Edisi III, T.Y Lin Ned dan H. Burns)

2.3 Tendon

Baja mutu-tinggi merupakan bahan yang umum untuk menghasilkan gaya prategang dan mensuplai gaya tarik pada beton prategang. Baja mutu-tinggi untuk sistem prategang biasanya merupakan salah satu dari ketiga bentuk kawat (*wire*), untaian kawat (*strand*), batang (*bar*). Untuk sistem pasca-tarik, banyak dipakai kawat, yang digabungkan secara paralel menjadi kabel. *Strand* dibuat dari pabrik dengan memuntir beberapa kawat bersama-sama, jadi mengurangi jumlah satuan yang harus dikerjakan pada operasi penarikan. *Strand*, seperti juga batang baja mutu-tinggi, digunakan pula pada sistem pasca-tarik.

2.3.1 Kawat Baja (*Wire*)

Kawat untuk sistem prategang umumnya disesuaikan dengan Spesifikasi ASTM A-421 untuk “*Uncoated Stress Relieved*”. Kawat-kawat disuplai dalam bentuk gulungan atau *coil*. Ini adalah tabel spesifikasi kawat ASTM A-421 :

Tabel 2.5 Sifat-Sifat Kawat yang “*Uncoated Stress Relieved*” (ASTM A-421)

Diameter Nominal Mm	Kekuatan Tarik Minimum MPa		Tegangan Minimum pada Pemuaian 1% MPa	
	Jenis BA ^b	Jenis WA	Jenis BA ^b	Jenis WA
4,88	a	1725	a	1380
4,98	1655	1725	1325	1380
6,35	1655	1655	1325	1325
7,01	a	1622	a	1295

(Sumber : Buku Desain Struktur Beton Prategang , Edisi III, T.Y Lin Ned dan H. Burns)



Gambar 2.1 Kawat Baja (*Wire*)

(Sumber : F.H. Prihantoro, 2014)

2.3.2 Untaian Kawat (*Strand*) Baja

Untaian kawat (*strand*) untuk sistem prategang umumnya disesuaikan dengan Spesifikasi ASTM A-416 untuk “*Uncoated Seven-wire Stress-Relieved for Prestressed Concrete*”. Yang biasa digunakan dari tujuh kawat untuk sistem menurut sistem ASTM-416 memiliki kekuatan batas 1720 MPa atau 1860 MPa. Berikut tabelnya:

Tabel 2.6 Sifat-Sifat *Strand Relieved* dengan Tujuh Kawat
Tanpa Pelapisan (ASTM-416)

Diameter Nominal (mm)	Kekuatan Putus (kN)	Luas Nominal <i>Strand</i> (mm ²)	Beban Minimum Pada Pemuaian 1% (kN)
Derajat 1720 MPa			
6,35	40,0	23,22	34,0
7,49	64,5	37,42	54,7
9,53	89,0	51,61	75,6
11,11	120,1	69,68	102,3
12,70	160,1	92,90	136,2
15,24	240,2	139,35	204,2
Derajat 1860			
9,53	102,3	54,84	87,0
11,11	137,9	74,19	117,2
12,70	183,7	98,71	156,1
15,24	260,7	140,00	221,5

(Sumber : Buku Desain Struktur Beton Prategang , Edisi III, T.Y Lin Ned dan H. Burns)

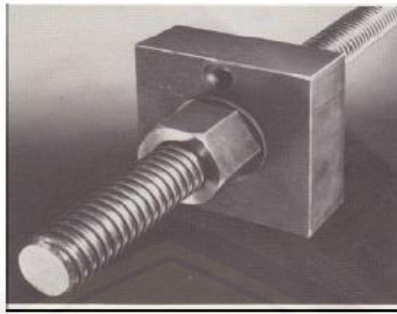


Gambar 2.2 Untaian Kawat (*Strand*) Baja

(Sumber : F.H. Prihantoro, 2014)

2.3.3 Batang Baja (*Bar*)

Spesifikasi ASTM A-322 dan A-29 sring digunakan untu campuran batang baja (bar-steel) mutu-tinggi. Biasanya disyaratkan bahwa semua batang baja dicoba ditegangkan sampai 90% kekuatan batas (*Ultimate Strength*) yang ditentukan.



Gambar 2.3 Baja Batangan (*Bar*)

(Sumber : F.H. Prihantoro, 2014)

2.3.4 Grouting

Grouting dibutuhkan sebagai bahan pengisi selubung baja prategang (tendon) untuk metode pasca tarik. Untuk metode pratarik tidak dibutuhkan selubung sehingga tidak dibutuhkan *grouting*. Selubung terbuat dari logam yang digalvanisir. Bahan *grouting* berupa pasta semen.

2.4 Precast Segmental Box Girder

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).

2.5 Box Girder

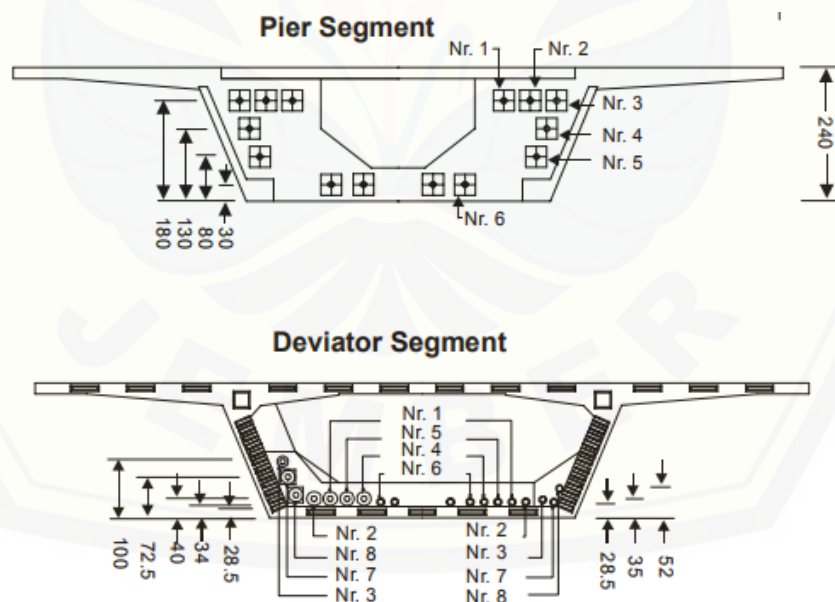
Box girder bridge adalah jembatan dengan struktur utama berupa box / kotak yang berlubang. Dibandingkan dengan balok I, *box girder* memiliki keunggulan yaitu (Ma, Tadros, dan Sun 2004) :

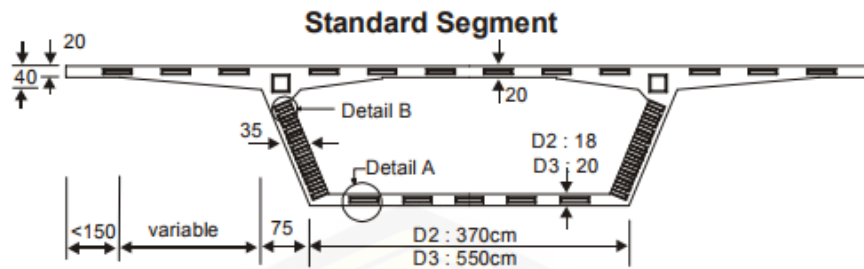
1. lebih kuat menahan torsi.
2. Dimensi box yang lebih besar bisa dibuat, karena dimensi sayap yang lebih lebar dapat menahan berat sendiri lebih besar.

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.

Jembatan segmental seharusnya dibangun seperti struktur 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):

- a. *Pier Segment* : Bagian ini terletak tepat diatas abutment.
- b. *Deviator segment* : Bagian ini dibutuhkan untuk pengaturan deviasi tendon.
- c. *Standard segment* : Dimensi standard *box girder* yang digunakan.

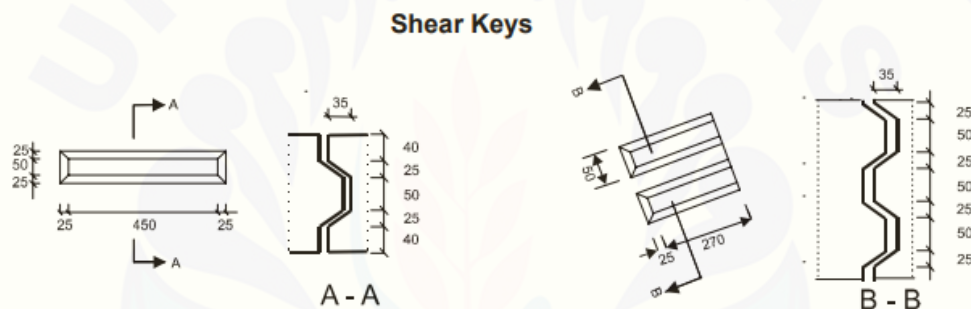


Gambar 2.4 Tipe Segmen *Box Girder*

(Sumber : Jurnal Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002)

2.5.1 Desain Elemen Sambungan

Sambungan pada jembatan segmental telah dirancang sesuai dengan rekomendasi AASHTO. (Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002)

Gambar 2.5 Detail sambungan pada *segmental box girder*

(Sumber : Jurnal Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002)

2.6 Beban Rencana pada Struktur Jembatan

Pada perencanaan jembatan kali ini pembeban jembatan berpedoman pada SNI-1725-2016. Beban-beban akan dibagi sebagai berikut:

2.6.1 Beban mati

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g).

Tabel 2.7 Berat Isi untuk Beban Mati

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

(Sumber : SNI-1725-2016)

a. Berat sendiri (M_S)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor Beban untuk Beban Sendiri

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

(Sumber : SNI-1725-2016)

b. Beban mati tambahan/utilitas (*MA*)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

2.6.2 Beban Hidup

a. Beban Lalu Lintas

1) Beban Lajur “D” (*TD*)

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.6. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

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

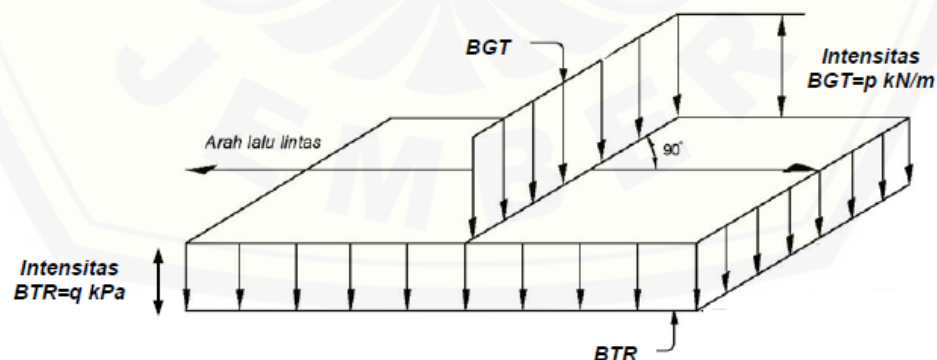
(Sumber : SNI-1725-2016)

a) Intensitas Beban “D”

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

$$q = 9.0 \text{ KN/m}^2, (L \leq 30 \text{ meter})$$

$$q = 9.0 (0.5 + 15/L), (L > 30 \text{ meter})$$



Gambar 2.6 Beban Lajur “D”

(Sumber : SNI-175-2016)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

2) **Beban truk "T" (TT)**

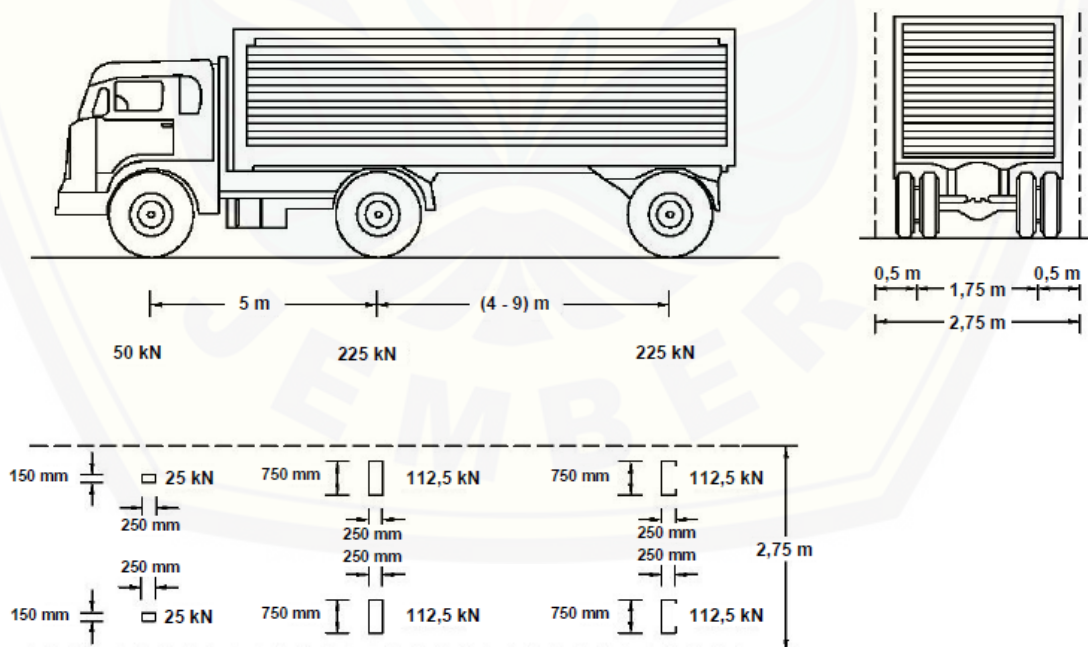
Selain beban "D", terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban "D". Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban "T" seperti terlihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Faktor Beban untuk Beban "T"

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

(Sumber : SNI 1725-2016)

a) **Besarnya Pembebanan Truck**



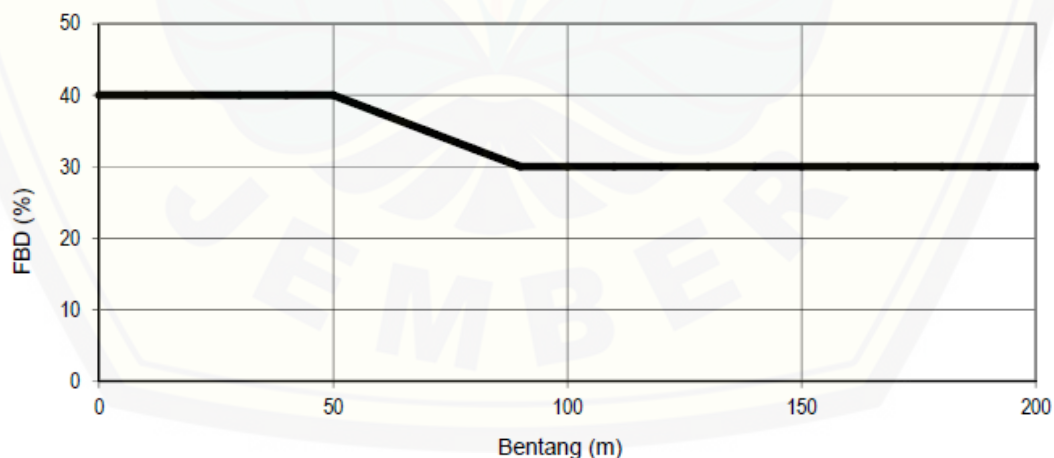
Gambar 2.7 Pembebanan Truck "T" (500 kN)

(Sumber : SNI-1725-2016)

3) Faktor Beban Dinamis

Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen. Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD.

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



Gambar 2.8 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur "D"

(Sumber : SNI-1725-2016)

a) Komponen yang terkubur

Faktor beban dinamis dalam persen untuk gorong-gorong dan struktur yang terkubur lainnya harus diambil sebagai berikut:

$$FBD = 33 \times (300 - 0,125 DE) \geq 0\% 30) \dots (2.7)$$

Keterangan :

DE = kedalaman timbunan minimum di atas struktur (mm)

4) Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

5) Faktor Pejalan Kaki (SNI 1725-2016 pasal 8.9)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa

2.6.3 Aksi Lingkungan

a. Beban Air (SNI 1725-2016 pasal 9.4)

Gaya seret nominal ultimit dan daya layan pada pilar akibat aliran air tergantung pada kecepatan air rata-rata sesuai dengan Persamaan seperti berikut :

$$T_{EF} = 0.5 C_D (V_s)^2 A_d \rightarrow kN \dots (2.8)$$

Keterangan :

- T_{EF} : Gaya seret (kN)
- V_s : Kecepatan air rata-rata berdasarkan pengukuran di lapangan (m/det)
- C_D = Koefisien seret
- A_d = Luas proyeksi pilar \perp arah aliran air dengan tinggi sama dengan kedalaman aliran (m²)

b. Beban Angin (SNI 1725-2016 Pasal 9.6)

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

$$V_{DZ} = 2,5V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right) \dots (2.9a)$$

Keterangan :

- V_{DZ} : Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z, (km/jam)
- V_{10} : Kecepatan angina pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)
- V_B : Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm
- Z : elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)
- V_o : kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 3.2, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- Z_o : panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 3.2 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

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

Tabel 2.11 Nilai V_o dan Z_o untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

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

(Sumber : SNI 1725-2016)

Kemudian dicari beban angin dengan rumus:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots (2.9b)$$

Keterangan :

P_B adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.12 (MPa)

Tabel 2.12 : Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Atas		
Rangka, Kolom, dan Pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

(Sumber: SNI 1725-2016)

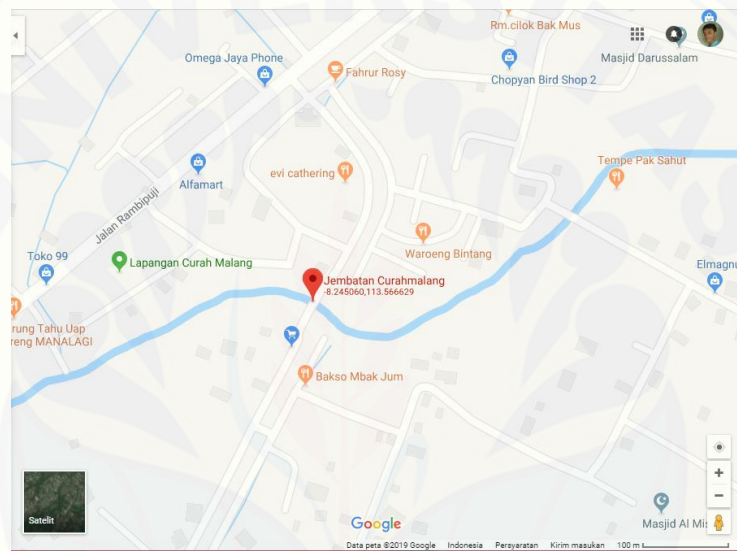
Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

BAB III

METODOLOGI

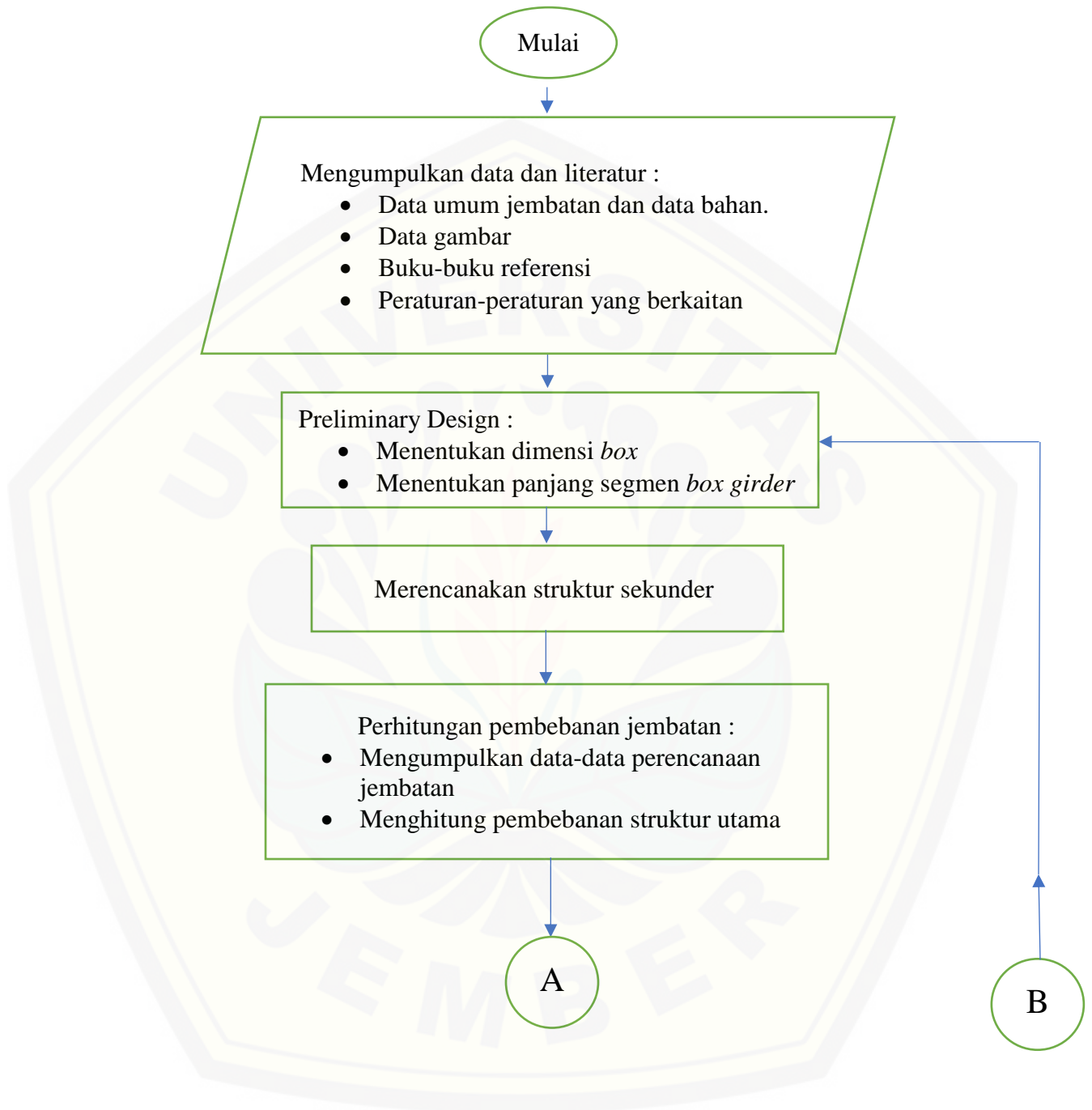
3.1 Lokasi Penelitian

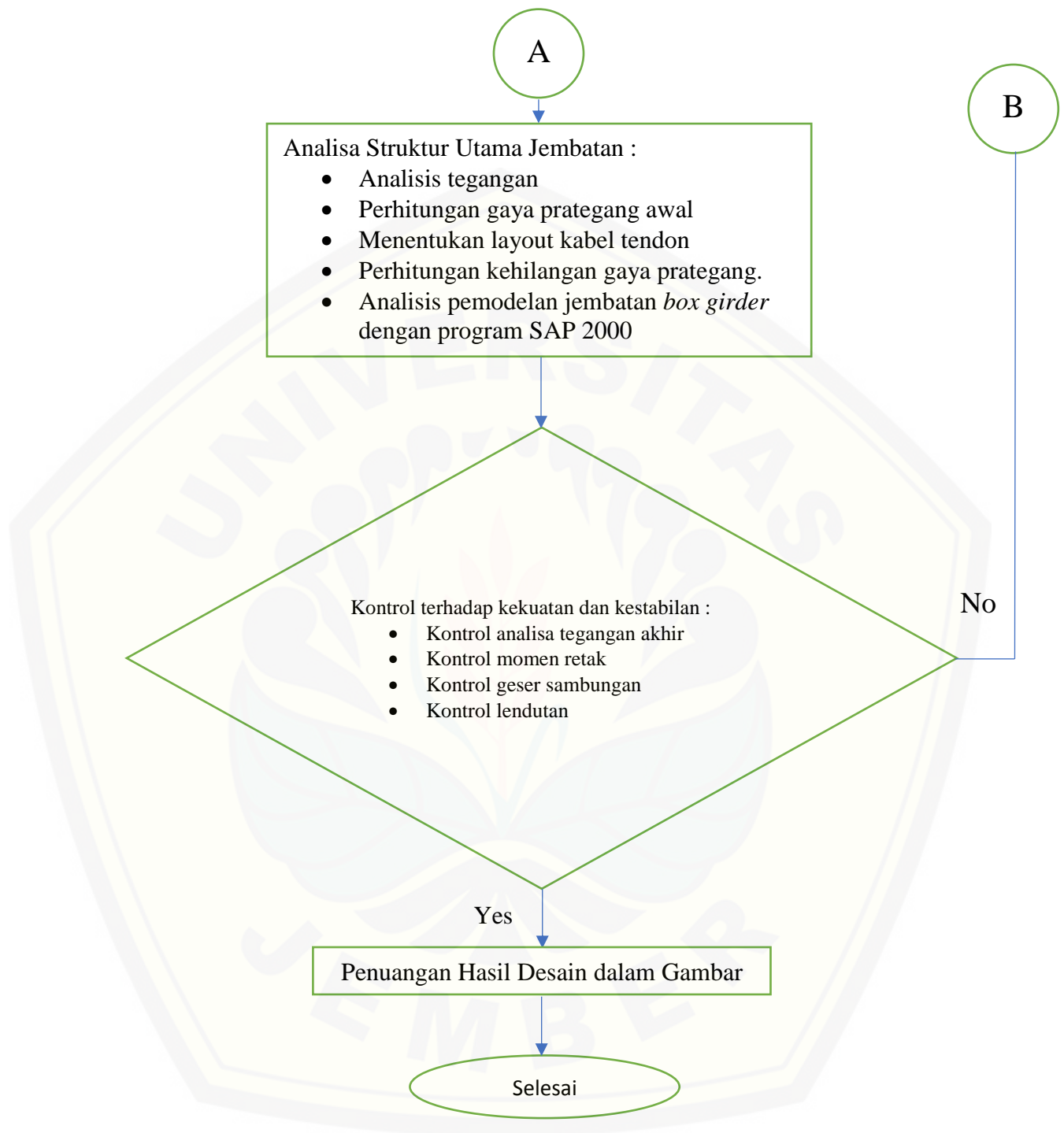
Lokasi penelitian berada di atas Kali Bedadung yang menghubungkan Kecamatan Rambipuji dengan Kecamatan Balung dengan titik koordinat $8^{\circ}14'42.2''$ LS $113^{\circ}33'59.9''$ BT, tepatnya di Desa Curahmalang Kecamatan Rambipuji Kabupaten Jember.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

3.2 Diagram Alir





Gambar 3.2 Flowchart Perencanaan Struktur Jembatan

3.3 Pengumpulan Data dan Literatur

Data-data perencanaan diperoleh dinas Pekerjaan Umum Tingkat Kota, Kota Palu, Sulawesi Tengah. Jembatan Palu 4 Surabaya ini dimodifikasi ulang dengan memakai *box girder* pratekan dengan bentang menerus (statis tak tentu). Adapun data-data yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Panjang jembatan : 55 m, terdiri dari satu bentang
2. Lebar jembatan : 8,75 m
3. Lebar rencana jalan : 7 m.
4. Lantai kendaraan beton bertulang : 2 lajur 2 arah @ 3.5 m
5. Lebar trotoar : 2 x 0,875 m
6. Gelagar utama : *Box girder*

3.4 Preliminary Desain

- 1) Tafsiran Tinggi *box girder*

Untuk menentukan tinggi balok (h), digunakan rumus :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{30}$$

- 2) Ketebalan Minimum *Web Box Girder*

- 300 mm jika terdapat saluran untuk penempatan *post tensioning tendons* di badan box.
- 350 mm jika terdapat angker tendon yang ditempatkan di badan box.

- 3) Ketebalan Minimum *Top Flange Box Girder*

- Untuk lebar antar badan box < 3m → $t_f = 175$ mm
- Untuk lebar antar badan box antara 3 - 4,5m → $t_f = 200$ mm
- Untuk lebar antar badan box antara 4,5 – 7,5 m → $t_f = 250$ mm

- 4) Ketebalan Minimum *Bottom Flange Box Girder*

Pada jembatan yang telah ada sebelumnya menggunakan ketebalan minimum kurang lebih 125mm.

3.5 Perhitungan Gaya Prategang

3.5.1 Tegangan Ijin

a. Tegangan Ijin Beton pada Kondisi Beban Sementara

- 1) Tegangan Ijin Tekan : $\sigma_{te} < 0,60 f_{ci}$ (RSNI T-12-2004 (4.4.1.2.2))
- 2) Tegangan Ijin Tarik : $\sigma_{ta} < 0,25 f_{ci}$ (RSNI T-12-2004 (4.4.1.2.4))

b. Tegangan Ijin Beton setelah Kehilangan Gaya Prategang

- 1) Tegangan Ijin Tekan : $\sigma_{te} = 0,45 \sqrt{f_c}$ (RSNI T-12-2004 (4.4.1.2.1))
- 2) Tegangan Ijin Tarik : $\sigma_{ta} = 0,50 \sqrt{f_c}$ (RSNI T-12-2004 (4.4.1.2.3))

c. Perhitungan Gaya Prategang

$$1) f_{o \text{ tarik}} = \frac{P_o}{A} - \frac{P_o e y}{I_x} + \frac{M}{I_x} \dots (3.1a)$$

$$2) f_{o \text{ tekan}} = \frac{P_o}{A} + \frac{P_o e y}{I_x} - \frac{M}{I_x} \dots (3.1b)$$

3.6 Pembebanan pada Struktur Utama Jembatan

Pembebanan yang diterapkan mengacu kepada muatan atau aksi lain (beban perpindahan dan pengaruh lainnya) yang timbul pada suatu jembatan berdasarkan acuan RSNI T-02-2005. Beban-beban yang bekerja antara lain sebagai berikut :

a. Beban Lajur "D" (TD) (SNI 1725-2016 pasal 8.3)

1) Beban Terbagi Rata (BTR = q)

Besarnya beban tersebar merata q adalah :

$$q = 9.0 \text{ KN/m}^2, (L \leq 30 \text{ meter})$$

$$q = 9.0 (0.5 + 15/L), (L > 30 \text{ meter})$$

2) Beban Garis (BGT= P)

Besarnya intensitas "P" sebesar 49 KN/m

b. Beban Lajur "T" (TT) [SNI 1725-2016 pasal 8.4]

Beban truck "T" ditunjukkan dengan kendaraan berat 3 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu – lintas rencana. Faktor beban "T" seperti terlihat pada tabel 2.10.

c. Faktor Pejalan Kaki (SNI 1725-2016 pasal 8.9)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa

d. Beban Air (SNI 1725-2016 pasal 9.4)

Gaya seret nominal ultimit dan daya layan pada pilar akibat aliran air tergantung pada kecepatan air rata-rata.

e. Beban Angin (SNI 1725-2016 Pasal 9.6)

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} . Kemudian dicari beban angin dengan rumus 2.9b.

3.7 Perhitungan Kontrol Struktur Jembatan

Untuk mengetahui perencanaan suatu jembatan dinyatakan layak atau tidak untuk digunakan perlu dilakukan kontrol sebelum pengoprasian jembatan tersebut. Beberapa kontrol yang harus diperhitungkan antara lain:

3.7.1 Kontrol Analisis Tegangan Akhir

Syarat tegangan akhir dari jembatan beton *Box Girder* pratekan ini diatur dalam RSNI T-12-2004. Dalam catatannya control tegangan akhir dilihat dari hasil perhitungan tegangan tidak boleh melebihi dari tegangan ijin seperti yang tertulis dalam rumus pada sub-bab 3.4.1.

3.7.2 Kontrol Momen Retak

Kekuatan batas nominal lentur, M_n , pada penampang kritis tidak boleh kurang dari 1,2 kali momen retak M_{cr} yang besarnya:

$$M_{cr} = f_r S_b + P_e \left(e + \frac{r^2}{c_b} \right) \dots (3.2)$$

Perhatikan nilai r^2/c_b adalah nilai kern atas k_t kemudian $f_r S_b$ adalah momen tambahan yang diperlukan untuk menimbulkan retak pertama di serat tarik ekstrim akibat kelebihan beban.

3.7.3 Kontrol Geser Sambungan

Perencanaan penampang akibat geser harus didasarkan pada :

$$Vu < \phi Vn \dots (3.3a)$$

di mana Vu adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau, dan Vn adalah kuat geser nominal yang dihitung dari:

$$Vn = Vc + Vs \dots (3.3b)$$

Vc adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, dan Vs adalah kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser.

Dalam menentukan kuat geser, harus dipenuhi:

- a. Untuk kuat geser Vn , harus memperhitungkan pengaruh setiap bukaan pada komponen struktur.
- b. Untuk kuat geser Vc di mana berlaku pengaruh regangan aksial tarik yang disebabkan oleh rangkai dan susut pada komponen struktur yang terkekang, maka harus diperhitungkan pengaruh tarik tersebut pada pengurangan kuat geser.

3.7.4 Kontrol Lendutan

- a. Lendutan balok dan pelat akibat beban layan harus dikontrol sebagai berikut :
 - 1) Geometrik dari penampang harus direncanakan untuk melawan lendutan akibat pengaruh tetap sehingga sisa lendutan (positif atau negatif) masih dalam batas yang dapat diterima.
 - 2) Agar lendutan tidak mengganggu tampak dari struktur, lendutan akibat pengaruh tetap yang diberikan pada Peraturan Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya harus sedemikian sehingga pada bagian tengah bentang tidak melebihi $1/300$ bentang dan tidak terjadi lendutan.
 - 3) Lendutan akibat beban rencana untuk daya layan pada Peraturan Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya tidak melampaui $1/250$ bentang.
 - 4) Lendutan akibat beban hidup layan termasuk kejut harus dalam batas yang sesuai dengan struktur dan kegunaannya. Kecuali dilakukan penyelidikan lebih lanjut, dan tidak melampaui $L/800$ untuk bentang dan $L/400$ untuk kantilever.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Perencanaan Jembatan Curahmalang ini menggunakan *box girder* prategang sebagai struktur utama dengan kedalaman struktur yang konstan. Gaya prategang yang direncanakan berdasarkan hitungan sebesar 70000 kN. Kemudian gaya prategang tersebut mengalami kehilangan akibat Perpendekan Elastis (ES), Rangkak Beton (CR), Susut (SH), dan Relaksasi Baja (RE) dengan total kehilangan sebanyak 11,581 %. Tegangan yang terjadi pada jembatan dilakukan kontrol berurutan sesuai dengan SNI T-12-2004 yaitu berupa kontrol tegangan yang sesuai dengan syarat tegangan saat transfer yaitu tekan <23,4 MPa dan tarik <1,561 MPa. Kemudian dilakukan kembali kontrol tegangan akibat dari kombinasi pembebanan beban mati ditambah beban hidup dari kendaraan yang sesuai dengan syarat yaitu tekan <27 MPa dan tarik <3,8729 MPa.

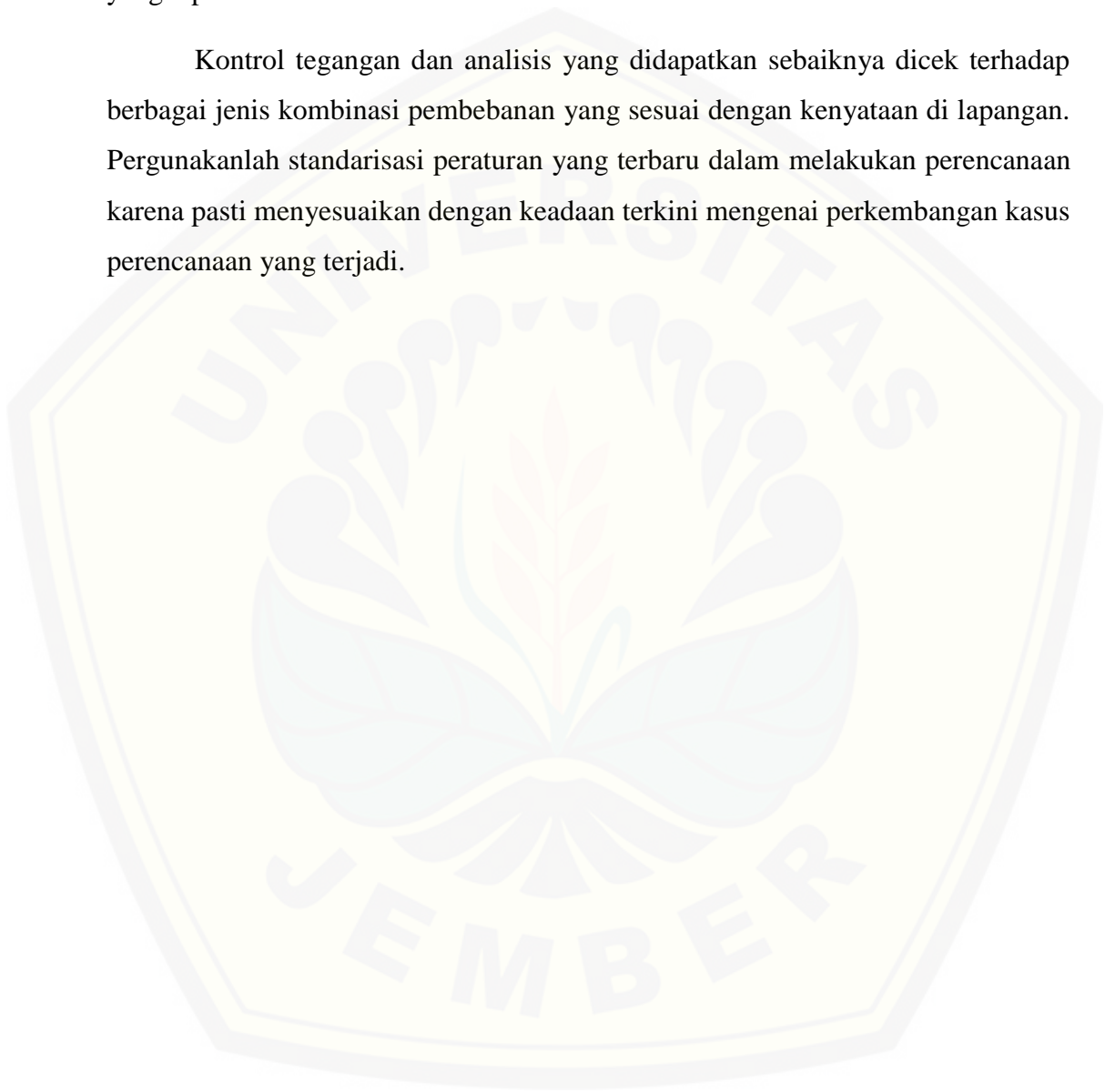
Pada kontrol kestabilan, perhitungan kontrol momen retak (M_{cr}) dikontrol dengan $M_n \geq 1,2M_{cr}$. Hasil dari perhitungan didapatkan M_n sebesar 152834,924 dan $1,2 M_{cr}$ sebesar 133490,5595. Dari hasil perhitungan tersebut kontrol momen retak dianggap sudah memenuhi.

Selanjutnya untuk lendutan pada jembatan bentang sederhana atau menerus akibat beban kendaraan adalah sebesar $L/250$. Dalam hal ini diketahui syarat lendutan sebesar 220 mm. Lalu pada saat layan dihitung lendutan yang terjadi sebesar 69,704 mm sedangkan melalui hasil analisis SAP200 didapatkan lendutan sebesar 73,34 mm maka lendutan dinyatakan telah memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dengan validasi perbandingan sebesar 4,96%.

5.2 Saran

Dalam melakukan setiap perhitungan sebaiknya dilakukan dengan lebih teliti terutama pada bagian perubahan satuan. Sehingga didapatkan perhitungan yang tepat.

Kontrol tegangan dan analisis yang didapatkan sebaiknya dicek terhadap berbagai jenis kombinasi pembebanan yang sesuai dengan kenyataan di lapangan. Pergunakanlah standarisasi peraturan yang terbaru dalam melakukan perencanaan karena pasti menyesuaikan dengan keadaan terkini mengenai perkembangan kasus perencanaan yang terjadi.



DAFTAR PUSTAKA

- Benaim, Robert. 2008. *The Design of Concrete Prestressed Concrete Bridges*. New York: Taylor and Francis Group
- Collings, David. 2005. *Steel-Concrete Composite Bridges*. London : Thomas Telford Ltd.
- Djuwadi. 2010. *Bahan Ajar Rekayasa Pondasi Jembatan II*. Bandung : Politeknik Negeri Bandung
- Dwi, Andhika. “Jembatan Mrican Penghubung antara Kota-Kabupaten Kediri Ambruk”. <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-3435909/jembatan-mrican-penghubung-antara-kota-kabupaten-kediri-ambruk>. (diakses tanggal : 30 Mei 2017)
- Hardiwiyono, S., Soebandono, B., dan Hakim, L., 2013, Perancangan Ulang Struktur Atas Jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan Menggunakan *Box Girder*, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 1-20
- Hardiyatmo, Hary C. 2006. “Teknik Fondasi 1, cetakan ke - 3”. Yogyakarta: Beta Offset
- Lin, T.Y., dan N.H. Burn, 1996, *Desain Struktur Beton Prategang Jilid I Edisi III*. Diterjemahkan oleh: Daniel Indrawan: Erlangga.
- Lin, Wewei dan Teruhiko Yoda, *Bridge Engineering. Classifications, Design Loading, and Analysis Methods*, Oxford : Butterworth-Heinemann
- Ma, Z.J., Tadros, M.K., dan Sun, Chuanbing, 2004, *Presstressed Concrete Box Girders Made from Precast Concrete Unsymmetrical Sections*, *PCI Journal*, 80-90
- Naaman, Antonie E., 1982, *Prestressed Concrete Analysis and Design Fundamentals*, McGraw-Hill, New York.
- Nawy, Edward G. (2001), *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Jilid 1 dan 2* terjemahan Bambang Suryoatmono, Jakarta: Erlangga.
- Prihantoro, F.H. 2014. “Analisis Perilaku Girder Beton Prategang Berdasarkan Pelaksanaan Pemasangan Girder Jembatan”. *Skripsi*. Sarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Podolny, Walter dan Jean M. Muller. 1982. *Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges*

- Rombach, G., 2002, Precast segmental box girder bridges with external prestressing, Design and Construction, 1-15
- RSNI T-02-2005. 2005. Standar Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- RSNI T-04-2004. 2002. Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- Santhos, Karthika dan Prof. P. Asha Farma, 2016, Parametric Study on Behaviour of Box Girder Bridges with Different Shape Based On Torsion, International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology, Volume 4 Issue VIII: 347-351
- SNI 1725-2016. 2016. Standar Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- Soni, Pragya dan Dr. P.S. Borake, 2017, Parametric Comparison of Rectangular and Trapezoidal Box Girder Bridge Deck System, International Research Journal of Engineering and Technology, Volume 4 Issue 9: 1288-1292
- Sosrodarsono, Suyono dan Kazuto Nakazawa. 1980. "Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, cetakan ke - 5". Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Zhang, G., Kodur, V., Xie, J., He, S., Hou, W., 2017, Behavior of prestressed concrete box bridge girders Under hydrocarbon fire condition, Procedia Engineering, 1-7

Lampiran



Tampak Jembatan dari Arah Ambulu ke Balung



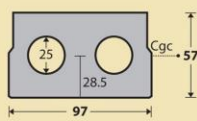
Tampak Jembatan dari Arah Balung ke Ambulu



Tampak Jembatan dari Arah Samping

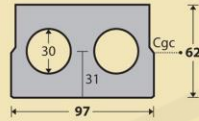
JEMBER

GIRDER SHAPE & DIMENSION | PC - VOIDED SLAB



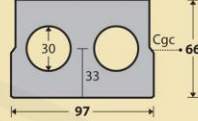
PCVS-57/97

Area : 4,397 cm²
Inertia : 1,411,137 cm⁴



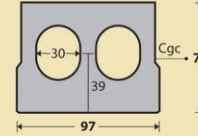
PCVS-62/97

Area : 4,420 cm²
Inertia : 1,785,519 cm⁴



PCVS-66/97

Area : 4,784 cm²
Inertia : 2,170,299 cm⁴



PCVS-74/97

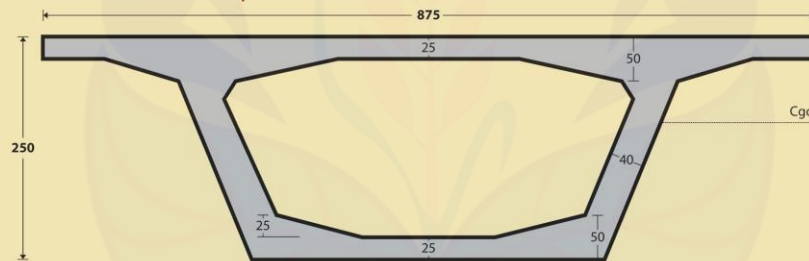
Area : 5,032 cm²
Inertia : 2,977,600 cm⁴

PRETENSION VOIDED SLAB SPECIFICATION

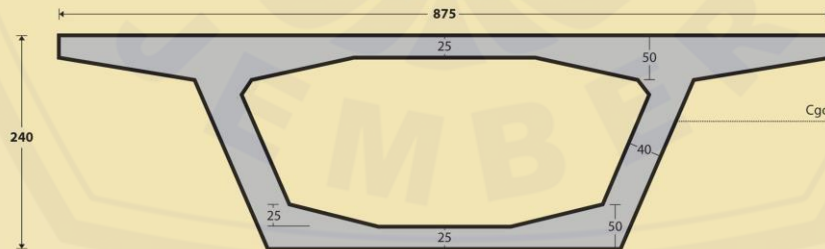
Span (m)	PCVS 57/97				PCVS 62/97				PCVS 66/97				PCVS 74/97			
	Beam Spacing / fc'		Beam Support Reaction (kN)		Beam Spacing / fc'		Beam Support Reaction (kN)		Beam Spacing / fc'		Beam Support Reaction (kN)		Beam Spacing / fc'		Beam Support Reaction (kN)	
	(cm / MPa)	V _{DL}	V _{LL}	Vult	(cm / MPa)	V _{DL}	V _{LL}	Vult	(cm / MPa)	V _{DL}	V _{LL}	Vult	(cm / MPa)	V _{DL}	V _{LL}	Vult
6	97 / 50	41	195	401	97 / 50	42	195	402	97 / 50	45	195	406	97 / 50	48	195	409
7	97 / 50	47	209	433	97 / 50	48	209	434	97 / 50	52	209	439	97 / 50	55	209	442
8	97 / 50	53	219	459	97 / 50	54	219	461	97 / 50	58	219	466	97 / 50	62	219	470
9	97 / 50	59	228	481	97 / 50	60	228	483	97 / 50	65	228	488	97 / 50	69	228	493
10	97 / 50	65	237	506	97 / 50	66	237	508	97 / 50	71	237	514	97 / 50	76	237	519
11	97 / 50	71	245	528	97 / 50	73	245	529	97 / 50	78	245	536	97 / 50	83	245	542
12					97 / 50	79	252	549	97 / 50	85	252	556	97 / 50	90	252	562
13									97 / 50	91	258	574	97 / 50	97	258	581
14													97 / 50	104	262	599
15													97 / 50	111	267	615
16													97 / 50	118	270	630

Note : Based on bridge load refer to RSNI T-02 2005 and assume bridge cross section parameter only 50mm asphaltic layer without over topping CIP Slab

SEGMENT SHAPE & DIMENSION | PC - BOX GIRDER



Area : 58,262 cm²
Inertia : 289,366,600 cm⁴



PC SEGMENTAL BOX GIRDER H-240

Area : 59,042 cm²
Inertia : 309,729,100 cm⁴

PC BOX GIRDER SPECIFICATION

TYPE	SEGMENT LENGTH	NO. LANE	CASTING METHOD	LAUNCHING METHOD
PC BOX GIRDER H-250	2.4 to 3.0 m	2 traffic lane with 7 meter width	Short Line Method	Balanced Cantilever or Span by Span
PC BOX GIRDER H-240	2.4 to 2.7 m			

1.3 - STRAND PROPERTIES 15mm (0.6")

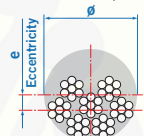
Strand type		prEN 10138 – 3 (2006) Y1860S7		ASTM A 416-06 Grade 270
Nominal diameter	d (mm)	15.3	15.7	15.24
Nominal cross section	A _p (mm ²)	140	150	140
Nominal mass	M (kg/m)	1.093	1.172	1.102
Nominal yield strength	f _{p0,1k} (MPa)	1636 ¹	1640 ¹	1676 ²
Nominal tensile strength	f _{pk} (MPa)	1860	1860	1860
Specif./min. breaking load	F _{pk} (kN)	260	279	260.7
Young's modulus	(GPa)	approx. 195		
Relaxation ³ after 1000 h at 20°C and 0.7 x F _{pk}	(%)	max. 2.5		

1) Characteristic value measured at 0.1% permanent extension

2) Minimum load at 1% extension for low-relaxation strand

3) Valid for relaxation class acc. to prEN 10138-3 or low-relaxation grade acc. to ASTM A 416-06

1.4 - TENDON PROPERTIES 15mm (0.6")

Unit	Strands numbers	Steel area			Breaking load			Corrugated steel duct ³ (recommended)		Corrugated plastic duct VSL PT-PLUS®		Steel pipes
		A _p acc. to prEN		ASTM	Y1860S7 (prEN)		Grade 270 (ASTM)	Ø _i / Ø _e	e	Ø _i / Ø _e	e	Ø ext. x t
		d=15.3 mm A _p =140 mm ²	d=15.7 mm A _p =150 mm ²	d=15.24 mm A _p =140 mm ²	d=15.3 mm A _p =140 mm ²	d=15.7 mm A _p =150 mm ²	d=15.24 mm A _p =140 mm ²	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
		[mm ²]	[mm ²]	[mm ²]	[kN]	[kN]	[kN]					
6-1	1	140	150	140	260	279	260.7	25/30	5	22/25	4	25.0 x 2.0
6-2	2	280	300	280	520	558	521	40/45	9	76/25 ⁴	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0
6-3	3	420	450	420	780	837	782	40/45	6	76/25 ⁴	-	42.4 x 2.0/2.5/3.0
6-4	4	560	600	560	1040	1116	1043	45/50 ⁵	7	76/25 ⁴	-	48.3 x 2.0/2.5/3.0
6-7	5	700	750	700	1300	1395	1304	50/57	8	58/63	13	76.1 x 2.0/2.5/3.0
	6	840	900	840	1560	1674	1564	55/62	9	58/63	11	
6-7	7	980	1050	980	1820	1953	1825	55/62	7	58/63	9	76.1 x 2.0/2.5/3.0
6-12	8	1120	1200	1120	2080	2232	2086	65/72	11	76/81	18	80.0 x 2.0/2.5
	9	1260	1350	1260	2340	2511	2346	65/72	9	76/81	16	
	10	1400	1500	1400	2600	2790	2607	70/77	11	76/81	15	
	11	1540	1650	1540	2860	3069	2868	70/77	9	76/81	13	
6-12	12	1680	1800	1680	3120	3348	3128	75/82	11	76/81	12	80.0 x 2.0/2.5
6-15	13	1820	1950	1820	3380	3627	3389	80/87	13	100/106	25	101.6 x 3.0/4.0/5.0
	14	1960	2100	1960	3640	3906	3650	80/87	11	100/106	24	
6-15	15	2100	2250	2100	3900	4185	3911	80/87	10	100/106	23	101.6 x 3.0/4.0/5.0
6-19	16	2240	2400	2240	4160	4464	4171	85/92	12	100/106	22	101.6 x 3.0/4.0/5.0
	17	2380	2550	2380	4420	4743	4432	85/92	11	100/106	20	
	18	2520	2700	2520	4680	5022	4693	90/97	13	100/106	19	
6-19	19	2660	2850	2660	4940	5301	4953	90/97	12	100/106	18	101.6 x 3.0/4.0/5.0
6-22	20	2800	3000	2800	5200	5580	5214	100/107	17	100/106	17	114.3 x 3.0/4.0/5.0
	21	2940	3150	2940	5460	5859	5475	100/107	16	100/106	16	
6-22	22	3080	3300	3080	5720	6138	5735	100/107	15	100/106	15	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-27	23	3220	3450	3220	5980	6417	5996	100/107	14	115/121	22	114.3 x 3.0/4.0/5.0
	24	3360	3600	3360	6240	6696	6257	100/107	13	115/121	22	
	25	3500	3750	3500	6500	6975	6518	110/117	18	115/121	21	
	26	3640	3900	3640	6760	7254	6778	110/117	17	115/121	21	
6-27	27	3780	4050	3780	7020	7533	7039	110/117	16	115/121	20	114.3 x 3.0/4.0/5.0
6-31	28	3920	4200	3920	7280	7812	7300	110/117	15	130/136	27	127.0 x 3.0/4.0/5.0
	29	4060	4350	4060	7540	8091	7560	120/127	21	130/136	27	
	30	4200	4500	4200	7800	8370	7821	120/127	20	130/136	26	
6-31	31	4340	4650	4340	8060	8649	8082	120/127	19	130/136	25	127.0 x 3.0/4.0/5.0
6-37	32	4480	4800	4480	8320	8928	8342	120/127	18	130/136	24	139.7 x 3.0/4.0
	33	4620	4950	4620	8580	9207	8603	120/127	17	130/136	23	
	34	4760	5100	4760	8840	9486	8864	120/127	16	130/136	22	
	35	4900	5250	4900	9100	9765	9125	130/137	22	130/136	22	
	36	5040	5400	5040	9360	10044	9385	130/137	21	130/136	21	
6-37	37	5180	5550	5180	9620	10323	9646	130/137	20	130/136	20	139.7 x 3.0/4.0
6-43	43	6020	6450	6020	11180	11997	11210	140/147	21	150/157	27	152.4 x 3.0/4.0/5.0
6-55	55	7700	8250	7700	14300	15345	14339	160/167	26	150/157	21	168.3 x 3.0/4.0

1) Flat ducts possible as well

2) Flat duct PT-PLUS® with rectangular slab anchorages, for PT-PLUS® see also under 3.1.3.

3) If flat ducts (steel or PT PLUS®) to be used with square type castings please contact your VSL representative. In plan view, tendons with slab type anchorages must be straight between anchorages or have only unidirectional turns with min. radii of > 6 m. Strands must always be pushed-in prior to concreting. Eccentricity e: negligible

4) Given values may slightly vary depending on local availability of ducts. They are minimal for most applications. For special cases (long tendons, many curvatures, small radii etc.) greater size duct is recommended – please verify with VSL. In any case the filling ratio (cross-section steel / duct) must not exceed 0.5 (EN523).

5) Please check with the nearest VSL office for the complete anchorage list.



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR

Dosen
Pembimbing

M. SHOFIE EL FAID
(141910301070)

DWI NURTANTO
S.T,M.T

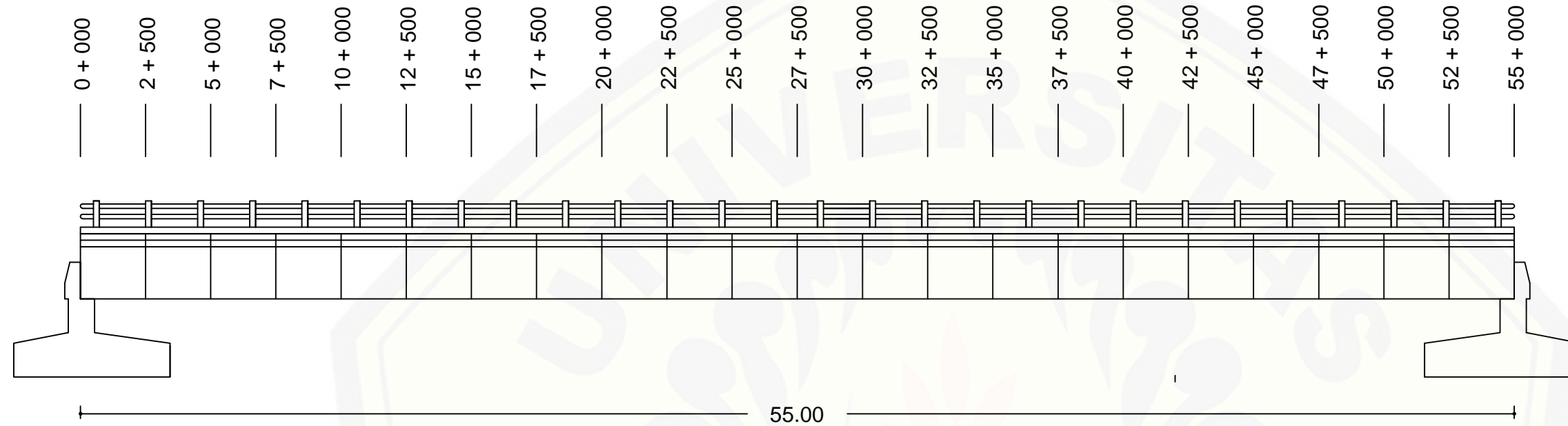
WINDA TRI W.
S.T,M.T

GAMBAR

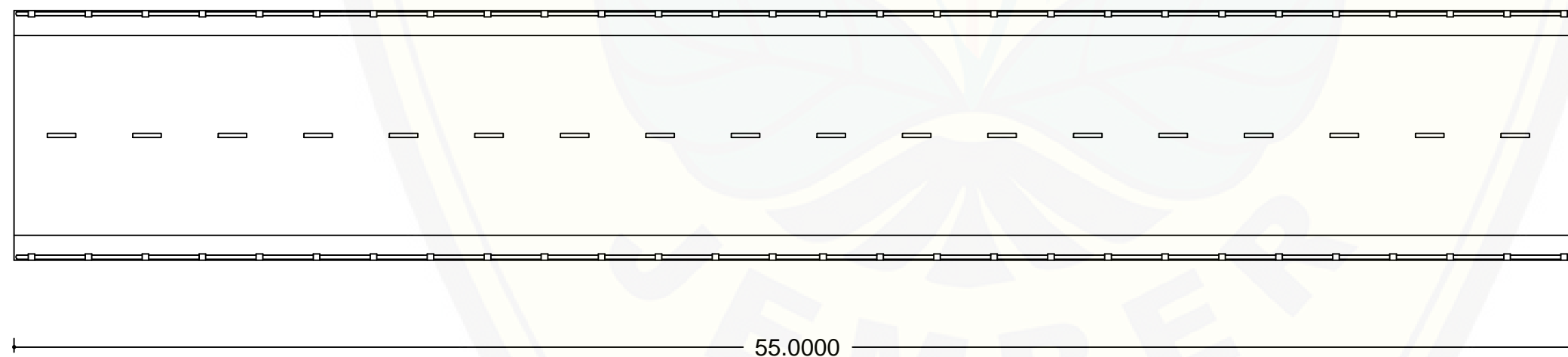
SKALA

1 : 200

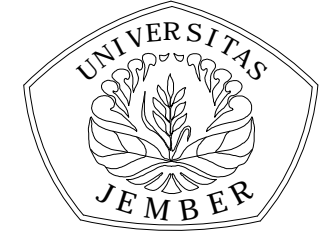
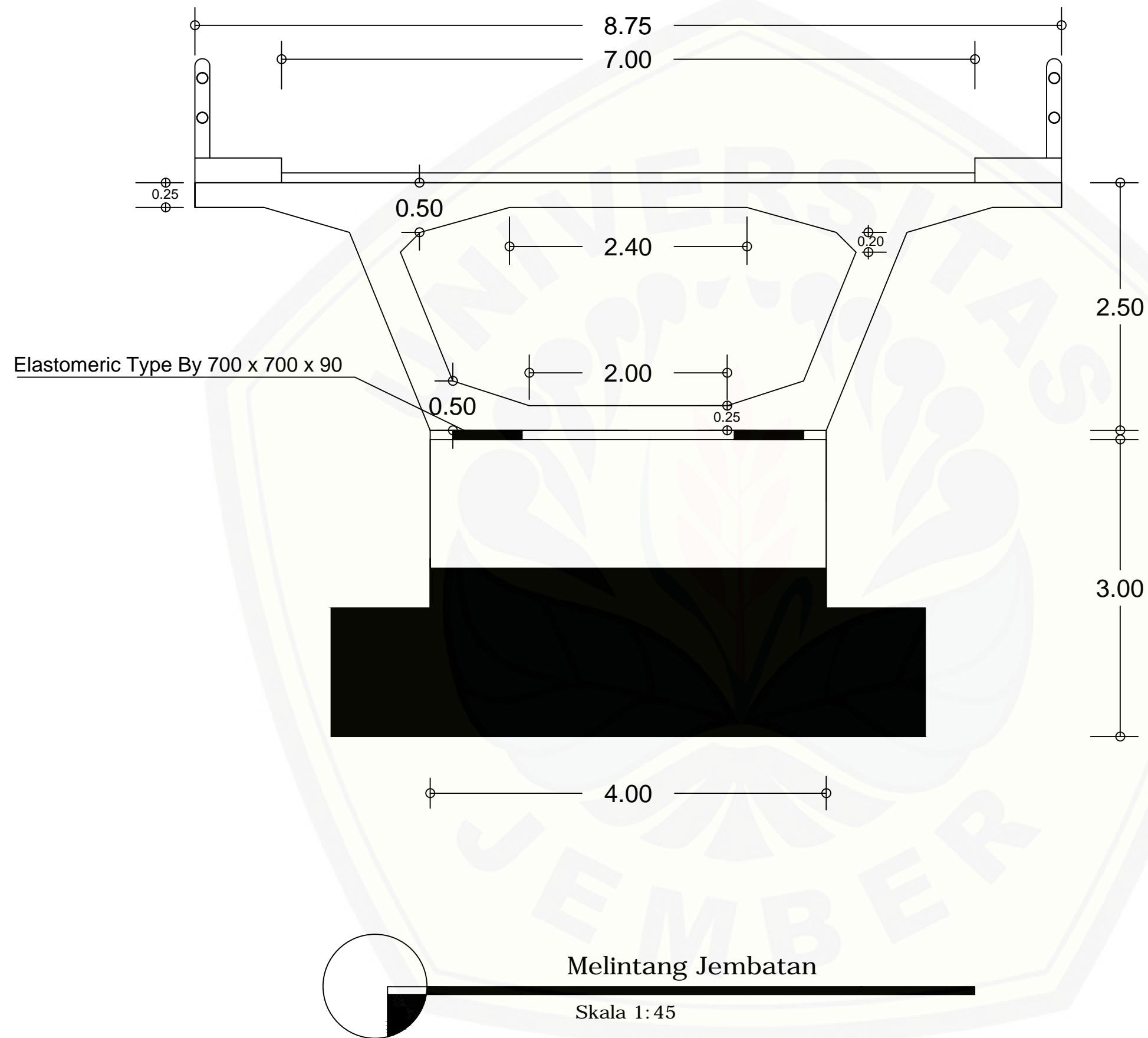
NOMOR LEMBAR :



Jembatan Arah Memanjang
Skala 1:200



Tampak Atas Jembatan
Skala 1:200



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

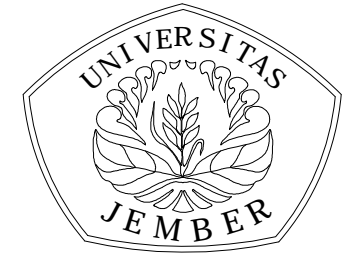
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR	Dosen Pembimbing
M. SHOFIE EL FAID (141910301070)	DWI NURTANTO S.T,M.T
	WINDA TRI W. S.T,M.T
GAMBAR	SKALA
	1 : 35

NOMOR LEMBAR :



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR

Dosen
Pembimbing

M. SHOFIE EL FAID
(141910301070)

DWI NURTANTO
S.T,M.T

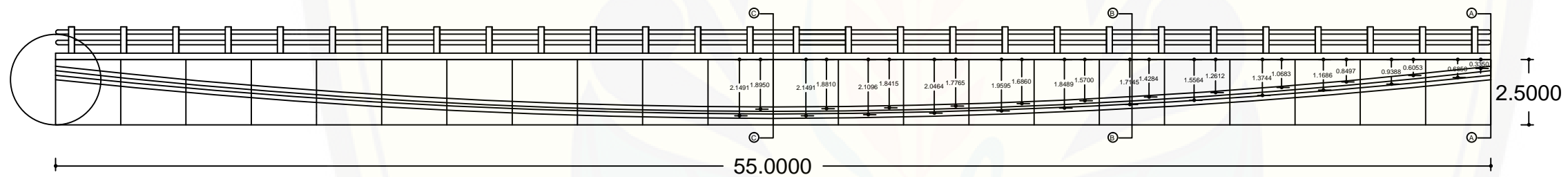
WINDA TRI W.
S.T,M.T

GAMBAR

SKALA

1 : 200

NOMOR LEMBAR :



Posisi Tendon Arah Memanjang
Skala 1:200



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR

Dosen
Pembimbing

M. SHOFIE EL FAID
(141910301070)

DWI NURTANTO
S.T,M.T

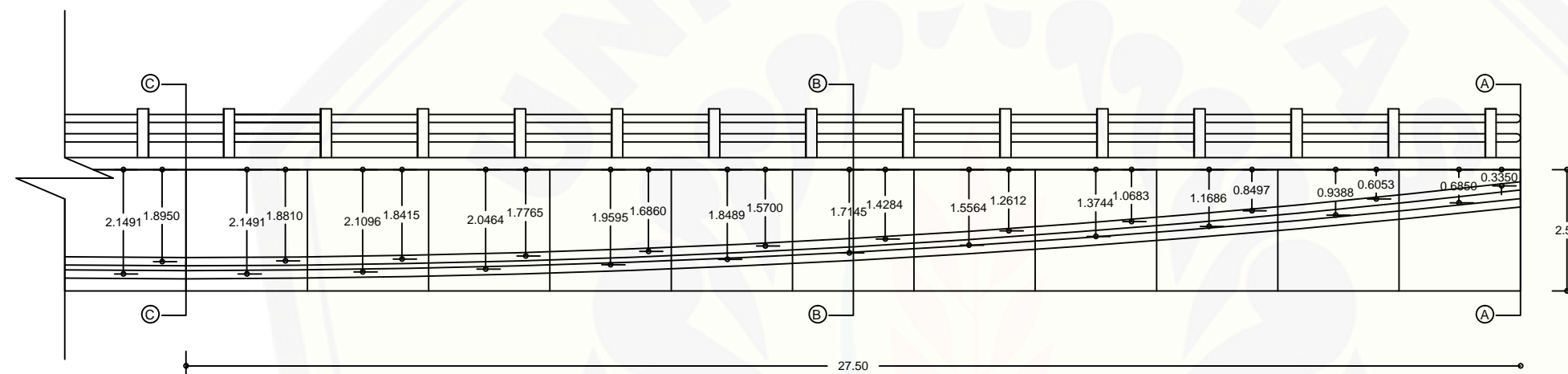
WINDA TRI W.
S.T,M.T

GAMBAR

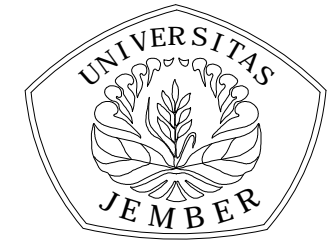
SKALA

1 : 125

NOMOR LEMBAR :



Posisi Tendon $\frac{1}{2}$ Bentang Arah Memanjang
Skala 1:125



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBRAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR	Dosen Pembimbing
----------	------------------

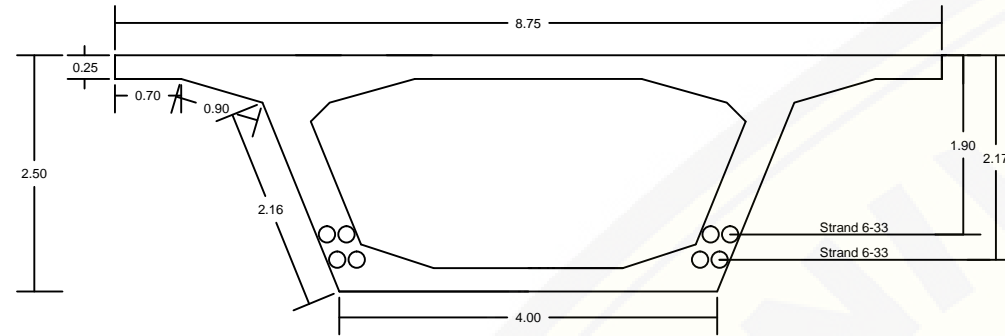
M. SHOFIE EL FAID (141910301070)	DWI NURTANTO S.T,M.T
-------------------------------------	-------------------------

M. SHOFIE EL FAID (141910301070)	WINDA TRI W. S.T,M.T
-------------------------------------	-------------------------

GAMBAR	SKALA
--------	-------

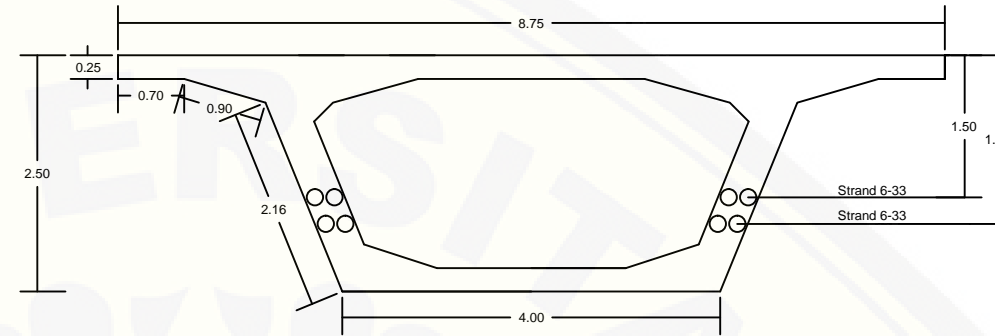
	1 : 80
--	--------

NOMOR LEMBAR :



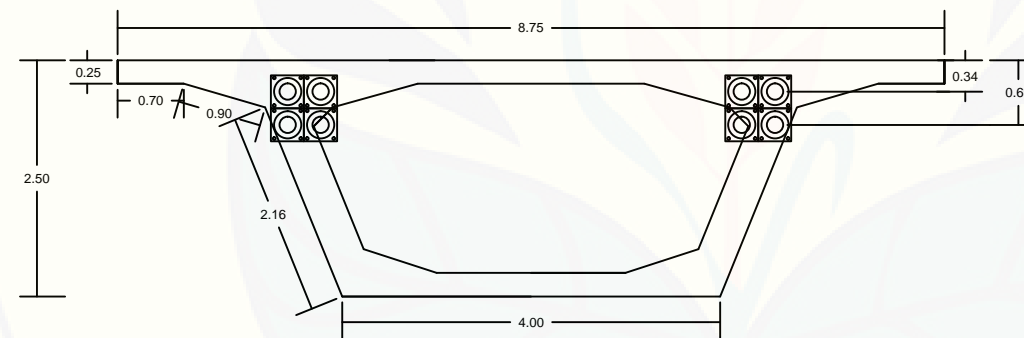
Tendon Potongan C-C

Skala 1:80



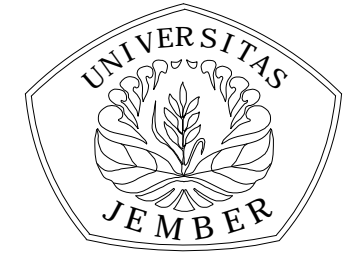
Tendon Potongan B-B

Skala 1:80



Tendon Potongan A-A

Skala 1:80



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR

Dosen
Pembimbing

M. SHOFIE EL FAID
(141910301070)

DWI NURTANTO
S.T,M.T

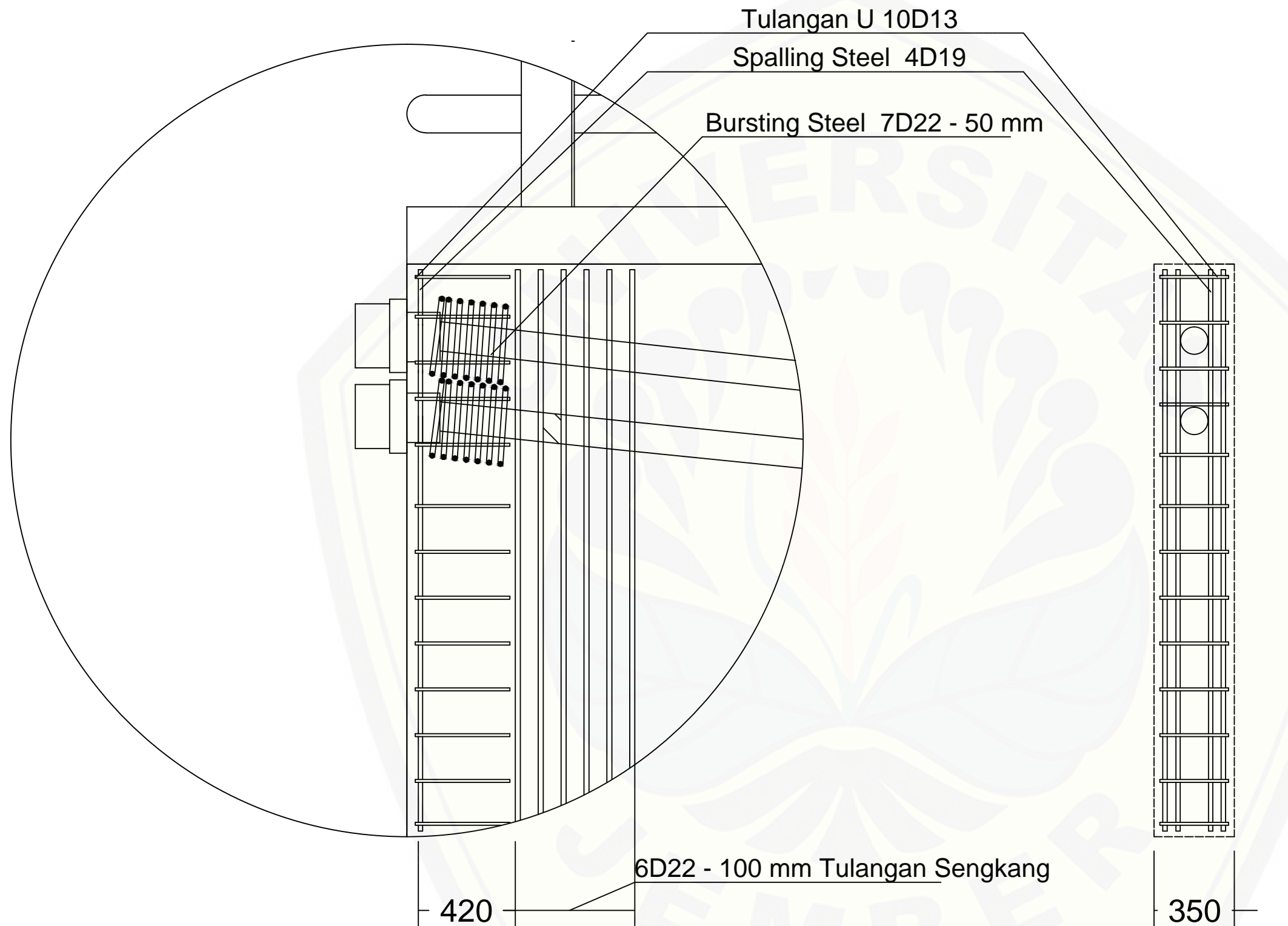
WINDA TRI W.
S.T,M.T

GAMBAR

SKALA

1 : 20

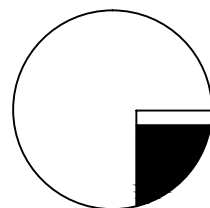
NOMOR LEMBAR :

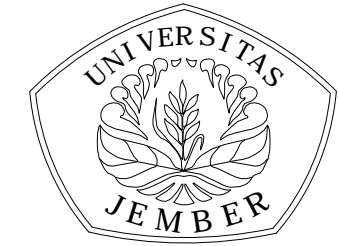


Detail Penulangan *End Block*

Tampak Muka

Skala 1:20





SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR

Dosen
Pembimbing

M. SHOFIE EL FAID
(141910301070)

DWI NURTANTO
S.T,M.T

WINDA TRI W.
S.T,M.T

GAMBAR

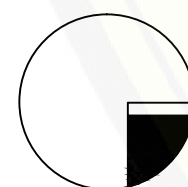
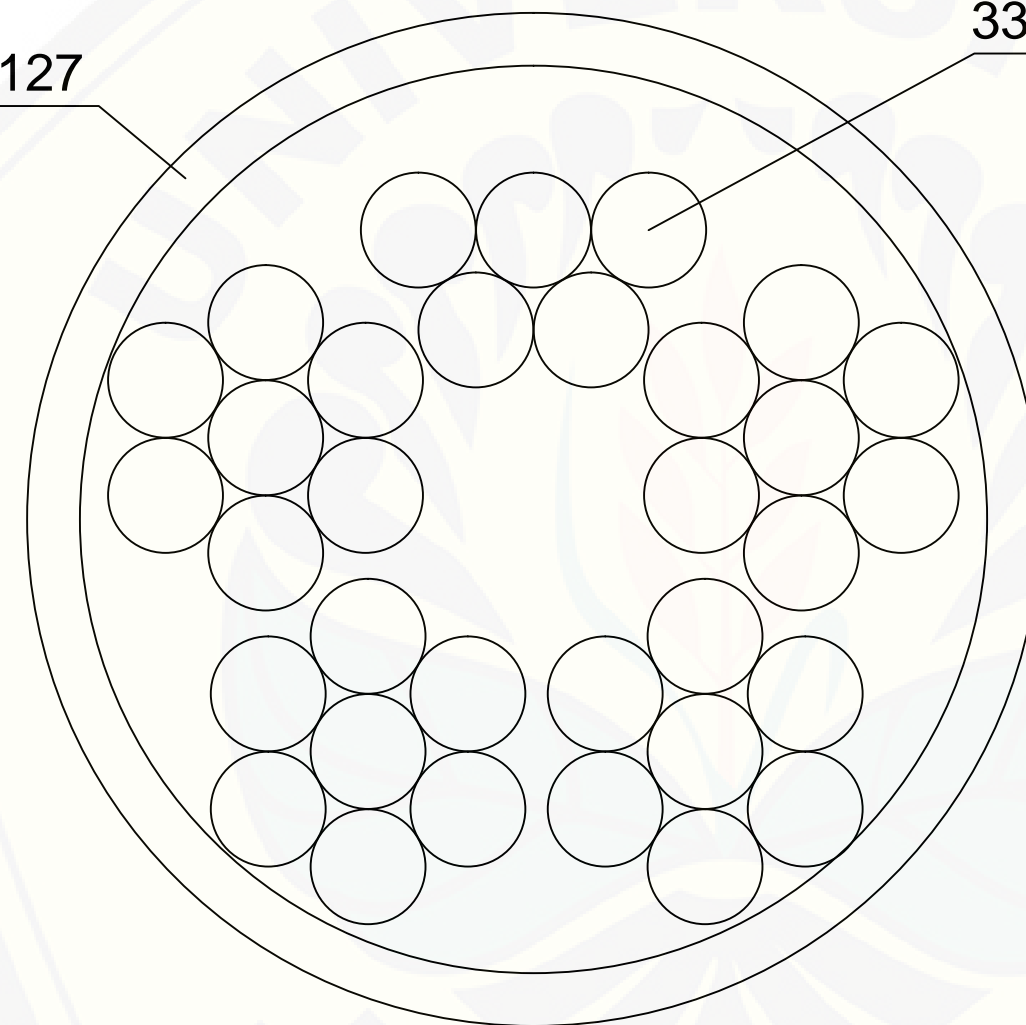
SKALA

1 : 1

NOMOR LEMBAR :

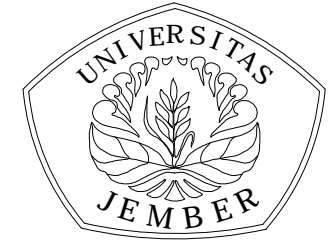
Steel duct 120/127

33 Strands 15,24mm



Detail Tendon

Skala 1:1



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR

Dosen
Pembimbing

M. SHOFIE EL FAID
(141910301070)

DWI NURTANTO
S.T,M.T

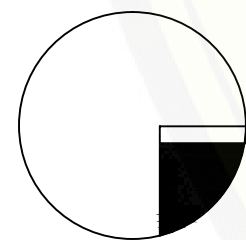
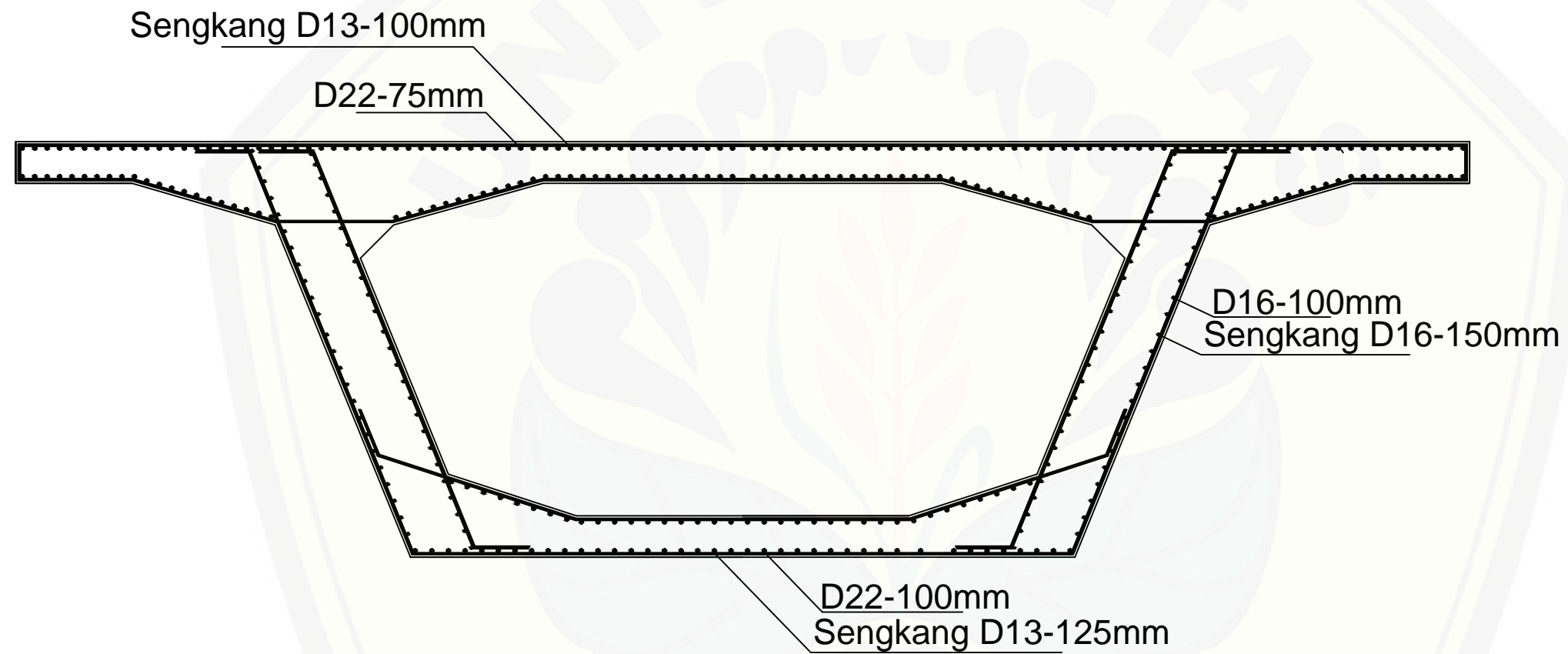
WINDA TRI W.
S.T,M.T

GAMBAR

SKALA

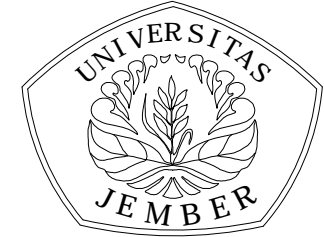
1 : 35

NOMOR LEMBAR :



Penulangan *Box Girder*

Skala 1:35



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR

Dosen
Pembimbing

M. SHOFIE EL FAID
(141910301070)

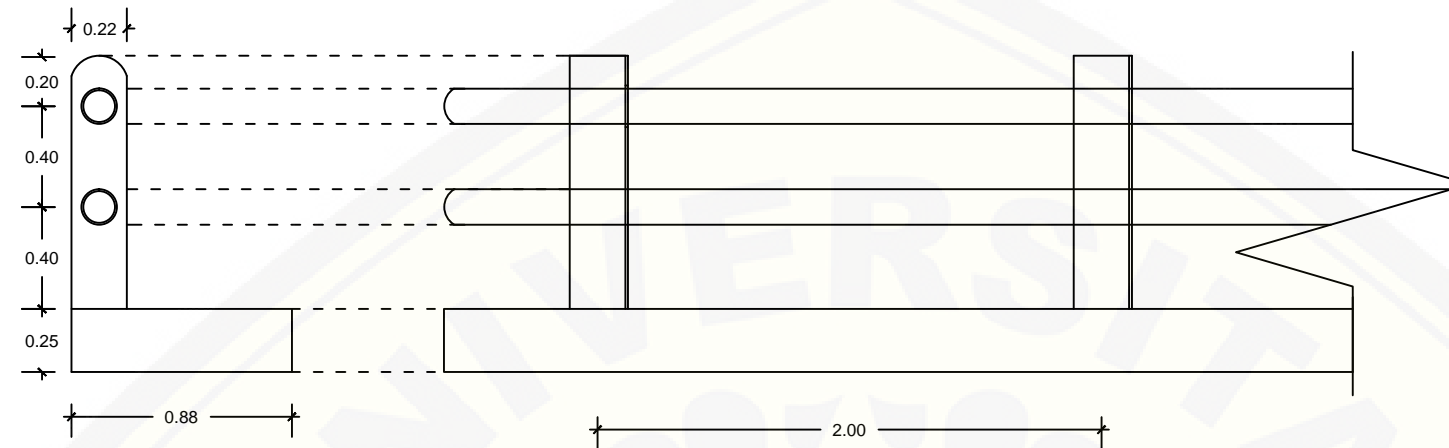
DWI NURTANTO
S.T,M.T

WINDA TRI W.
S.T,M.T

GAMBAR

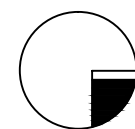
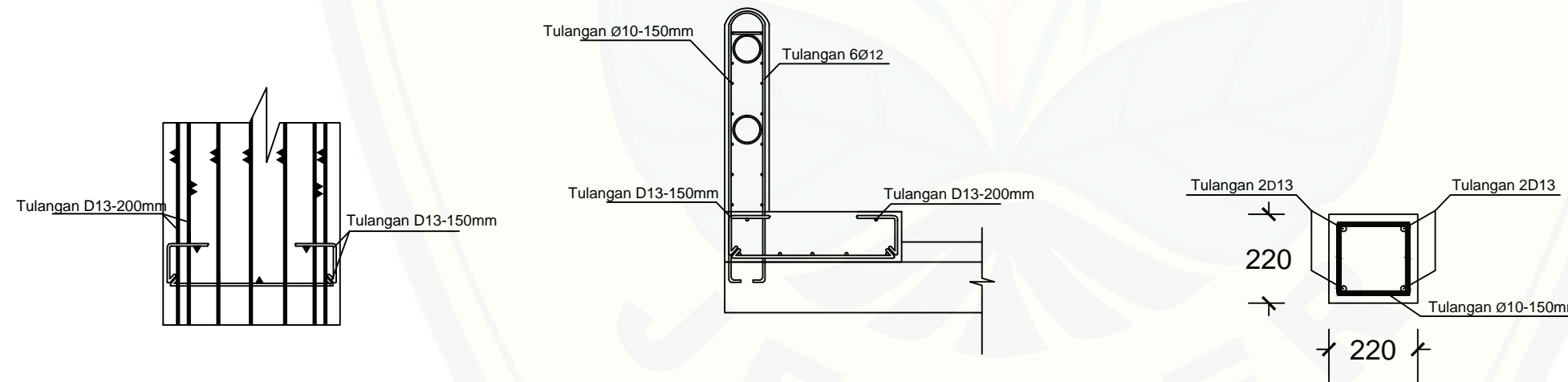
SKALA

NOMOR LEMBAR :



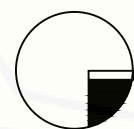
Tampak Melintang dan Memanjang Struktur Sekunder

Skala 1:30



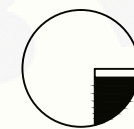
Penulangan Plat Lantai Trotoar

Skala 1:30



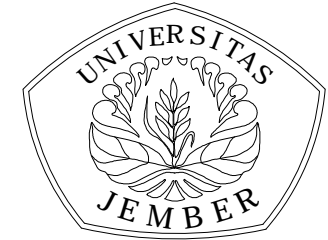
Penulangan Struktur Sekunder

Skala 1:30



Penulangan Tiang Sandaran

Skala 1:15



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR

Dosen
Pembimbing

M. SHOFIE EL FAID
(141910301070)

DWI NURTANTO
S.T,M.T

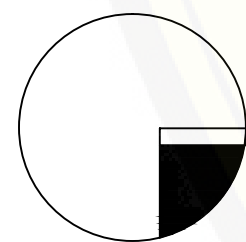
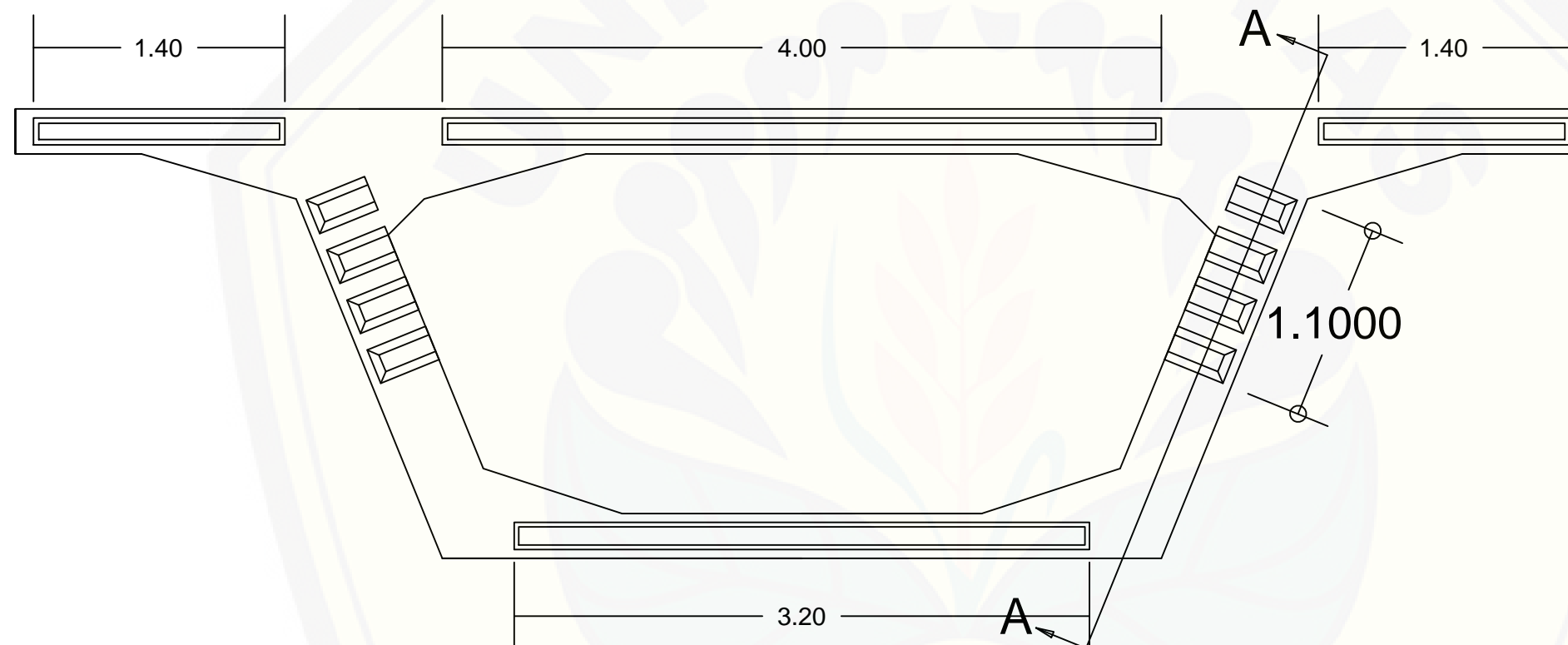
WINDA TRI W.
S.T,M.T

GAMBAR

SKALA

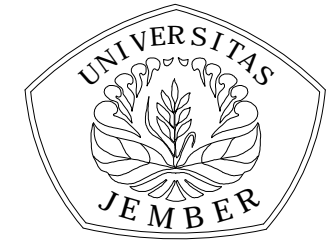
1 : 35

NOMOR LEMBAR :



Pengunci Joint antar Segmen

Skala 1:35



SKRIPSI

PERENCANAAN ULANG
JEMBATAN CURAHMALANG
MENGUNAKAN BOX GIRDER
PRATEKAN

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS JEMBER

PERENCANA

MAHASISWA JURUSAN TEKNIK
SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER

DIGAMBAR

Dosen
Pembimbing

M. SHOFIE EL FAID
(141910301070)

DWI NURTANTO
S.T,M.T

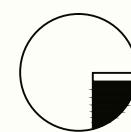
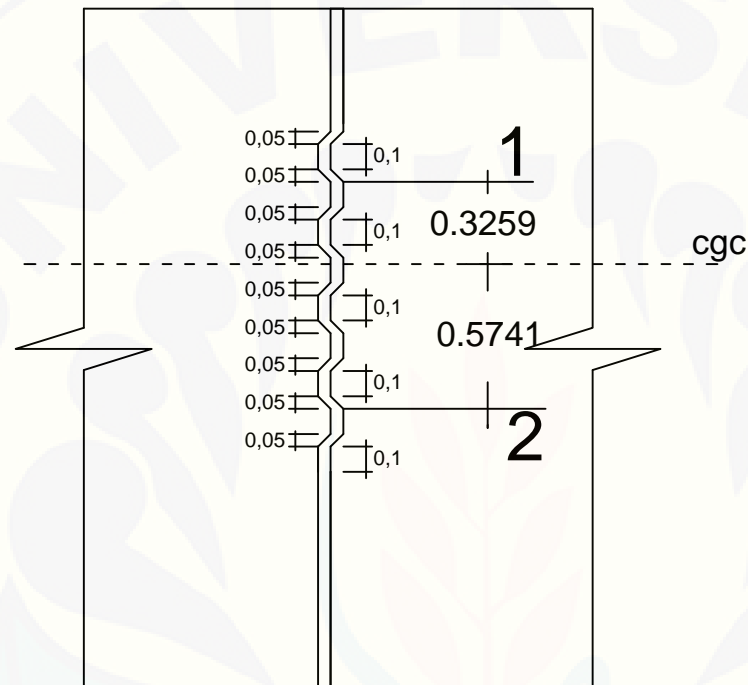
WINDA TRI W.
S.T,M.T

GAMBAR

SKALA

1 : 30

NOMOR LEMBAR :



Potongan A-A Pengunci Joint antar Segmen

Skala 1:30