



**REDESAIN STRUKTUR ATAS JEMBATAN KEDUNGSOKO
TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada
program studi S-1 Teknik Sipil.*

SKRIPSI

Oleh

**Dimas Aryasena Praditya
201910301144**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
S-1 TEKNIK SIPIL
JEMBER
2024**

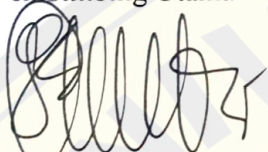
PENGESAHAN

Skripsi berjudul *Redesain Struktur Atas Jembatan Kedungsoko Tulungagung Menggunakan Gelagar Prategang* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Senin
Tanggal : 8 Januari 2024
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing,

Pembimbing Utama



Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T.
NIP. 197007132000121001

Pembimbing Anggota



Dr. Ir. Krisnamurti, M.T.
NIP. 196612281999031002

Tim Penguji,

Penguji Utama



Dr. Erno Widayanto, S.T., M.T.
NIP. 197004191998031002

Penguji Anggota



Ir. Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T.
NIP. 198605112023212029

Mengasahkan,

Dekan

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, selesainya skripsi ini penulis persembahkan penghargaan dan terimakasih kepada:

1. Bapak Wahyudiana dan Ibu Eni Setyowati selaku orang tua yang telah menjadi sumber utama inspirasi, terima kasih atas doa, dukungan tak henti-hentinya, dan cinta yang telah menjadi pendorong dalam setiap langkah penulis.
2. Bapak Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Ir. Krisnamurti, M.T yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan kesabaran dalam membimbing penulis sepanjang penulisan skripsi ini.
3. Seluruh dosen, pengajar, laboran, asisten dosen, serta staff dan karyawan Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember yang telah memberi pengetahuan yang berharga dan menyediakan sarana untuk menyelesaikan skripsi ini.
4. Teman-teman Teknik Sipil angkatan 2020 yang selalu memberikan semangat, diskusi bermanfaat, dan dukungan yang luar biasa.
5. Kepala Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Tulungagung, penulis mengucapkan terima kasih atas izin, informasi, dan kerjasama yang telah diberikan dalam pengumpulan data serta informasi terkait jembatan.
6. Ananda Rismilda Rohmawati yang telah memberi semangat dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan secara langsung, penulis menghaturkan terima kasih atas segala kontribusi, dukungan, dan motivasi yang telah diberikan, meskipun tidak dapat kami sebutkan satu per satu.

MOTTO

"Dengan fokus dan tekad, untuk membangun jembatan menuju masa depan yang lebih hebat."



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dimas Aryasena Praditya

NIM : 201910301144

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *REDESAIN STRUKTUR ATAS JEMBATAN KEDUNGSOKO TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN GELAGAR PRATEGANG*

adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 8 Januari 2024

Yang menyatakan,



Dimas Aryasena Praditya

NIM 201910301144

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi berjudul *Redesain Struktur Atas Jembatan Kedungsoko Tulungagung Menggunakan Gelagar Prategang* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Senin
Tanggal : 8 Januari 2024
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing

1. Pembimbing Utama
Nama : Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T.
NIP : 197007132000121001
2. Pembimbing Anggota
Nama : Dr. Ir. Krisnamurti, M.T.
NIP : 196612281999031002

Tanda Tangan


(.....)

(.....)

Penguji

1. Penguji Utama
Nama : Dr. Erno Widayanto, S.T., M.T.
NIP : 197004191998031002
2. Penguji Anggota
Nama : Ir. Nanin Meyfa Utami, S.T., M.T.
NIP : 198605112023212029


(.....)

(.....)

ABSTRACT

The upper structure design of Kedungsoko Bridge features a steel frame with a Railway type. Spanning 45 meters wide and 7 meters across, the bridge's limited height and width, attributed to the steel frame system, pose challenges for wide and higher load transportation. Situated in the Tulungagung District, Tulungagung Regency, East Java, it connects Kedungsoko Subdistrict and Waung Village, separated by the Ngrowo River. The bridge underwent a redesign, extending its length to 45 meters and width to 8 meters.

Load planning for the bridge adheres to the latest regulations, specifically SNI 1725 (2016) and SNI 2833 (2016). The planning methodology follows Practical Guidelines for Bridge Technical Planning No. 02/M/BM/2021, supplemented by other bridge regulations such as RSNI T 12 (2004) and SNI 2847 (2019). The analysis process involves utilizing SAP2000 v22 software and Microsoft Excel.

The design incorporates WIKA Beton's Girder-I H-210 product, spaced at 1800 mm intervals, with a strength of $f_c = 50$ MPa. This necessitates the use of 4 tendons per girder, totaling 73 uncoated 7 wire strands ASTM A-416 grade 270 for each girder. Additionally, the floor slabs are 0.20 meters thick with a 5 cm overlay.

Keywords: Bridge, Presress, PC I Girder

RINGKASAN

Desain struktur atas Jembatan Kedungsoko menggunakan rangka baja dengan tipe Jembatan Rel. Dengan bentang 45 meter dan lebar 7 meter, keterbatasan tinggi dan lebar karena sistem rangka baja menjadi tantangan saat mobilisasi muatan yang besar dan lebar. Jembatan ini menghubungkan Kelurahan Kedungsoko dan Desa Waung yang terpisah oleh Sungai Ngrowo di Kecamatan Tulungagung, Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Jembatan ini direncanakan ulang untuk memperpanjang panjangnya menjadi 45 meter dan lebar 7 meter.

Perencanaan pembebanan jembatan mengikuti peraturan terkini, seperti SNI 1725 (2016) dan SNI 2833 (2016). Metode perencanaan mengacu pada Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan No. 02/M/BM/2021, dengan tambahan peraturan lain seperti RSNI T 12 (2004) dan SNI 2847 (2019). Analisis menggunakan software SAP2000 v22 dan Microsoft Excel.

Desain menggunakan Girder-I H-210 dari WIKA Beton dengan jarak 1800 mm dan kekuatan $f'c = 50$ MPa. Setiap gelagar menggunakan 4 tendon dengan total 73 strands uncoated 7 wire strands ASTM A-416 grade 270. Pelat lantai memiliki tebal 0,20 meter dengan overlay 5 cm.

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, petunjuk, dan karunia-Nya yang melimpah dalam perjalanan penulisan skripsi ini.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan pemahaman penulis dalam bidang struktur atas jembatan dengan menerapkan konsep redesain menggunakan gelagar prategang pada Jembatan Kedungsoko Tulungagung. Proses penulisan skripsi ini menjadi perjalanan yang penuh tantangan namun juga penuh pembelajaran berharga bagi penulis.

Dalam pembuatan skripsi ini, penulis memperoleh bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Penulis ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang tulus kepada:

1. Orang tua yang telah menjadi sumber utama inspirasi, terima kasih atas doa, cinta, dan dukungan tak henti-hentinya.
2. Bapak Dr. Ketut Aswatama Wiswamitra, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Ir. Krisnamurti, M.T yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan kesempatan untuk mengeksplorasi serta mengembangkan pengetahuan dalam bidang ini.
3. Kepala Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang yang telah memberikan izin, data, serta informasi yang diperlukan dalam penelitian ini.

Terima kasih atas segala bantuan, masukan, serta dukungan yang diberikan, yang telah sangat berkontribusi dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik, saran, dan masukan yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil. Semoga juga menjadi motivasi bagi kami untuk terus belajar dan berkontribusi di masa depan.

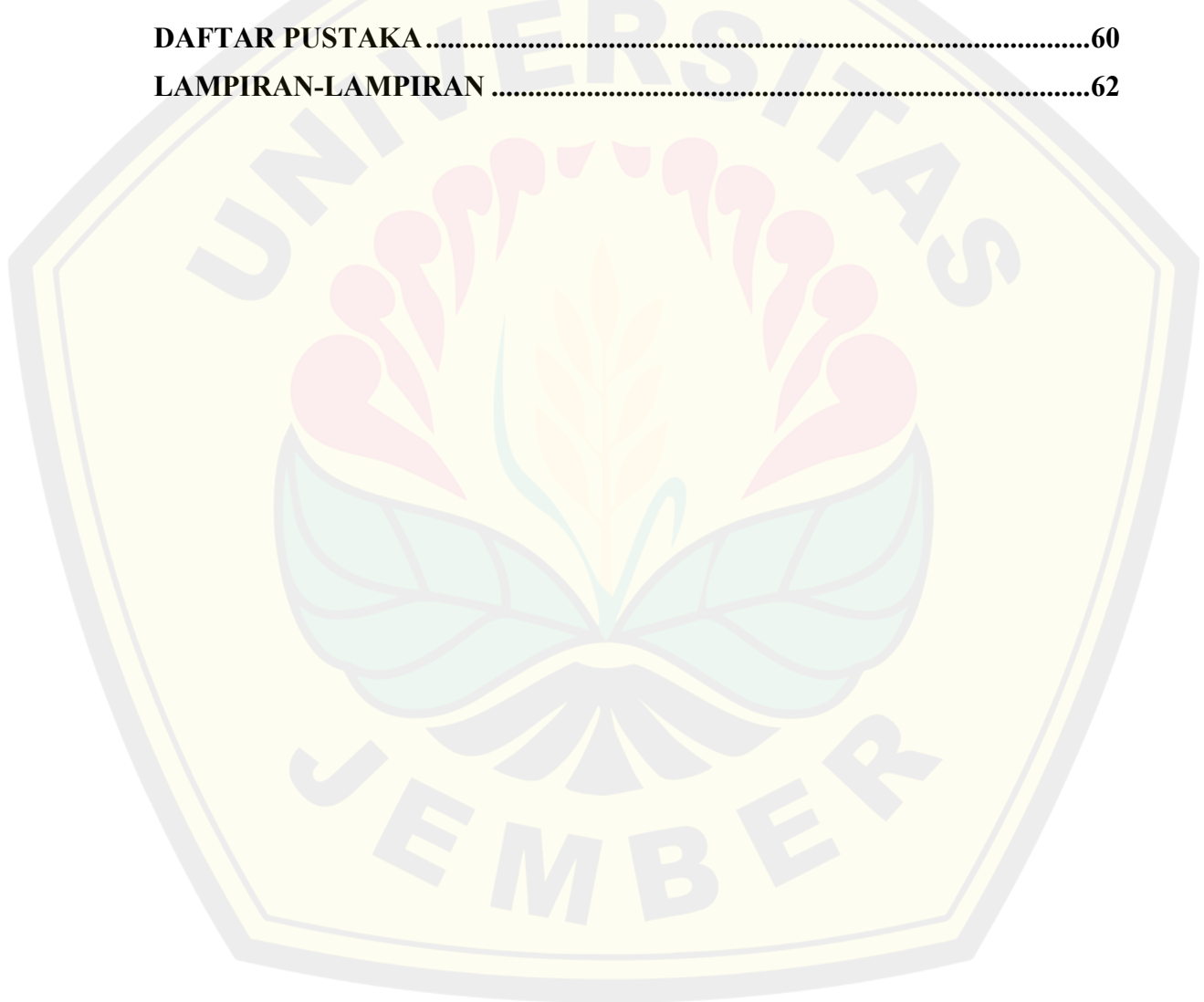
Jember, 8 Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PENGESAHAN	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN	vi
RINGKASAN	viii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2. TINJAUAN TEORI.....	5
2.1 Jembatan.....	5
2.2 Jembatan Beton Prategang	5
2.3 Pembenanan Jembatan	5
2.4 Tegangan dan Regangan	7
2.5 Penataan Tendon	8
2.6 Penegangan.....	9
2.7 Kehilangan Gaya Prategang.....	9
2.8 Perhitungan Struktur	11
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	12
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	12
3.2 Data Eksisting Jembatan	12
3.3 Tahapan Perencanaan Struktur Atas Jembatan	13
3.4 Bagan Alir Perencanaan	15
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1 Data Perencanaan	16
4.2 Pembebanan dan Gaya dalam pada Girder	19

4.3	Analisa dan Perencanaan PC-I Girder.....	27
4.4	Analisa Trace Masing-Masing Tendon.....	35
4.5	Analisa Kehilangan Gaya Prategang.....	37
4.6	Analisa Tegangan pada Girder di Tumpuan dan Lapangan.....	42
4.7	Analisa dan Kontrol Lenduran pada Tengah Bentang Girder.....	48
4.8	Analisa Kapasitas Momen Nominal pada Penampang Girder.....	51
4.9	Analisa Kebutuhan Tulangan Geser pada Penampang Girder.....	54
4.10	Perencanaan dan Perhitunga Elastomer.....	55
4.11	Persentase Perubahan.....	57
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....		59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....		60
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....		62



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Jumlah Strand Pakai per Tendon.....	18
Tabel 4.2 Bidang Momen pada Masing-Masing Beban.....	24
Tabel 4.3 Bidang Momen pada Masing-Masing Kombinasi Beban.....	25
Tabel 4.4 Bidang Geser Pada Masing - Masing Beban.....	25
Tabel 4.5 Bidang Geser Untuk Masing - Masing Kombinasi Beban.....	26
Tabel 4.6 Dimensi Balok Prestress.....	27
Tabel 4.7 Section Properties Balok Prategang.....	28
Tabel 4.8 Section Properties Balok Komposit.....	29
Tabel 4.9 Nilai Momen Statis Tendon Terhadap Pusat Tendon Terbawah.....	34
Tabel 4.10 Posisi Tendon di Tumpuan.....	34
Tabel 4.11 Posisi Tendon di Tengah Bentan.....	35
Tabel 4.12 Posisi Sudut Angkur di Tumpuan.....	36
Tabel 4.13 Trace dari Masing-Masing Cable Tendon.....	37
Tabel 4.14 Nilai Tegangan pada Saat Transfer.....	47
Tabel 4.15 Nilai Tegangan Setelah Kehilangan Gaya Prategang.....	47
Tabel 4.16 Nilai Tegangan saat Plat Lantai Selesai Dicor.....	47
Tabel 4.17 Nilai Tegangan saat Balok Kondisi Layan.....	48
Tabel 4.18 Tulangan Geser pada Penampang Girder.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Rencana Jembatan Kedungsoko.....	1
Gambar 1.2 Jembatan Rangka Baja.....	2
Gambar 2.1 Diagram Tegangan dan Regangan.....	8
Gambar 3.1 Posisi Jembatan Kedungsoko.....	12
Gambar 3.2 Layout Rencanan Jembatan Kedungsoko.....	13
Gambar 3.3 Bagan Alirr Perencanaan Struktur Atas Jembatan Kedungsoko.....	15
Gambar 4.1 Potongan Melintang Rencana Jembatan Kedungsoko.....	16
Gambar 4.2 Pembebanan truk “T” (500 kN).....	21
Gambar 4.3 Pembabanan Akibat Rem.....	21
Gambar 4.4 Dimensi Balok Prestress.....	27
Gambar 4.5 Balok Prategang dan Plat Beton.....	27
Gambar 4.6 Section Properties Balok Prategang.....	28
Gambar 4.7 Section Properties Balok Komposit.....	29
Gambar 4.8 Pengaruh Gaya yang Diterima Balok Prategang.....	30
Gambar 4.9 Penulangan Balok Prategang.....	32
Gambar 4.10 Letak Tendon di Tumpuan dan Lapangan.....	33
Gambar 4.11 Posisi Tendon di Tumpuan.....	34
Gambar 4.12 Posisi Tendon di Tengah Bentang.....	35
Gambar 4.13 Lintasan Inti Tendon.....	35
Gambar 4.14 Letak Titik dan Persamaan Masing-Masing Tendon.....	36
Gambar 4.15 Regangan Baja Prestress.....	52

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan adalah salah satu infrastruktur penting dalam menghubungkan dan mobilisasi antar daerah. Seiring dengan pertumbuhan lalu lintas dan perubahan lingkungan, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kabupaten Tulungagung berencana akan membangun Jembatan Kedungsoko sebagai solusi untuk mengurangi kemacetan lalu lintas yang berfokus di Jembatan Lembu Peteng tepat pada persimpangan jalan nasional, di sebelah utara rencana Jembatan Kedungsoko ini. Pembangunan Jembatan Kedungsoko ini juga bertujuan sebagai penghubung antar wilayah menuju akses pusat kegiatan ekonomi, sekolah, kantor, dan tempat publik lainnya yang terpisahkan oleh Sungai Ngrowo. Secara wilayah, Jembatan Kedungsoko ini menghubungkan dua wilayah yaitu Kelurahan Kedungsoko, Kec. Tulungagung di sisi baratnya dan Desa Waung, Kec. Boyolangu.



Gambar 1.1 Lokasi Rencana Jembatan Kedungsoko
(Sumber: Google Earth, 2023)

Pada awalnya, Jembatan Kedungsoko telah dirancang dengan menggunakan rangka baja sebagai struktur atasnya. Jembatan rangka baja adalah jembatan yang menggunakan rangkaian baja terdiri dari balok atas, bawah, dan diagonal yang dihubungkan dengan sambungan baut (Santoso & Sumaidi, 2021). Meskipun struktur ini telah memenuhi tuntutan teknisnya pada saat itu, evolusi dalam

teknologi konstruksi dan material serta perubahan beban lalu lintas menunjukkan bahwa terdapat potensi untuk meningkatkan kapasitas dan daya tahan jembatan. Karena embatan tipe rangka baja juga memiliki kekurangan yaitu terbatasnya jembatan untuk mobilisasi alat berat atau kendaraan besar, dikarenakan adanya rangka baja dibagian atas jembatan, tidak tahan terhadap korosi, sehingga perlu pemeliharaan ekstra, berkurangnya kekuatan jembatan jika terjadi korosi dan jarang terlihat memiliki nilai estetika yang baik sehingga mengurangi pandangan pengguna jalan (Manda & Nakamura, 2012).



Gambar 1.2 Jembatan Rangka Baja

Dilihat dari situasi lokasi rencana Jembatan Kedungsoko perlu dilakukan perancangan ulang jembatan agar tidak terbatas untuk penggunaan mobilisasi alat berat atau kendaraan besar yang meliwati jembatan ini. Penggunaan gelagar prategang adalah solusi yang menawarkan alternatif yang menarik dalam merancang kembali struktur atas jembatan. Tipe jembatan dengan gelagar prategang menggunakan struktur utama gelagar prategang dibawahnya, sehingga tidak menimbulkan permasalahan seperti pada penggunaan tipe rangka baja sebelumnya. Gelagar beton prategang adalah jenis beton dimana tulangan bajanya di tarik atau ditegangkan terhadap betonnya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Karena beton cukup kuat terhadap tekanan dan sebaliknya lemah terhadap tarikan (Supriadi, 2007).

Gelagar prategang menawarkan beberapa keunggulan, termasuk pemeliharaan yang mudah, tidak terbatasnya digunakan untuk mobilisasi, tidak mengurangi jarak pandang pengguna jalan, ketahanan terhadap korosi, kemampuan menahan beban yang lebih besar, serta distribusi beban yang lebih efisien. Jembatan ini nantinya akan didesain ulang dengan menerapkan girder prategang profil I, bahwa girder jenis ini cenderung memiliki luas penampang lebih kecil, berat sendiri lebih ringan, dan ekonomis (Manalip & Handono, 2018).

Redesain struktur atas Jembatan Kedungsoko menggunakan gelagar prategang ini direncanakan dengan bentang 45 m tanpa pilar, lebar 7 m, dan kelas B digunakan untuk jalan kabupaten. Jembatan Kedungsoko dengan bentang 45 m termasuk jembatan bentang menengah. Suatu jembatan dikatakan bentang pendek apabila bentangnya masih dibawah 40 m. Untuk bentang antara 40 m sampai 150 m biasanya disebut dengan jembatan bentang menengah dan yang lebih dari 150 m, disebut dengan jembatan bentang panjang (Supriadi & Muntohar, 2007).

Dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kapasitas, keamanan dan kenyamanan pengguna jembatan serta mengurangi biaya pemeliharaan jembatan di masa mendatang. Selain itu, perencanaan ulang struktur jembatan dengan gelagar prategang juga dapat menjadi acuan untuk perencanaan struktur atas jembatan di daerah lain yang memiliki kondisi serupa. Perencanaan akan menggunakan peraturan pembebanan SNI 1725:2016, Beban Gempa untuk Jembatan SNI 2833:2016, serta Perancangan Struktur Beton untuk Jembatan RSNI T-12-2004. Dengan begitu, penelitian ini nantinya dapat dijadikan sebagai referensi baru maupun komparasi dengan referensi yang sudah ada sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang, diambil rumusan masalah dari penelitian ini yaitu: Bagaimana mendesain ulang struktur atas Jembatan Kedungsoko menggunakan gelagar prategang?

1.3 Batasan Penelitian

1. Objek penelitian adalah Jembatan Kedungsoko yang berlokasi di Kelurahan Kedungsoko, Kecamatan Tulungagung, Kabupaten Tulungagung.
2. Direncanakan struktur atas menggunakan gelagar prategang profil I, dengan bentang 45 m, dan lebar jembatan 8 m.
3. Perencanaan tidak meliputi struktur bawah jembatan, perkerasan jalan, oprit, metode pelaksanaan dan biaya konstruksi jembatan.

1.4 Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah, diambil tujuan dari penelitian ini yaitu: Dapat mendesain ulang struktur atas Jembatan Kedungsoko menggunakan gelagar prategang.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai tambahan pemahaman tentang perencanaan struktur atas jembatan menggunakan beton prategang bagi penulis.
2. Sebagai alternatif perencanaan Jembatan Kedungsoko untuk Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Tulungagung.
3. Sebagai wawasan mengenai perencanaan struktur atas jembatan menggunakan beton prategang dan menjadi bahan referensi jika terdapat penelitian selanjutnya bagi mahasiswa maupun pembaca secara umum.

BAB 2. TINJAUAN TEORI

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti sungai, lembah yang dalam, danau, jalan kereta api, jalan raya, dll (Supriadi & Muntihar, 2007). Secara umum, jembatan memiliki beberapa jenis, seperti jembatan pelengkung (*arch bridge*), jembatan rangka batang (*truss bridge*), jembatan gantung (*suspension bridge*), jembatan *cable stayed*, dan jembatan beton (*concrete bridge*) (Supriadi & Muntihar, 2007).

2.2 Jembatan Beton Prategang

Jembatan beton prategang adalah jenis jembatan yang menggunakan gelagar beton prategang, yaitu beton yang diberikan kabel atau kawat baja yang ditarik tegang sebelum beton dicurahkan. Tujuannya adalah untuk memberikan tekanan atau prategangan awal pada beton sehingga jembatan dapat mengatasi beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut dengan lebih efektif (RSNI T-12-2004). Dengan kata lain, kabel baja prategang membantu mencegah beton meregang terlalu banyak akibat beban yang bekerja pada jembatan, sehingga memperkuat struktur jembatan dan meningkatkan daya dukungnya. Terdapat beberapa jenis dari penampang gelagar prategang diantaranya adalah:

1. Penampang I (PCI - Girder)
2. Penampang U (PCU - Girder)
3. Penampang T (T - Beams)
4. Penampang Kotak maupun Trapesium (Box Girder)

2.3 Pembenan Jembatan

Pada perencanaan jembatan yang perlu diperhatikan adalah beban-beban yang terjadi pada jembatan. Beban-beban tersebut akan mempengaruhi besarnya dimensi dari struktur jembatan serta banyaknya tulangan yang digunakan. Pada

peraturan SNI 1725:2016 tentang standart pembebanan untuk jembatan aksi-aksi (beban) digolongkan berdasarkan jenisnya sebagai berikut.

1. Beban Permanen
 - Beban Mati Sendiri
 - Beban Mati Tambahan
2. Beban Lalu Lintas
 - Beban Lajur (D)
 - Beban Truk (T)
 - Beban Rem
 - Beban Pejalan Kaki
3. Beban Rem (TB)
 - Gaya Akibat Deformasi (Beban Temperatur, Pengaruh susut dan rangkak, pengaruh pretegang)
 - Beban Gempa

Beban yang terjadi pada jembatan dikombinasikan menurut Kombinasi pembebanan pada SNI 1725:2016.

Pada setiap tahap pembebanan harus selalu diadakan pemeriksaan pada kondisi bagian yang tertekan maupun bagian yang tertarik untuk setiap penampang. Terdapat dua tahap pembebanan pada beton prategang yaitu tahap transfer dan tahap layan (Hamsyah, 2019).

1. Tahap Transfer

Pada metode pratarik ini, tahap transfer terjadi pada saat angker dilepas dan gaya prategang ditransfer ke beton. Sedangkan pada metode pascatarik, tahap transfer ini terjadi pada saat beton sudah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel prategang.

2. Tahap Layan (*Service*)

Tahap ini bisa disebut juga tahap layan dari beton prategang karena merupakan tahap dimana beton prategang difungsikan sebagai komponen struktur atau mulai digunakan.

2.4 Tegangan dan Regangan

Tegangan dan regangan adalah parameter kritis dalam perencanaan struktur beton prategang untuk jembatan. Konsep ini menjadi dasar dalam memahami kinerja struktur dan memastikan bahwa jembatan dapat menahan beban dan bekerja secara aman dan efisien.

1. Tegangan pada beton prategang

Tegangan dalam beton prategang dihasilkan oleh gaya prategang yang diterapkan pada kabel atau balok prategang. Tegangan ini berperan dalam mengatasi tegangan-tegangan yang dihasilkan oleh beban-beban eksternal. Komponen utama yang mengalami tegangan dalam sistem prategang adalah kabel prategang dan beton. Tegangan dalam kabel prategang dapat dihitung menggunakan hukum Hooke's Law, di mana hubungan antara gaya prategang (T) dengan luas penampang kabel (A) dan tegangan (σ) dapat diwakili oleh persamaan berikut:

$$T = A \cdot \sigma$$

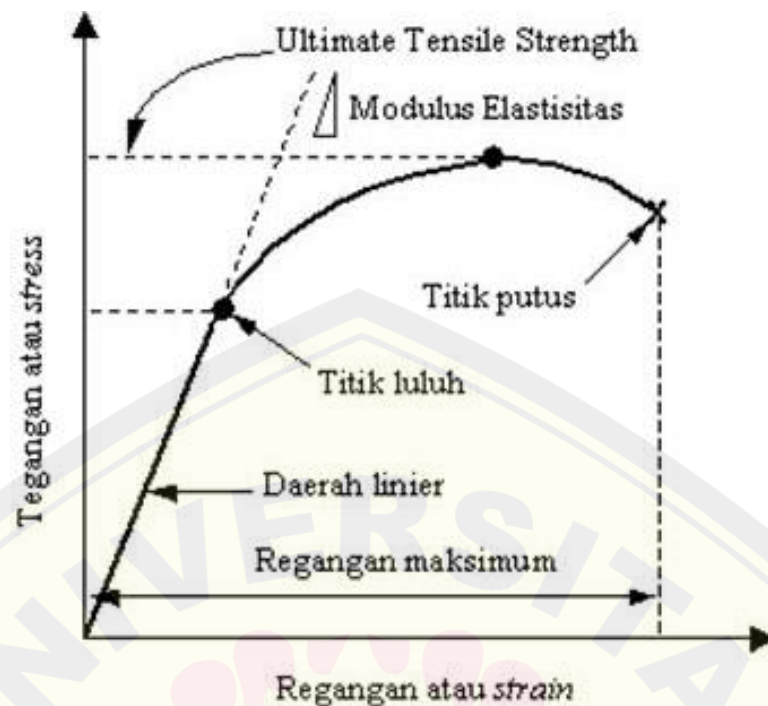
Tegangan ini kemudian akan menghasilkan gaya prategang yang membantu menyeimbangkan beban-beban yang diterapkan pada struktur.

2. Regangan pada beton prategang

Regangan adalah perubahan panjang suatu material dibagi dengan panjang aslinya. Pada beton prategang, regangan terjadi pada kabel prategang dan beton. Regangan pada kabel prategang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Pada beton prategang, regangan juga terjadi di zona tarik beton. Peningkatan regangan pada beton dapat menyebabkan retakan, yang dapat berdampak pada kinerja dan daya dukung struktur. Penggunaan beton prategang membantu mengurangi regangan pada zona tarik beton, mengurangi kemungkinan retakan, dan meningkatkan kinerja struktural secara keseluruhan. Untuk diagram tegangan dan regangan dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Tegangan dan Regangan

2.5 Penataan Tendon

Lintasan tendon dapat dihitung melalui titik-titik pada koordinat persamaan parabolik (Hamsyah, 2019), dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y_i = \frac{4 \cdot f_i \cdot X_i \cdot (L - X_i)}{L^2}$$

Dalam menentukan sudut angkur pada balok prategang digunakan persamaan berikut:

$$\alpha = \text{ATAN} \left(\frac{dY}{dX} \right)$$

$$\frac{dY}{dX} = 4 \cdot f_i \cdot \frac{(L - 2 \cdot X_i)}{L^2}$$

Dilanjutkan oleh (Rizkia, 2017), untuk menentukan tata letak dan trase tendon dapat digunakan persamaan berikut:

$$z_i = z_i' - \left[\left(\frac{4 \cdot f_i \cdot X_i}{L^2} \right) \cdot (L - X_i) \right]$$

2.6 Penegangan

Ditinjau dari cara penarikan baja prategang, didapatkan dua jenis metode penegangan yang dapat digunakan (Hamsyah, 2019), yaitu:

1. Pra-Tarik (*Pre-Tensioning*)

Dalam metode pra-tarik atau pre-tensioning, baja prategang dikenakan gaya prategang sebelum beton dicor dan diangkernya. Setelah beton mengeras dan mencapai kekuatan yang memadai untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepaskan sehingga gaya prategang dapat ditransfer ke beton.

2. Pasca-Tarik (*Post-Tensioning*)

Pada metode post-tensioning berikut ini, pemberian tegangan tekan akan dilakukan setelah beton dicetak. Setelah beton mencapai kekuatan yang direncanakan, tendon akan ditarik sesuai dengan perhitungan.

Ditinjau dari keadaan distribusi tegangan pada beton, sistem beton prategang dibagi atas 2 macam (Hidayat, 2018), yaitu:

1. Full *Prestressing*

Suatu sistem yang dibuat sedemikian rupa, sehingga tegangan yang terjadi adalah tekan pada seluruh tampang. Secara teoritis sistem ini tidak memerlukan tulangan pasif.

2. Partial *Prestressing*

Dalam memikul beban, kabel baja prategang bekerja bersama dengan tulangan pasif dengan tujuan agar struktur berperilaku lebih daktail.

2.7 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan prategang terbagi atas beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu sebagai berikut:

1. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur

Kehilangan tegangan akibat gesekan angkur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prategang akibat *jacking* (P_j):

$$P_o = 97\% \cdot P_j$$

2. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Kabel

Kehilangan tegangan akibat gesekan kabel (RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Pada Jembatan):

$$P_x = P_j \cdot e^{-\Sigma(\mu \cdot \alpha + K \cdot L_i)}$$

3. Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis

Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis (RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Pada Jembatan):

$$\sigma_{ES} = 0.5 \cdot \frac{E_s}{E_c \text{ balok}} \cdot f_{ci}$$

4. Kehilangan Tegangan Akibat Pengangkuran

Luas tampang tendon baja prategang:

$$A_t = n_s \cdot A_{st}$$

Kemiringan diagram gaya:

$$m = \tan W = (P_o - P_x) / L_i$$

Jarak pengaruh kritis slip ankur dari ujung:

$$L_{max} = \sqrt{\frac{\Delta L \cdot E_s \cdot A_t}{m}}$$

Kehilangan gaya prategang akibat pemendekan elastis:

$$\Delta P_e = \sigma_{ES} \cdot A_t$$

Kehilangan tegangan akibat ankur:

$$\Delta P = 2 \cdot L_{max} \cdot \tan W$$

$$P'_{max} = P_o - \frac{\Delta P}{2}$$

$$P_{max} = P'_{max} - \Delta P_e$$

5. Kehilangan Tegangan Akibat Relaksasi Tendon

a. Pengaruh Susut

Kehilangan tegangan akibat susut beton (RSNI T-12-2004 Perencanaan struktur beton pada jembatan):

$$\sigma_{CS} = E_s \cdot \epsilon_{CS}$$

b. Pengaruh Rangkak

Kehilangan tegangan akibat rangkakan beton (RSNI T-12-2004 Perencanaan struktur beton pada jembatan):

$$\sigma_{CC} = E_s \cdot \varepsilon_{CC}$$

2.8 Perhitungan Struktur

Ada beberapa hal yang perlu diketahui mengenai perhitungan struktur (Rizkia, 2017) yang di antaranya:

1. Tegangan Pada Balok

Besar tegangan maksimum pada serat penampang dapat dihitung dengan rumus:

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{P}{W} \pm \frac{M}{W}$$

2. Tulangan Geser

Untuk menentukan jarak tulangan geser yang digunakan persamaan dibawah,

Momen Statis:

$$S_x = A \cdot y$$

Tegangan Geser:

$$f_v = V_r \cdot \frac{S_x}{b \cdot I_x}$$

Jarak Tulangan:

$$a_s = f \cdot \frac{A_s}{f_v \cdot b \cdot \tan \gamma}$$

3. Kontrol Lendutan

Lendutan akibat beban rencana untuk daya layan jembatan jalan raya tidak melampaui $L/250$ bentang. Besar lendutan dapat diketahui dari persamaan berikut:

$$\delta = \frac{5 \cdot Q \cdot L^4}{384 \cdot E_c \cdot I}$$

4. Momen Ultimit

Nilai momen ultimit tidak boleh melebihi nilai kapasitas momen ultimit, $M_u < M_r$. Untuk menentukan besar kapasitas momen ultimit, digunakan persamaan berikut.

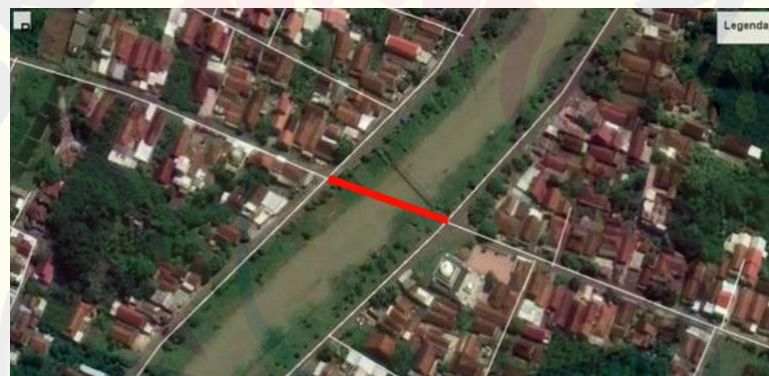
$$\text{Kapasitas momen ultimit, } M_r = \Sigma M_n \cdot \Phi$$

$$\text{Momen ultimit, } M_u = K \cdot M$$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Jembatan Kedungsoko terletak di Kelurahan Kedungsoko, Kecamatan Tulungagung, Kabupaten Tulungagung. Jembatan ini melintasi Sungai Ngrowo yang berperan penting untuk menunjang aktivitas masyarakat. Jembatan ini menghubungkan 2 wilayah yaitu Desa Waung, Kec. Boyolangu dan Kelurahan Kedungsoko, Kec. Tulungagung. Penelitian ini dilaksanakan selama periode Juli 2023 hingga Desember 2023. Rentang waktu ini mencakup tahap persiapan, pengumpulan data, studi literatur, analisis, dan perencanaan ulang struktur atas. Untuk letak jembatan dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 berikut ini:



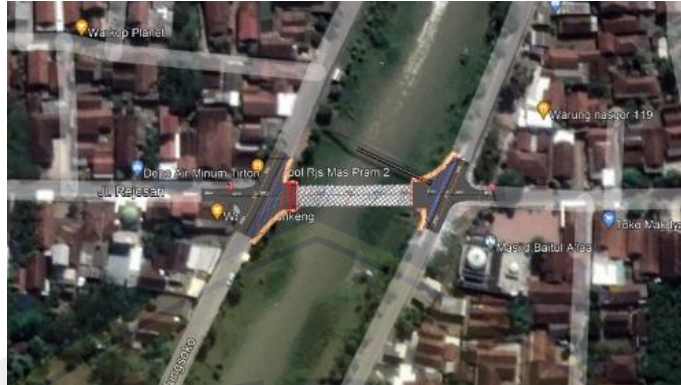
Gambar 3.1 Posisi Jembatan Kedungsoko
(Sumber: Google Earth, 2023)

3.2 Data Eksisting Jembatan

Dalam penelitian ini data diperoleh dari konsultan perencana dan Dinas PUPR Kabupaten Tulungagung. Pada perencanaan ini data yang digunakan adalah DED (*Detail Engineering Design*). Adapun data rencana redesain jembatan sebagai berikut:

1. Nama Jembatan : Jembatan Kedungsoko
2. Bentang Jembatan : 45 m
3. Lebar Jembatan : 7 m
4. Lebar Jalur : 2 x 3 m
5. Lebar Trotoar : 2 x 1 m

6. Tipe Struktur Eksisting : Rangka Baja



Gambar 3.2 Layout Rencana Jembatan Kedungsoko

3.3 Tahapan Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Tahapan perencanaan struktur atas dilakukan meliputi, gelagar jembatan, slab jembatan, diafragma jembatan, elastomer dan lain-lain. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka terdapat beberapa langkah analisis yang dilakukan sesuai prosedur yang telah ditetapkan.

1. Studi Literatur

Langkah pertama yang dilakukan untuk melakukan perencanaan adalah studi literatur. Studi literatur ini dilakukan dengan cara mempelajari landasan teori tentang pembebanan, pemodelan dari struktur atas menggunakan referensi dari berbagai jurnal dan buku. Acuan yang digunakan antara lain :

- a. SNI 1725-2016 Pembebanan Untuk Jembatan
- b. SNI 2833-2016 Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa
- c. RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan
- d. Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan 07/SE/M/2015
- e. Pd 03-2017-B Perencanaan Teknis Fasilitas Pejalan Kaki
- f. AASHTO LRFD 2017, dll.

2. Preliminary Design

Preliminary design bertujuan untuk menentukan profil dan desain awal dalam perencanaan jembatan. Perencanaan awal ini menggunakan gelagar utama

girder beton profil “I” (PC-I) yang mengacu pada brosur Wika Beton “Product Information: Bridge Product”.

3. Perhitungan Pembebanan Jembatan

Perhitungan pembebanan yang digunakan untuk perhitungan kontrol kapasitas momen sesuai SNI 1725:2016 dan SNI 2833-2016 adalah beban mati komponen struktural jembatan (MS), beban prategang pada PC-I Girder, beban mati pekerasan dan utilitas jembatan (MA), beban lajur pada struktur jembatan, beban angin pada kendaraan & struktur jembatan, beban gempa vertikal pada girder.

4. Analisis Awal

Analisis awal untuk mencari dimensi balok prestress, lebar efektif slat lantai beton, section properties balok prategang, section properties balok komposit (prategang + plat lantai), gaya prategang kondisi awal (saat transfer), gaya prategang kondisi akhir, dan pembesian balok prategang.

5. Desain Tendon

Desain tendon pada studi ini mencakup desain strand, limit kabel, dan posisi kabel. Posisi titik berat kabel (c.g.s) harus berada didalam limit kabel. Perhitungan mengacu pada (T. Y. Lin, 1993) dan (T. Y. Lin & N. H. Burn, 1996).

6. Kehilangan Prategang

Kehilangan gaya prategang dibagi menjadi dua, kehilangan jangka panjang dan pendek. Kehilangan jangka pendek terjadi karena perpendekan elastis, akibat gesekan, dan slip anker. Kehilangan jangka panjang disebabkan oleh rangkai beton, susut beton, dan akibat relaksasi. Perhitungan kehilangan prategang mengacu pada (RSNI T-12-2004) dan (T. Y. Lin & N. H. Burn, 1996).

7. Kontrol Struktur

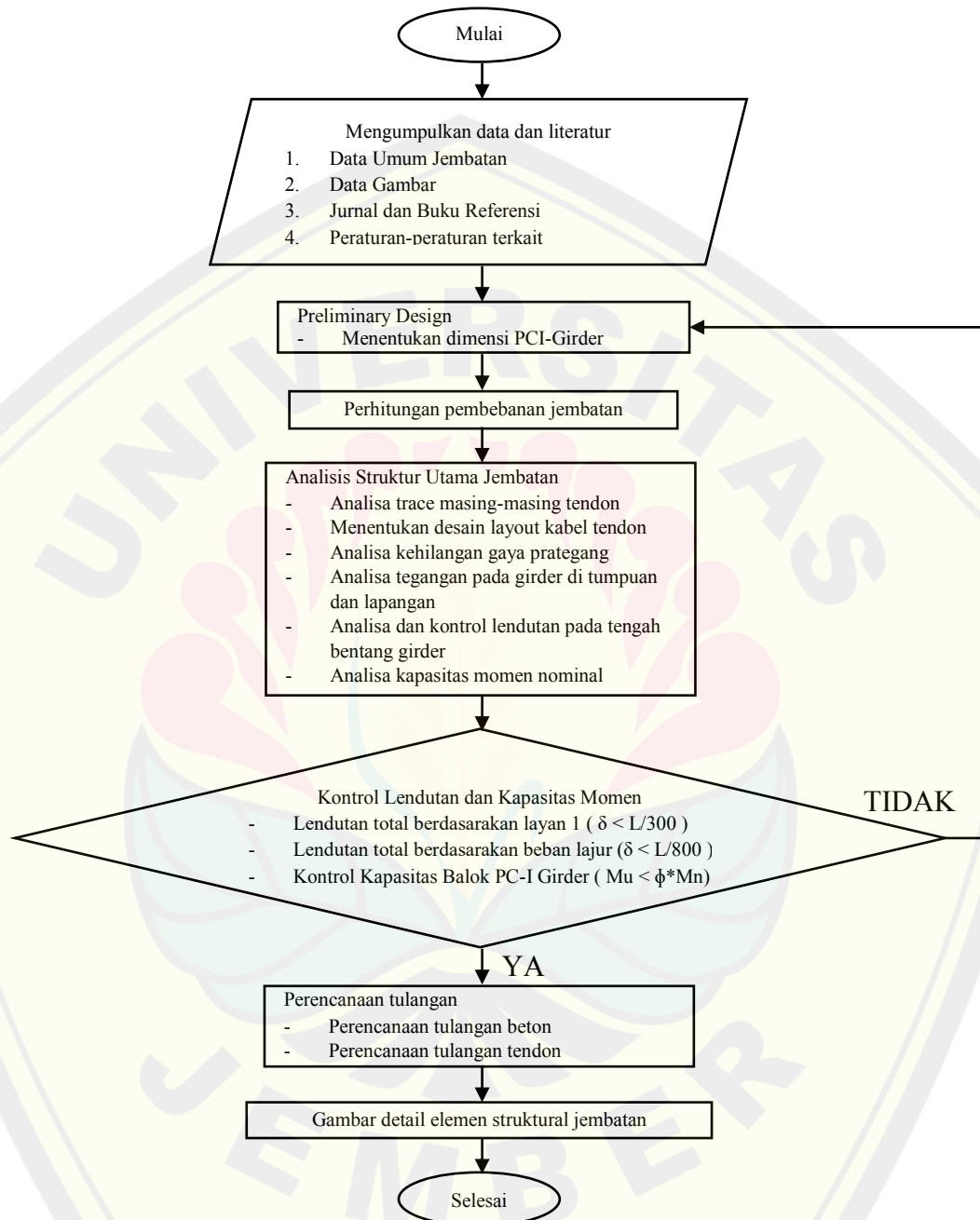
Kontrol struktur utama jembatan mengacu pada (RSNI T-12-2004). Kontrol yang dilakukan meliputi kontrol penampang setelah kehilangan prategang, kontrol lendutan, kontrol momen nominal, kontrol momen retak, dan kontrol geser.

8. Perencanaan Tulangan

Direncanakan tulangan lentur dan geser untuk balok girder berdasarkan (RSNI T-12-2004) dan (T. Y. Lin & N. H. Burn, 1996).

3.4 Bagan Alir Perencanaan

Untuk bagan alir perencanaan struktur atas jembatan kedungsoko dapat dilihat pada gambar 3.3.



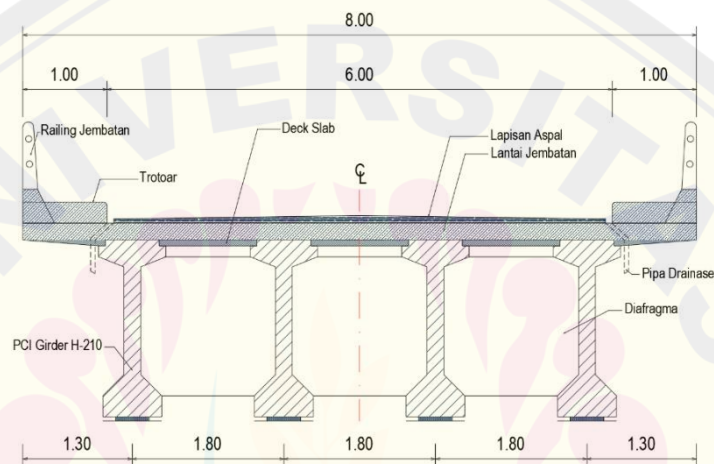
Gambar 3.3. Bagan Alir Perencanaan Struktur Atas Jembatan Kedungsoko

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perencanaan

Analisis struktur Jembatan Kedungsoko dilakukan menggunakan Microsoft Excel untuk struktur atas dengan konstruksi beton prategang tipe PC-I Girder, yaitu struktur *simple beam*. Analisis ini akan memperhatikan struktur sederhana balok untuk memeriksa kesesuaian dengan desain struktur yang direncanakan.

4.1.1 Data Dimensi Jembatan



Gambar 4.1 Potongan Melintang Rencana Jembatan Kedungsoko

Perencanaan Jembatan Kedungsoko menggunakan struktur balok prategang paskatarik penampang I Girder dengan data berikut ini:

1. Tebal slab lantai jembatan, $h_s = 0.20$ m
2. Tebal selimut untuk slab lantai jembatan, $t_s = 50.00$ mm
3. Tebal selimut untuk girder PC I, $t_g = 50.00$ mm
4. Tebal lapisan aspal + overlay, $t_a = 0.05$ m
5. Tebal genangan air hujan, $t_h = 0.05$ m
6. Jarak antara balok PC I Girder, $s = 1.800$ m
7. Lebar jalur lalu-lintas, $b_1 = 6.00$ m
8. Lebar trotoar, $b_2 = 1.00$ m
9. Jumlah diaphragma, $n = 3$
10. Tebal diaphragma, $w_d = 0.20$ m
11. Panjang bentang jembatan, $L = 45.00$ m
12. Elevasi permukaan lapisan aspal dari permukaan tanah terdalam, $Z = 25$ m

4.1.2 Data Bahan Struktur Beton

1. Data Bahan Struktur Precast
 - a. Kuat tekan beton, $f_c' = 50.00$ MPa
 - b. Koefisien muai panjang untuk beton, $\alpha = 0.000011$ / $^{\circ}$ C
2. Data Bahan Struktur Slab Lantai
 - b. Mutu beton pakai, $f_c' = 30.00$ MPa
 - c. Koefisien muai panjang untuk beton, $\alpha = 0.000011$ / $^{\circ}$ C

4.1.3 Data Bahan dan Dimensi Tulangan Baja

1. Diameter tulangan pakai utama, $D = 13$ mm
2. Diameter tulangan sengkang, $D = 13$ mm
4. Tegangan leleh baja tulangan sirip (deform), $f_y = 400$ MPa
5. Tegangan leleh baja tulangan polos, $f_y = 240$ MPa

4.1.4 Data Specific Gravity

1. Berat jenis material beton PC I Girder, $W_c = 24.00$ kN/m³
2. Berat jenis material beton bertulang, $W_c = 24.00$ kN/m³
3. Berat jenis material beton tidak bertulang, $W'_c = 21.58$ kN/m³
4. Berat jenis material aspal, $W_a = 22.00$ kN/m³
5. Berat jenis material air, $W_w = 9.80$ kN/m³
6. Berat jenis material baja, $W_s = 78.50$ kN/m³

4.1.5 Data Baja Prategang

Data Strands Cable - Standar VSL

1. Jenis strands = Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270
2. Tegangan leleh strand, $f_{py} = 1580$ MPa
3. Kuat tarik strand, $f_{pu} = 1860$ MPa
4. Diameter nominal strands, $D_{ps} = 12.7$ mm
5. Luas tampang nominal satu strands, $A_{st} = 98.7$ mm²
6. Beban putus minimal satu strands, $P_{bs} = 183.582$ kN
7. Modulus elastis strands, $E_s = 193000$ MPa
8. Komponen struktur prategang = Dengan Lekatan (Bounded)

4.1.6 Data Balok PC-I Girder

1. Tipe balok prestress = PC I Girder H-210

2. Jumlah tendon pakai, $n = 4$ tendon
3. Jarak titik berat tendon terhadap alas balok, $z_0 = 0.2$ m
4. Jarak dari alas balok ke as tendon ke-1 (tengah), $a = 0.16$ m
5. Jarak dari alas balok ke as tendon ke-1 (tepi), $a' = 0.45$ m

4.1.7 Data Momen Hasil Program Bantu

1. Momen akibat kombinasi Ektrim, $M_{EQ} = 1957.793$ kN.m
2. Momen akibat kombinasi Layan 1, $M_{layan 1} = 7033.640$ kN.m
3. Momen akibat kombinasi Layan 3, $M_{layan 3} = 5027.740$ kN.m
4. Momen envelope kombinasi Kuat & Ektrim (PB), $M_u = 13019.483$ kN.m

4.1.8 Data Kondisi Pembebanan Angin pada Lokasi Jembatan

1. Kecepatan angin gesekan, $V_0 = 19.3$ km/jam
2. Kecepatan angin pada elevasi 10,00 meter dari permukaan tanah,
 $V_{10} = 126$ km/jam
3. Kecepatan angin pada elevasi 1,00 meter dari permukaan jembatan,
 $V_B = 90$ km/jam
4. Panjang gesekan di hulu jembatan, $Z_0 = 2500$ mm
5. Nilai tekanan angin dasar, $P_B = 0.0024$ N/mm²

4.1.9 Nilai Percepatan Puncak dan Respon Spektra

1. Percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas 7% selama 75 tahun,
 $PGA = 0.464$ g
2. Respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun, $S_s = 1.028$ g
3. Respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun $S_1 = 0.464$ g

4.1.10 Jumlah Strand Pakai per Tendon

Tabel 4.1 Jumlah Strand Pakai per Tendon

Tendon ke	Unit Tendon	Jumlah Strands	Maksimum Strands	Lebar Angkur		Diameter Selubung (mm)
				Stressing	Dead End	
1	5-19	19	19	265	375	87
2	5-19	19	19	265	375	87
3	5-19	19	19	265	375	87
4	5-19	19	19	265	375	87
Total Strands		76				

4.2 Pembebanan dan Gaya dalam pada Girder

Perencanaan struktur girder jembatan dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada girder. Adapun perhitungan besarnya beban dan nilai momen pada girder yaitu sebagai berikut.

4.2.1 Beban Mati Komponen Struktural Jembatan (MS)

1. Beban Mati Akibat PC-I Girder Jembatan

- Panjang bentang jembatan, $L = 45.00$ m
- Luas penampang balok prategang, $A = 0.752$ m²
- Berat jenis material beton PC I Girder, $W_c = 24.00$ kN/m³
- Beban mati akibat PC I Girder, $Q_{MS} = A * W_c = 18.06$ kN/m
- Momen akibat slab lantai jembatan,
 $M_{MS-1} = 1/8 * Q_{MS} * L^2 = 4570.22$ kN.m

2. Beban Mati Akibat Slab Lantai Jembatan

- Tebal slab lantai jembatan, $h_s = 0.20$ m
- Lebar efektif slab lantai jembatan, $s = 1.80$ m
- Berat jenis material beton bertulang, $W_c = 24.00$ kN/m³
- Beban mati akibat slab lantai jembatan, $Q_{MS} = h_s * B_{eff} * W_c = 8.64$ kN/m
- Momen akibat slab lantai jembatan,
 $M_{MS-2} = 1/8 * Q_{MS} * L^2 = 2187.00$ kN.m

3. Beban Mati Akibat Diafragma PC-I Girder

- Jumlah diafragma rencana, $n = 3$
- Jarak diafragma dari tengah bentang, $X_2 = 22.00$ m
- Ukuran diafragma, Tebal = 0.200 m
Tinggi = 1.650 m
Lebar = 1.800 m
- Berat 1 buah diafragma, $W = W_c * \text{Tebal} * \text{Tinggi} * \text{Lebar} = 14.26$ kN
- Momen akibat diafragma PC-I Girder, $M_{MS-3} = 160.38$ kN.m

4.2.2 Beban Prategang pada PC I Girder

- Gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan, $P_{eff} = 8061.391$ kN
- Eksentrisitas tendon ditengah bentang, $e = 0.812$ m
- Eksentrisitas tendon ditepi bentang, $e' = 0.000$ m

4. Ketinggian parabola tendon prategang, $h = |e| + |e'| = 0.812 \text{ m}$
5. Beban merata akibat tendon prategang, $Q_p = 8 * P_{\text{eff}} * h / L^2 = 25.859 \text{ kN/m}$
6. Momen akibat tendon prategang, $M_p = 1/8 * Q_p * L^2 = 6545.450 \text{ kN.m}$

4.2.3 Beban Mati Perkerasan dan Utilitas Jembatan (MA)

1. Beban Mati Tambahan Akibat Lapisan Aspal + Overlay

- a. Tebal lapisan aspal + overlay, $t_a = 0.05 \text{ m}$
- b. Berat aspal, $W_a = 22.00 \text{ kN/m}^3$
- c. Beban mati tambahan akibat perkerasan aspal,
 $Q_a = t_a * b_{\text{eff}} * W_a = 1.98 \text{ kN/m}^2$
- d. Momen akibat lapisan aspal + overlay,
 $M_{\text{MA-1}} = 1/8 * Q_a * L^2 = 501.19 \text{ kN.m}$

2. Beban Mati Tambahan Akibat Genangan Air Hujan

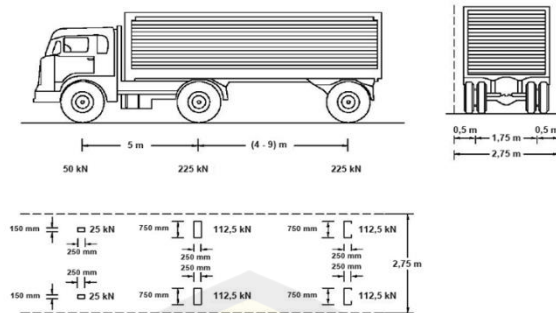
- a. Tebal genangan air hujan, $t_h = 0.05 \text{ m}$
- b. Berat jenis air, $W_w = 9.80 \text{ kN/m}^3$
- c. Beban mati tambahan akibat genangan air hujan,
 $Q_h = t_h * b_{\text{eff}} * W_w = 0.88 \text{ kN/m}^2$
- d. Momen akibat lapisan aspal + overlay,
 $M_{\text{MA-2}} = 1/8 * Q_h * L^2 = 223.26 \text{ kN.m}$

4.2.4 Beban Lajur pada Struktur Jembatan

1. Beban Lajur Akibat Lajur D

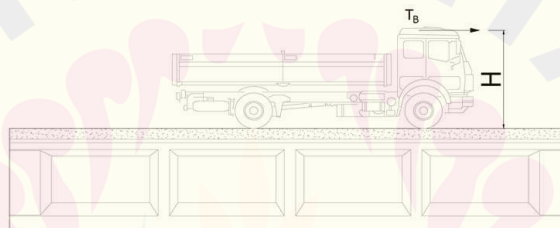
- a. Panjang bentang jembatan, $L = 45.00 \text{ m}$
- b. Nilai beban terbagi rata, $BTR = 9 * (0.5 + 15/L) = 7.5 \text{ kN/m}^2$
- c. Nilai beban garis, $BGT = 49 \text{ kN/m}$
- d. Faktor pembesaran dinamis untuk pembebanan lajur garis,
Panjang bentang $\leq 50 \text{ m}$, $FBD = 40\%$
- e. Nilai beban garis, $(1 + FBD) * BGT = 68.6 \text{ kN/m}$
- f. Momen akibat beban lajur D,
 $M_{\text{TD}} = (1/8 * BTR * L + 1/4 * (1 + FBD) * BGT) * s * L = 4806.34 \text{ kN.m}$

2. Beban Lajur Akibat Lajur T



Gambar 4.2 Pembebanan truk “T” (500 kN)

- a. Berat truk total, $TT = 130 \text{ kN}$
 - b. Faktor pembesaran dinamis untuk pembebanan lajur garis, $FBD = 30\%$
 - c. Momen akibat beban lajur D, $M_{TT} = 3281.34 \text{ kN.m}$
3. Beban Lajur Akibat Rem



Gambar 4.3 Pembebanan Akibat Rem

- a. Tinggi posisi beban rem bekerja, $H = 1.8 \text{ m}$
- b. 25% dari berat gandar truk desain, $TB_1 = 0,25 * TT = 32.50 \text{ kN}$
- c. 5% dari berat truk + BTR, $TB_2 = 5\% * (TT + BTR * L * b) = 303.77 \text{ kN}$
- d. Beban rem yang berpengaruh, $TB = 303.77 \text{ kN}$
- e. Lebar total jembatan, $b = 8.00 \text{ m}$
- f. Jarak antara balok PC I Girder, $s = 1.80 \text{ m}$
- g. Jumlah balok PC I Girder, $n = 4.00$
- h. Beban Rem, $TB / n = 75.941 \text{ kN}$
- i. Lengan terhadap titik berat, $y = 2.834 \text{ m}$
- j. Beban momen akibat rem, $M = TB * y = 215.19 \text{ kN.m}$
- k. Momen maksimum akibat beban Rem, $M_{TB} = 0,5 * M = 107.59 \text{ kN.m}$

4.2.5 Beban Angin pada Kendaraan dan Struktur Jembatan

1. Beban Angin Pada Kendaraan
 - a. Asumsi ketinggian beban angin bekerja, $Y_w = 1.8 \text{ m}$
 - b. Jarak antar garda ban, $x = 1.75 \text{ m}$

c. Beban merata akibat terpaan pada kendaraan, $T_{EW} = 1.46 \text{ kN/m}$

d. Beban girder akibat angin pada kendaraan,

$$Q_{EW} = 0,5 * Y_{W/X} * T_{EW} = 0.751 \text{ kN/m}$$

e. Momen akibat beban angin pada kendaraan,

$$M_{EWL} = 1/8 * Q_{EWL} * L^2 = 190.061 \text{ kN.m}$$

2. Beban Angin Pada Struktur

a. Tinggi struktur (Girder, Plat Lantai, Railing Trotoar), $H = 2.10 \text{ m}$

b. Jarak antara balok prategang, $s = 1.800 \text{ m}$

c. Letak titik berat penampang komposit dari bawah, $Y_b = 1.32 \text{ m}$

d. Kecepatan angin gesekan, $V_o = 19.3 \text{ km/jam}$

e. Kecepatan angin pada elevasi 10,00 meter dari permukaan tanah, $V_{10} = 126 \text{ km/jam}$

f. Kecepatan angin pada elevasi 1,00 meter dari permukaan jembatan, $V_B = 90 \text{ km/jam}$

g. Elevasi permukaan struktur dari permukaan tanah, $Z = 25 \text{ m}$

h. Panjang gesekan di hulu jembatan, $Z_o = 2500 \text{ mm}$

i. Kecepatan angin rencana,

$$V_{DZ} = 2,5 * V_o * (V_{10} / V_B) * L_n (Z / Z_o) = 155.540 \text{ km/jam}$$

j. Nilai tekanan angin dasar, $P_B = 0.0024 \text{ N/mm}^2$

k. Nilai tekanan angin pada struktur, $P_D = P_B * (V_{DZ} / V_B)^2 = 0.0072 \text{ N/mm}^2$

l. Beban angin pada struktur, $E_{WS} = P_D * H = 15.053 \text{ kN/m}$

m. Momen akibat beban angin pada girder,

$$M_{EWS} = 1/8 * (E_{WS}/s) * L^2 = 2116.850 \text{ kN.m}$$

4.2.6 Beban Gempa Vertikal pada Girder

1. Lebar efektif pelat lantai, $B_{eff} = 1.296 \text{ m}$

2. Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700 * \sqrt{(f_c')} = 33234.019 \text{ MPa}$

3. Momen inersia penampang komposit terhadap titik berat pada sumbu x,
 $I_{xc} = 0.687 \text{ m}^4$

4. Panjang bentang jembatan, $L = 45.00 \text{ m}$

5. Kekakuan struktur terhadap gaya horizontal,

$$K_{p(h)} = 48 * E_c * I_{xc} / L^3 = 12026.24 \text{ kN/m}$$

6. Kekakuan struktur terhadap gaya vertikal,

$$K_{p(v)} = 384 / 5 * E_c * I_{xc} / L^3 = 19241.98 \text{ kN/m}$$

7. Berat beban mati dan mati tambahan struktur girder, $W_D = 1359.54 \text{ kN}$

8. Berat beban lajur pada struktur girder, $W_L = 730.98 \text{ kN}$

9. Berat total seismik girder, $W_T = W_D + 0,3 * W_L = 1578.83 \text{ kN}$

10. Periode getar alami struktur horizontal,

$$T_{(h)} = 2 * \pi * \sqrt{[W_t / (g * K_{p(h)})]} = 0.727 \text{ detik}$$

11. Periode getar alami struktur vertikal,

$$T_{(v)} = 2 * \pi * \sqrt{[W_D / (g * K_{p(v)})]} = 0.533 \text{ detik}$$

12. Koefisien respon gempa elastik akibat kekakuan horizontal, $C_{sm} = 0.661 \text{ g}$

13. Faktor modifikasi respon bangunan atas, $R = 1.5$

14. Gaya gempa vertikal berdasarkan kekakuan horizontal,

$$E_{q(1)} = 0,5 * C_{sm} / R * W_t = 348.05 \text{ kN}$$

15. Respon spektra periode pendek, $S_s = 1.028 \text{ g}$

16. Koefisien gempa vertikal, $C_v = 1.1$

17. Koefisien respon gempa elastik puncak, $S_{ds} = 1.1192864 \text{ g}$

18. Percepatan respons vertikal gempa,

Syarat :

$$T_{(v)} \leq 0,025 \text{ dt} \quad S_{aMv} = 0,3 * C_v * S_{ds} = 0 \text{ g}$$

$$0,025 < T_{(v)} \leq 0,05 \text{ dt} \quad S_{aMv} = 20 * C_v * S_{ds} * (T_{(v)} - 0,025) + 0,3 * C_v * S_{ds} = \text{g}$$

$$0,05 < T_{(v)} \leq 0,15 \text{ detik} \quad S_{aMv} = 0,8 * C_v * S_{ds} = \text{g}$$

$$0,15 < T_{(v)} \leq 2,00 \text{ detik} \quad S_{aMv} = 0,8 * C_v * S_{ds} * (0,15 / T_{(v)})^{0,75} = 0.380 \text{ g}$$

$$S_{aMv} = 0.380 \text{ g}$$

19. Percepatan respons spektral desain, $S_{av} = 2/3 * S_{aMv} = 0.254 \text{ g}$

20. Gaya gempa vertikal berdasarkan kekakuan vertikal,

$$E_{q(2)} = 0,2 * S_{DS} * W_D = 304.343 \text{ kN}$$

$$E_{q(3)} = 0,3 * S_{av} * W_D = 103.449 \text{ kN}$$

21. Gaya gempa vertikal pada girder yang berpengaruh,

$$E_q = \text{MAX}(E_{q(1)} ; E_{q(2)} ; E_{q(3)}) = 348.052 \text{ kN}$$

22. Nilai beban gempa pada girder, $Q_{Eq} = E_q / L = 7.734 \text{ kN/m}$

23. Momen akibat beban gempa vertikal pada girder,

$$M_{EQ} = 1/8 * Q_{EQ} * L^2 = 1957.793 \text{ kN.m}$$

4.2.7 Rekapitulasi Momen pada Struktur Jembatan

1. Momen akibat beban mati komponen struktural & non struktural jembatan,

$$M_S = 6917.603 \text{ kN.m}$$

2. Momen akibat beban gaya prategang, $M_P = 6545.450 \text{ kN.m}$

3. Momen akibat beban mati perkerasaan dan utilitas, $M_A = 724.444 \text{ kN.m}$

4. Momen akibat beban lajur kendaraan, $M_{TD} / M_{TT} = 4806.338 \text{ kN.m}$

5. Momen akibat beban lajur akibat rem, $M_{TB} = 107.593 \text{ kN.m}$

6. Momen akibat beban angin pada kendaraan, $M_{EWL} = 190.061 \text{ kN.m}$

7. Momen akibat beban angin pada struktur, $M_{EWS} = 2116.850 \text{ kN.m}$

8. Momen akibat beban gempa vertikal pada girder, $M_{EQ} = 1957.793 \text{ kN.m}$

9. Momen akibat kombinasi Layan 1,

$$M_{LAYAN 1} = M_S - M_P + M_A + M_{TD} / M_{TT} + M_{TB} + M_{EWL} + 0,3 * M_{WS} = 6835.642 \text{ kN.m}$$

10. Momen akibat kombinasi Layan 3,

$$M_{LAYAN 3} = M_S - M_P + M_A + 0,8 * (M_{TD} / M_{TT} + M_{TB}) = 5027.740 \text{ kN.m}$$

4.2.8 Gaya Dalam Bidang Momen

Tabel 4.2 Bidang Momen pada Masing-Masing Beban

	M_S	M_A	M_{PR}	M_{TD}	M_{TB}	M_{EWL}	M_{EWS}
	27.33	2.86	-25.86	13.50	19.128	0.75	15.05
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.125	674.47	70.63	-638.18	402.63	2.69	18.53	371.51
2.250	1314.34	137.64	-1243.64	788.18	5.38	36.11	723.96
3.375	1919.63	201.03	-1816.36	1156.64	8.07	52.74	1057.37
4.500	2490.34	260.80	-2356.36	1508.02	10.76	68.42	1371.72
5.625	3026.45	316.94	-2863.63	1842.31	13.45	83.15	1667.02
6.750	3527.98	369.47	-3338.18	2159.51	16.14	96.93	1943.27
7.875	3994.92	418.37	-3780.00	2459.63	18.83	109.76	2200.47
9.000	4427.27	463.64	-4189.09	2742.66	21.52	121.64	2438.61
10.125	4825.03	505.30	-4565.45	3008.61	24.21	132.57	2657.71
11.250	5188.20	543.33	-4909.09	3257.47	26.90	142.55	2857.75
12.375	5516.79	577.74	-5220.00	3489.24	29.59	151.57	3038.74
13.500	5810.79	608.53	-5498.18	3703.93	32.28	159.65	3200.68
14.625	6070.20	635.70	-5743.63	3901.53	34.97	166.78	3343.56
15.750	6295.02	659.24	-5956.36	4082.05	37.66	172.96	3467.40
16.875	6485.25	679.17	-6136.36	4245.48	40.35	178.18	3572.18
18.000	6640.90	695.47	-6283.63	4391.82	43.04	182.46	3657.92
19.125	6761.96	708.14	-6398.18	4521.08	45.73	185.78	3724.60
20.250	6848.43	717.20	-6480.00	4633.25	48.42	188.16	3772.23
21.375	6900.31	722.63	-6529.09	4728.34	51.11	189.59	3800.80
22.500	6917.60	724.44	-6545.45	4806.34	53.80	190.06	3810.33

Tabel 4.3 Bidang Momen pada Masing-Masing Kombinasi Beban

	LAYAN 1	KUAT 1	KUAT 2	KUAT 3	KUAT 4	KUAT 5	ENVE KUAT
	Kn.m	Kn.m	Kn.m	Kn.m	Kn.m	Kn.m	Kn.m
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.125	642.22	1042.03	947.34	900.00	1018.07	547.03	1042.03
2.250	1255.21	2037.27	1851.29	1753.85	1983.94	1066.00	2037.27
3.375	1838.97	2985.75	2711.83	2561.54	2897.59	1556.92	2985.75
4.500	2393.49	3887.44	3528.96	3323.08	3759.04	2019.78	3887.44
5.625	2918.77	4742.36	4302.70	4038.47	4568.27	2454.60	4742.36
6.750	3414.83	5550.50	5033.03	4707.70	5325.30	2861.36	5550.50
7.875	3881.64	6311.86	5719.97	5330.78	6030.12	3240.07	6311.86
9.000	4319.22	7026.44	6363.50	5907.70	6682.73	3590.73	7026.44
10.125	4727.57	7694.25	6963.62	6438.47	7283.14	3913.33	7694.25
11.250	5106.68	8315.28	7520.35	6923.09	7831.33	4207.89	8315.28
12.375	5456.56	8889.53	8033.67	7361.55	8327.31	4474.38	8889.53
13.500	5777.20	9417.00	8503.60	7753.86	8771.09	4712.83	9417.00
14.625	6068.61	9897.70	8930.12	8100.01	9162.65	4923.23	9897.70
15.750	6330.78	10331.62	9313.24	8400.01	9502.01	5105.57	10331.62
16.875	6563.72	10718.76	9652.95	8653.86	9789.16	5259.86	10718.76
18.000	6767.42	11059.12	9949.27	8861.55	10024.10	5386.09	11059.12
19.125	6941.89	11352.71	10202.18	9023.09	10206.83	5484.28	11352.71
20.250	7087.13	11599.52	10411.69	9138.48	10337.35	5554.41	11599.52
21.375	7203.13	11799.55	10577.80	9207.71	10415.67	5596.49	11799.55
22.500	7289.89	11952.80	10700.51	9230.78	10441.77	5610.51	11952.80

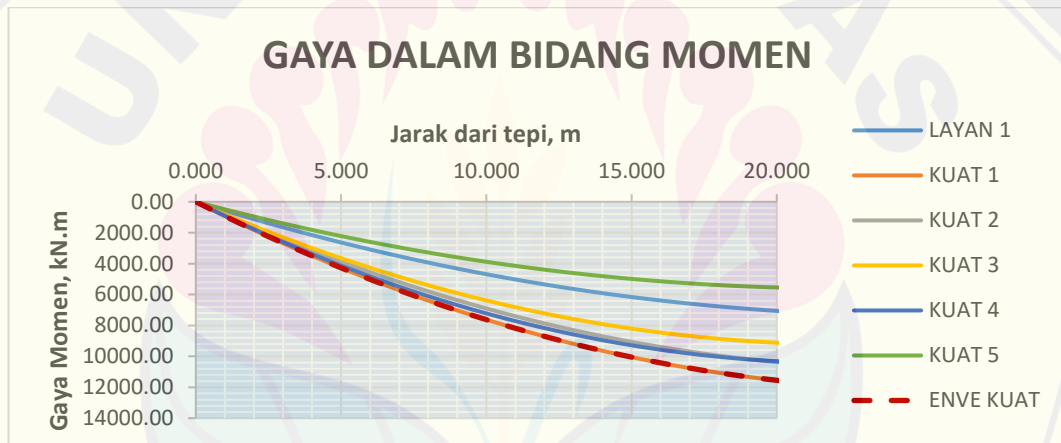
4.2.9 Gaya Dalam Bidang Geser

Tabel 4.4 Bidang Geser Pada Masing - Masing Beban

	Ms	MA	M _{PR}	M _{TD}	M _{TB}	M _{EWL}	M _{EWS}
	27.33	2.86	-25.86	13.50	19.13	0.75	15.05
0.000	614.90	64.40	-581.82	303.75	2.39	16.89	338.70
1.125	584.15	61.18	-552.73	288.56	2.39	16.05	321.76
2.250	553.41	57.96	-523.64	273.38	2.39	15.20	304.83
3.375	522.66	54.74	-494.55	258.19	2.39	14.36	287.89
4.500	491.92	51.52	-465.45	243.00	2.39	13.52	270.96
5.625	461.17	48.30	-436.36	227.81	2.39	12.67	254.02
6.750	430.43	45.08	-407.27	212.63	2.39	11.83	237.09
7.875	399.68	41.86	-378.18	197.44	2.39	10.98	220.15
9.000	368.94	38.64	-349.09	182.25	2.39	10.14	203.22
10.125	338.19	35.42	-320.00	167.06	2.39	9.29	186.28
11.250	307.45	32.20	-290.91	151.88	2.39	8.45	169.35
12.375	276.70	28.98	-261.82	136.69	2.39	7.60	152.41
13.500	245.96	25.76	-232.73	121.50	2.39	6.76	135.48
14.625	215.21	22.54	-203.64	106.31	2.39	5.91	118.54
15.750	184.47	19.32	-174.55	91.13	2.39	5.07	101.61
16.875	153.72	16.10	-145.45	75.94	2.39	4.22	84.67
18.000	122.98	12.88	-116.36	60.75	2.39	3.38	67.74
19.125	92.23	9.66	-87.27	45.56	2.39	2.53	50.80
20.250	61.49	6.44	-58.18	30.38	2.39	1.69	33.87
21.375	30.74	3.22	-29.09	15.19	2.39	0.84	16.93
22.500	0.00	0.00	0.00	0.00	2.39	0.00	0.00

Tabel 4.5 Bidang Geser Untuk Masing - Masing Kombinasi Beban

	LAYAN 1	KUAT 1	KUAT 2	KUAT 3	KUAT 4	KUAT 5	ENVE KUAT
	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
0.000	522.12	897.39	774.94	820.51	928.16	884.06	928.16
1.125	496.13	852.74	736.36	779.49	881.75	839.86	881.75
2.250	470.15	808.08	697.78	738.46	835.34	795.66	835.34
3.375	444.16	763.43	659.20	697.44	788.93	751.45	788.93
4.500	418.17	718.78	620.62	656.41	742.53	707.25	742.53
5.625	392.19	674.12	582.04	615.39	696.12	663.05	696.12
6.750	366.20	629.47	543.46	574.36	649.71	618.85	649.71
7.875	340.21	584.81	504.88	533.33	603.30	574.64	603.30
9.000	314.23	540.16	466.30	492.31	556.89	530.44	556.89
10.125	288.24	495.50	427.72	451.28	510.49	486.24	510.49
11.250	262.26	450.85	389.14	410.26	464.08	442.03	464.08
12.375	236.27	406.19	350.56	369.23	417.67	397.83	417.67
13.500	210.28	361.54	311.98	328.21	371.26	353.63	371.26
14.625	184.30	316.89	273.40	287.18	324.86	309.42	324.86
15.750	158.31	272.23	234.82	246.15	278.45	265.22	278.45
16.875	132.32	227.58	196.24	205.13	232.04	221.02	232.04
18.000	106.34	182.92	157.67	164.10	185.63	176.81	185.63
19.125	80.35	138.27	119.09	123.08	139.22	132.61	139.22
20.250	54.36	93.61	80.51	82.05	92.82	88.41	93.61
21.375	28.38	48.96	41.93	41.03	46.41	44.20	48.96
22.500	2.39	4.30	3.35	0.00	0.00	0.00	4.30



Grafik 4.1 Gaya Bidang Momen Untuk Masing - Masing Kombinasi Beban



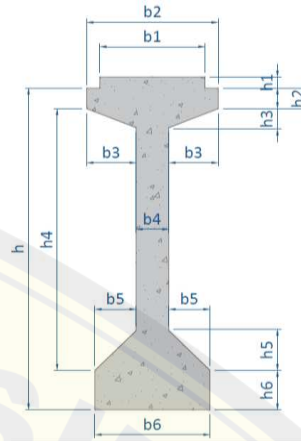
Grafik 4.2 Gaya Bidang Geser Untuk Masing - Masing Kombinasi Beban

4.3 Analisa dan Perencanaan PC-I Girder

4.3.1 Dimensi Balok Prestress

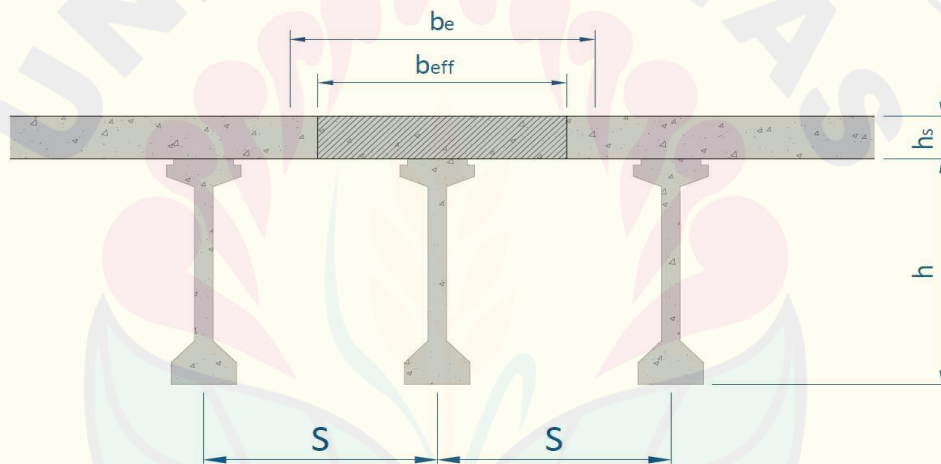
Tabel 4.6 Dimensi Balok Prestress

Kode	Lebar (m)	Kode	Tebal (m)
b1	0.640	h1	0.070
b2	0.800	h2	0.130
b3	0.300	h3	0.120
b4	0.200	h4	1.650
b5	0.250	h5	0.250
b6	0.700	h6	0.250
4 2 h			2.100



Gambar 4.4 Dimensi Balok Prestress

4.3.2 Lebar Efektif Slab Lantai Beton

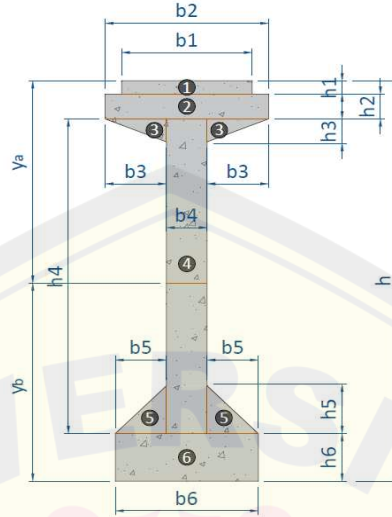


Gambar 4.5 Balok Prategang dan Plat Beton

- Syarat nilai lebar efektif slab lantai beton,
 Syarat 1 : $B_e = L / 4 = 11.25 \text{ m}$
 Syarat 2 : $B_e = s = 1.80 \text{ m}$
 Syarat 3 : $B_e = 12 * h_s = 2.40 \text{ m}$
- Nilai lebar efektif slab lantai beton, $B_e = 1.80 \text{ m}$
- Modulus elastik plat beton, $E_{c\text{-plat}} = 25742.96 \text{ MPa}$
- Modulus elastik balok beton prategang,
 $E_{c\text{-balok}} = 0,043 * (w_c)^{1,5} * \sqrt{f_c'} \text{ (balok)} = 35749.53 \text{ MPa}$
- Nilai perbandingan modulus elastik plat dan balok,
 $n = E_{c\text{-plat}} / E_{c\text{-balok}} = 0.720$

6. Lebar pengganti beton plat lantai jembatan, $B_{eff} = n * B_e = 1.296 \text{ m}$

4.3.3 Section Properties Balok Prategang



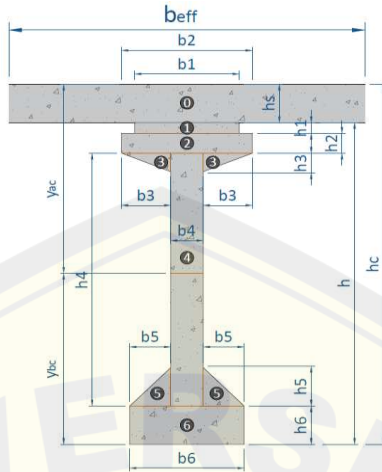
Gambar 4.6 Section Properties Balok Prategang

Tabel 4.7 Section Properties Balok Prategang

Dimensi		Luas Tampang A (m ²)	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen A * y (m ³)	Inersia Momen A * y ² (m ⁴)	Inersia Momen I _o (m ⁴)
Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
0.64	0.07	0.0448	2.0650	0.0925	0.1910	1.83.E-05
0.80	0.13	0.1040	1.9650	0.2044	0.4016	1.46.E-04
0.30	0.12	0.0360	1.8600	0.0670	0.1245	2.88.E-05
0.20	1.65	0.3300	1.0750	0.3548	0.3814	7.49.E-02
0.25	0.25	0.0625	0.3333	0.0208	0.0069	2.17.E-04
0.70	0.25	0.1750	0.1250	0.0219	0.0027	9.11.E-04
Total :		0.7523		0.7613	1.1082	0.0762

1. Tinggi total balok prategang, $h = 2.100 \text{ m}$
2. Luas penampang balok prategang, $A = 0.752 \text{ m}^2$
3. Letak titik berat, $y_b = \Sigma (A * y) / \Sigma A = 1.012 \text{ m}$
 $y_a = h - y_b = 1.088 \text{ m}$
4. Momen inersia terhadap titik berat balok,
 $I_x = \Sigma I_o - \Sigma (A_n * (y_b - y_n)^2) = 0.414 \text{ m}^4$
5. Tahanan momen sisi atas, $W_a = I_x / y_a = 0.380 \text{ m}^3$
6. Tahanan momen sisi bawah, $W_b = I_x / y_b = 0.409 \text{ m}^3$

4.3.4 Section Properties Balok Komposit (Prategang + Plat Lantai)



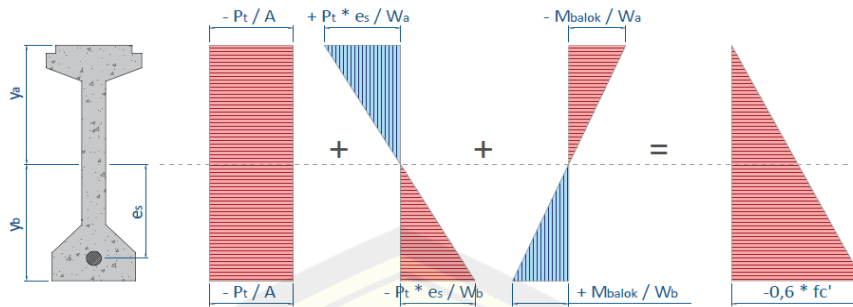
Gambar 4.7 Section Properties Balok Komposit

Tabel 4.8 Section Properties Balok Komposit

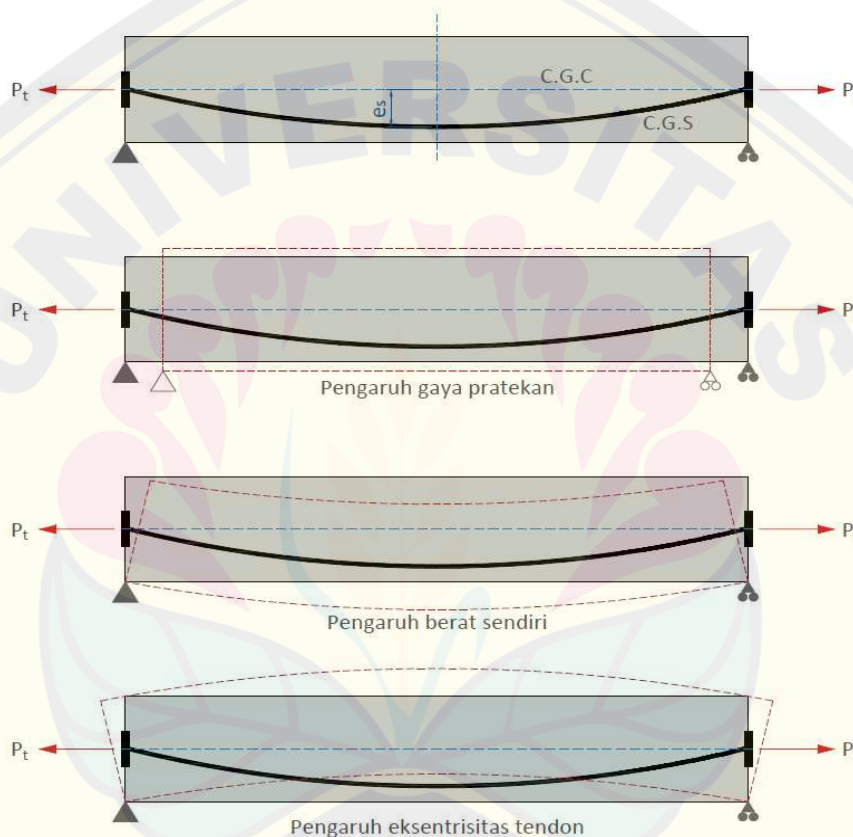
Dimensi		Luas Tampang A (m ²)	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen A * y (m ³)	Inersia Momen A * y ² (m ⁴)	Inersia Momen I _{co} (m ⁴)
Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
1.296	0.20	0.2592	2.2000	0.5703	1.2547	8.6.E-04
0.64	0.07	0.0448	2.0650	0.0925	0.1910	1.8.E-05
0.80	0.13	0.1040	1.9650	0.2044	0.4016	1.5.E-04
0.30	0.12	0.0360	1.8600	0.0670	0.1245	2.9.E-05
0.20	1.65	0.3300	1.0750	0.3548	0.3814	7.5.E-02
0.25	0.25	0.0625	0.3333	0.0208	0.0069	2.2.E-04
0.70	0.25	0.1750	0.1250	0.0219	0.0027	9.1.E-04
Total :		1.0115		1.3316	2.3629	0.0771

1. Tinggi total balok komposit, $h_c = 2.30$ m
2. Luas penampang balok composit, $A_c = 1.012$ m²
3. Letak titik berat, $y_{bc} = \Sigma (A_c * y) / \Sigma A_c = 1.316$ m
 $y_{ac} = h_c - y_{bc} = 0.984$ m
4. Momen inesia terhadap titik berat,
 $I_{xc} = I_{bc} - \Sigma (A_{nc} * (y_{bc} - y_n)^2) = 0.687$ m⁴
5. Tahanan momen sisi atas plat, $W_{ac} = I_{xc} / y_{ac} = 0.698$ m³
6. Tahanan momen sisi atas balok, $W'_{ac} = I_{xc} / (y_{ac} - h_s) = 0.877$ m³
7. Tahanan momen sisi bawah balok, $W_{bc} = I_{xc} / y_{bc} = 0.522$ m³

4.3.5 Gaya Prategang Kondisi Awal (Saat Transfer)



Grafik. 4.3 Kondisi Ideal Gaya Prategang



Gambar 4.8 Pengaruh Gaya yang Diterima Balok Prategang

1. Momen akibat berat sendiri balok, $M_{balok} = 4570.22 \text{ kN.m}$
2. Kuat tekan beton balok prategang, $f_c' = 50000.00 \text{ kPa}$
3. Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer),
 $f_{ci} = 0,80 * f_c' = 40000.00 \text{ kPa}$
4. Luas penampang balok prategang, $A = 0.7523 \text{ m}^2$
5. Letak titik berat, $y_b = 1.012 \text{ m}$
6. Tahanan momen sisi atas, $W_a = 0.3805 \text{ m}^3$

7. Tahanan momen sisi bawah, $W_b = 0.4091 \text{ m}^3$
8. Jarak titik berat tendon terhadap alas balok, $z_0 = 0.2 \text{ m}$
9. Eksentrisitas tendon, $e_s = y_b - z_0 = 0.812 \text{ m}$
10. Persamaan batas tegangan,

Tegangan di serat atas,

$$0 = - P_t / A + P_t * e_s / W_a - M_{\text{balok}} / W_a \quad (\text{pers. 1})$$

Tegangan di serat bawah,

$$-0,6 * f_{ci} = - P_t / A - P_t * e_s / W_b + M_{\text{balok}} / W_b \quad (\text{pers. 2})$$

11. Besarnya gaya prategang awal,

Dari persamaan (1) :

$$P_t = M_{\text{balok}} / (e_s - W_a / A) = 14926.280 \text{ kPa}$$

Dari persamaan (2) :

$$P_t = [0,60 * f_{ci} * W_b + M_{\text{balok}}] / (W_b / A + e_s) = 10613.033 \text{ kPa}$$

12. Diambil asumsi besarnya gaya prategang, $P_t = 10613.033 \text{ kPa}$

4.3.6 Gaya Prategang Kondisi Akhir

1. Luas tampang nominal satu strands, $A_{st} = 98.7 \text{ mm}^2$
2. Beban putus minimal satu strand, $P_{bs} = 183.582 \text{ kN}$
3. Jumlah strands perlu, $n_s = P_t / (80\% * P_{bs}) = 73 \text{ strands}$
 $n_s = P_t / (94 \% * f_{py} * A_{st}) = 73 \text{ strands}$
4. Digunakan jumlah strands, $n_s = 73 \text{ strands}$
5. Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% Jacking Force),
 $p_o = P_t / (0,8 * n_s * P_{bs}) = 79.19\%$
6. Gaya prategang yang terjadi akibat jacking, $P_j = p_o * n_s * P_{bs} = 10613.03 \text{ kN}$
7. Batas atas eksentrisitas tendon di tengah bentang,
 $e_{top} = - W_b / A + (M_a + M_s) / P_j = -0.064 \text{ m}$
8. Batas bawah eksentrisitas tendon di tengah bentang,
 $e_{btm} = y_b - W_a / A + M_a / P_j = 0.937 \text{ m}$
9. Perkiraan kehilangan tegangan (loss of prestress), $\text{loss} = 30\%$
10. Kontrol persentase tegangan leleh maksimum pada baja,

$$\text{Syarat : } P_o < 80\%$$

$$79.19\% < 80\% \rightarrow [\text{OK}]$$

11. Kontrol eksentrisitas tendon di tengah bentang,

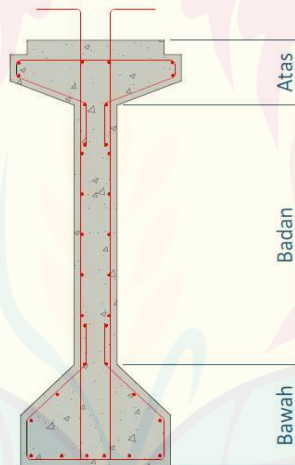
$$\begin{aligned} \text{Syarat : } e_{\text{top}} < e_s < e_{\text{btm}} \\ -0.064 < 0.812 < 0.937 \rightarrow [\text{OK}] \end{aligned}$$

12. Gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan (loss of prestress),

$$P_{\text{eff}} = 70\% * P_j = 7429.12 \text{ kN}$$

4.3.7 Pembesian Balok Prategang

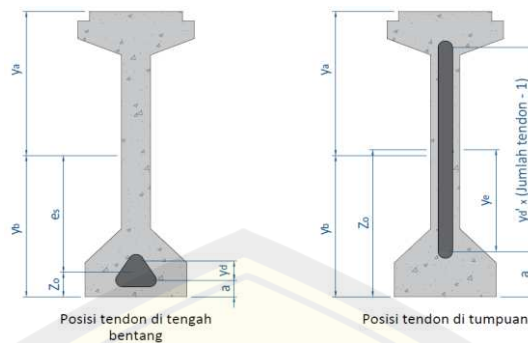
1. Diameter tulangan arah memanjang, $D = 13 \text{ mm}$
2. Syarat rasio tulangan minimum, $\rho_{\text{min}} = 1/4 * \sqrt{(f_c')}/(f_y) = 0.0044$
 $\rho_{\text{min}} = 1,4 / f_y = 0.0035$
 $\rho_{\text{min}} = 0.0040$
3. Rasio tulangan pakai, $\rho = 0.0044$
4. Luas tulangan arah memanjang per bar, $A_s = 1/4 * \pi * D^2 = 132.73 \text{ mm}^2$



Gambar 4.9 Penulangan Balok Prategang

5. Luas tampang bagian bawah, $A_{\text{bawah}} = 287500.00 \text{ mm}^2$
6. Luas tulangan bagian bawah, $A_{s \text{ bawah}} = \rho * A_{\text{bawah}} = 1270.58 \text{ mm}^2$
7. Jumlah tulangan perlu, $n_{\text{bawah}} = A_{s \text{ bawah}} / (\pi / 4 * D^2) = 10 \text{ bh}$
8. Luas tampang bagian atas, $A_{\text{atas}} = 208800.00 \text{ mm}^2$
9. Luas tulangan bagian atas, $A_{s \text{ atas}} = \rho * A_{\text{atas}} = 922.77 \text{ mm}^2$
10. Jumlah tulangan perlu, $n_{\text{atas}} = A_{s \text{ atas}} / (\pi / 4 * D^2) = 8 \text{ bh}$
11. Luas tampang bagian badan, $A_{\text{badan}} = 256000.00 \text{ mm}^2$
12. Luas tulangan bagian badan, $A_{s \text{ badan}} = \rho * A_{\text{badan}} = 1131.37 \text{ mm}^2$
13. Jumlah tulangan perlu, $n_{\text{badan}} = A_{s \text{ badan}} / (\pi / 4 * D^2) = 10 \text{ bh}$

4.3.8 Posisi Tendon



Gambar 4.10 Letak Tendon di Tumpuan dan Lapangan

1. Posisi Tendon di Tengah Bentang

- a. Perkiraan jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-1, $a = 0.16$ m
- b. Jumlah tendon baris ke-1 : $n_{t1} = 1$ tendon $n_{s1} = 19$ Strands
- c. Jumlah tendon baris ke-2 : $n_{t2} = 3$ tendon $n_{s2} = 57$ Strands
- $n_t = 4$ tendon $n_s = 76$ Strands
- d. Eksentrisitas tendon di tengah bentang, $e_s = 0.812$ m
- e. Jarak titik berat tendon terhadap alas balok, $z_o = y_b - e_s = 0.200$ m
- f. Jarak vertikal antara as ke as tendon, $y_d = n_s * (z_o - a) / n_{s1} = 160$ mm
- g. Diameter selubung tendon, $d_t = 87$ mm
- h. Jarak bersih vertikal antara selubung tendon, $y_d - d_t = 73$ mm
- i. Kontrol jarak bersih vertikal antara selubung tendon dengan syarat jarak maksimum,

Syarat, $y_d - d_t > 25$
 $73 > 25 \rightarrow [\text{OK}]$

2. Posisi Tendon di Tumpuan Bentang

- a. Perkiraan jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-1, $a' = 0.45$ m
- b. Jumlah tendon baris ke-1 : $n_{t1} = 1$ tendon $n_{s1} = 19$ Strands
- c. Jumlah tendon baris ke-2 : $n_{t2} = 1$ tendon $n_{s2} = 19$ Strands
- $n_{t3} = 1$ tendon $n_{s3} = 19$ Strands
- $n_{t4} = 1$ tendon $n_{s34} = 19$ Strands
- $n_t = 4$ tendon $n_s = 76$ Strands

- d. Momen statis tendon terhadap pusat tendon terbawah :

Tabel 4.9 Nilai Momen Statis Tendons Terhadap Pusat Tendons Terbawah

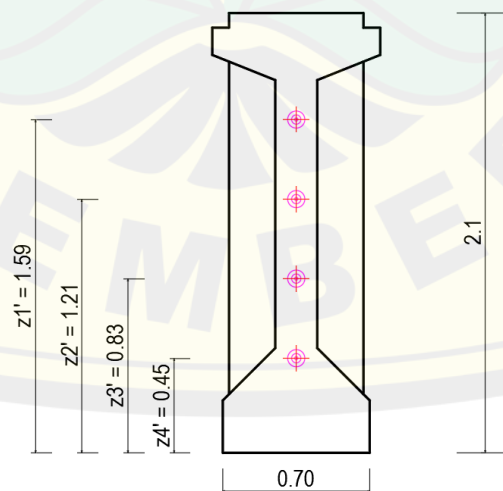
n_i	$y_{d'}$	$n_i * y_{d'}$
19	3	57
19	2	38
19	1	19
19	0	0
$\Sigma [n_i * y_{d'}] =$		114

- e. Letak titik berat penampang balok terhadap alas, $y_b = 1.012$ m
- f. Letak titik berat tendons terhadap pusat tendons terbawah,
 $y_e = y_b - a' = 0.562$ m
- g. Perbandingan jarak titik berat tendons dengan jarak antar tendons,
 $y_e / y_{d'} = [\Sigma n_i * y_{d'}] / n_s = 1.500$
- h. Jarak antar tendons, $y_{d'} = y_e / [y_e / y_{d'}] = 380$ mm
- i. Jarak titik berat tendons terhadap alas balok, $z_o = a' + y_e = y_b = 830$ mm
- j. Kontrol jarak bersih vertikal antara selubung tendons dengan syarat jarak maksimum,

Syarat, $y_{d'} > 25$
 $380 > 25 \rightarrow [\text{OK}]$

Tabel 4.10 Posisi Tendons di Tumpuan

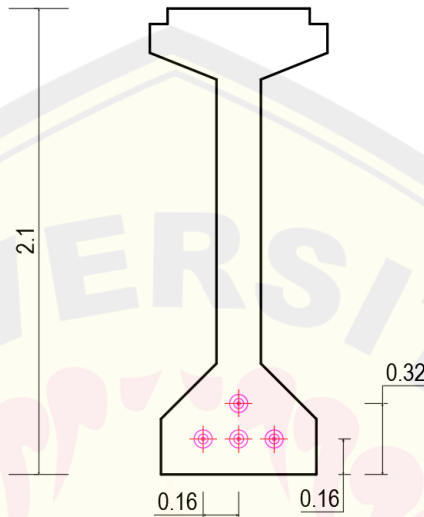
Nomer Tendons	Posisi Tendons di Tumpuan $x = 0.00$ m	Z_i' (m)
1	$z1' = a' + 3 * y_{d'}$	1.59
2	$z2' = a' + 2 * y_{d'}$	1.21
3	$z3' = a' + y_{d'}$	0.83
4	$z4' = a'$	0.45



Gambar 4.11 Posisi Tendons di Tumpuan

Tabel 4.11 Posisi Tendon di Tengah Bentang

Nomer Tendon	Posisi Tendon di Tengah Bentang X = 22.50 m	Z _i (m)	f _i = Z _i ' - Z _i (m)
1	z1 = a + yd	0.32	1.27
2	z2 = a	0.16	1.05
3	z3 = a	0.16	0.67
4	z4 = a	0.16	0.29

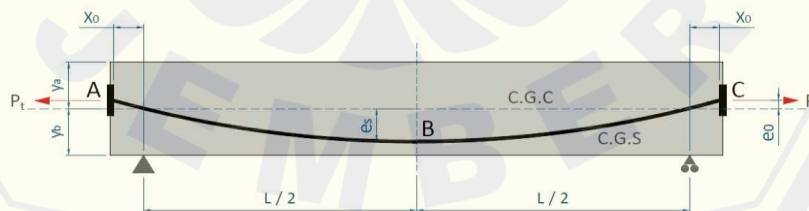


Gambar 4.12 Posisi Tendon di Tengah Bentang

4.4 Analisa Trace Masing-Masing Tendon

Dalam perencanaan trace masing-masing tendon diperlukan tahapan perhitungan sebagai berikut.

1. Lintasan Inti Tendon (Cable)
 - a. Panjang bentang jembatan, L = 45.00 m
 - b. Eksentrisitas tendon, e_s = 0.812 m
 - c. Persamaan lintasan tendon : $Y = 4 * f * X / L^2 * (L - X)$ dengan, f = e_s



Gambar 4.13 Lintasan Inti Tendon

2. Sudut Angkur

Persamaan lintasan tendon, $Y = 4 * f_i * X / L^2 * (L - X)$

$$dY/dX = 4 * f_i * (L - 2 * X) / L^2$$

Untuk $X = 0$ (posisi angkur di tumpuan), maka $d_Y/d_X = 4 \cdot f_i / L$

Persamaan sudut angkur, $\alpha = \text{TAN}^{-1} (d_Y/d_X)$

Tabel 4.12 Posisi Sudut Angkur di Tumpuan

No. Tendon	Jumlah Strands	Diameter Selubung	Eksentrisitas (f_i) (m)	dy/dx	Sudut Angkur (α)	
					Rad	Deg
1	19	87	1.270	0.1129	0.1124	6.441
2	19	87	1.050	0.0933	0.0931	5.332
3	19	87	0.670	0.0596	0.0595	3.408
4	19	87	0.290	0.0258	0.0258	1.477

3. Tata Letak dan Trace Kabel

Panjang bentang jembatan, $L = 45.00$ m

Panjang fokus tengah bentang, $f_o = e_s = 0.81$ m

Letak titik berat dari serat bawah, $y_b = 1.012$ m

Panjang fokus masing-masing tendon,

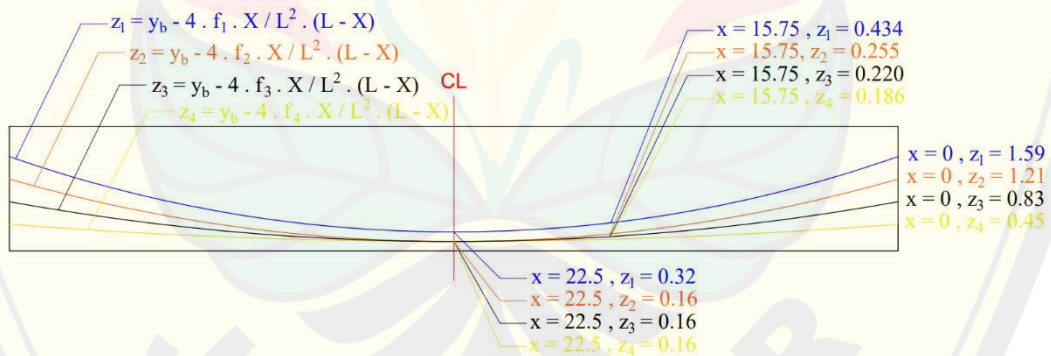
Tendon 1, $f_1 = 1.27$ m

Tendon 2, $f_2 = 1.05$ m

Tendon 3, $f_3 = 0.67$ m

Tendon 4, $f_4 = 0.29$ m

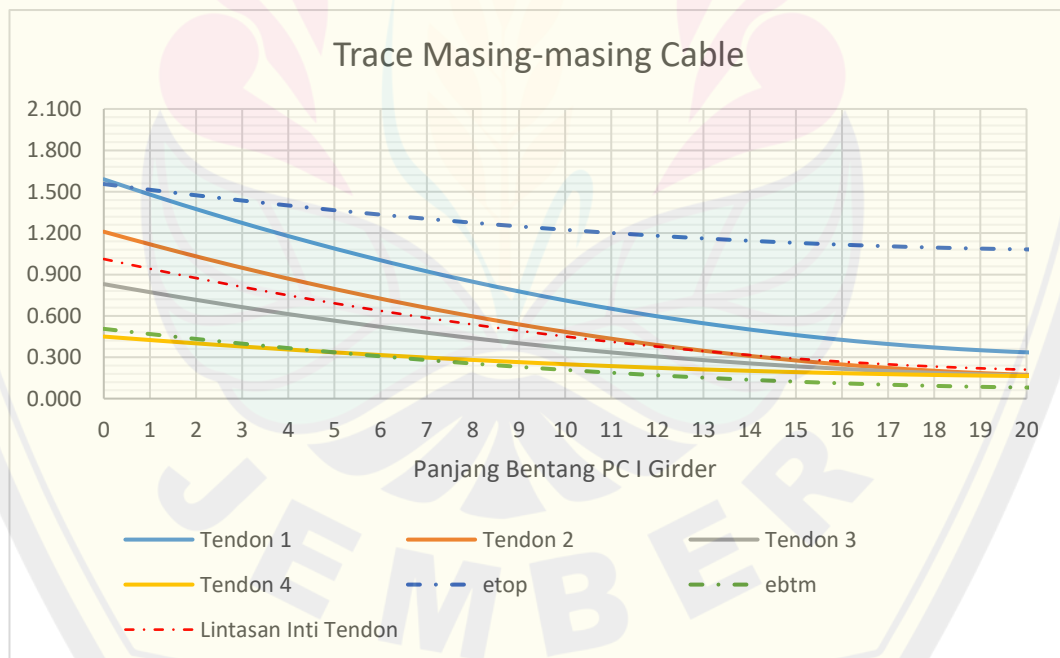
Posisi masing-masing cable : $z_i = y_b - 4 \cdot f_i \cdot X / L^2 \cdot (L - X)$



Gambar 4.14 Letak Titik dan Persamaan Masing-Masing Tendon

Tabel 4.13 Trace dari Masing-Masing Cable Tendon

Jarak X (m)	Trace Z_0 (m)	Posisi masing-masing cable				Batas Eksentrisitas	
		Z_1 (m)	Z_2 (m)	Z_3 (m)	Z_4 (m)	e_{top} (m)	e_{btm} (m)
0.000	1.012	1.590	1.210	0.830	0.450	1.556	0.506
1.125	0.933	1.466	1.108	0.765	0.422	1.509	0.464
2.250	0.858	1.349	1.011	0.703	0.395	1.465	0.424
3.375	0.787	1.238	0.919	0.644	0.370	1.423	0.386
4.500	0.720	1.133	0.832	0.589	0.346	1.383	0.351
5.625	0.657	1.034	0.751	0.537	0.323	1.346	0.317
6.750	0.598	0.942	0.675	0.488	0.302	1.311	0.286
7.875	0.543	0.857	0.604	0.443	0.283	1.279	0.257
9.000	0.492	0.777	0.538	0.401	0.264	1.249	0.230
10.125	0.446	0.704	0.478	0.363	0.248	1.221	0.205
11.250	0.403	0.638	0.423	0.328	0.233	1.196	0.183
12.375	0.364	0.577	0.373	0.296	0.219	1.173	0.162
13.500	0.330	0.523	0.328	0.267	0.206	1.153	0.144
14.625	0.299	0.476	0.289	0.242	0.196	1.135	0.128
15.750	0.273	0.434	0.255	0.220	0.186	1.119	0.114
16.875	0.251	0.399	0.226	0.202	0.178	1.106	0.102
18.000	0.232	0.371	0.202	0.187	0.172	1.095	0.092
19.125	0.218	0.349	0.184	0.175	0.167	1.087	0.085
20.250	0.208	0.333	0.171	0.167	0.163	1.081	0.079
21.375	0.202	0.323	0.163	0.162	0.161	1.077	0.076
22.500	0.200	0.320	0.160	0.160	0.160	1.076	0.075



Grafik 4.4 Trace Masing-Masing Cable

4.5 Analisa Kehilangan Gaya Prategang

Dalam analisa kehilangan gaya prategang diperlukan beberapa tahapan perhitungan kehilangan tegangan akibat gesekan ankur, akibat gesekan cable,

akibat pemendekan elastis, akibat pengangkuran, akibat rangkai beton, akibat susut beton, dan akibat relaksasi baja. Untuk tahapan perhitungan sebagai berikut.

4.5.1 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur (Anchorage Friction)

1. Gaya prategang akibat jacking (jacking force), $P_j = 10613.03 \text{ kN}$
2. Asumsi persentase kehilangan gaya akibat gesekan angkur, $\text{Loss} = 3\%$
3. Gaya prategang setelah kehilangan gaya akibat gesekan angkur,
 $P_o = 97\% * P_j = 10294.642 \text{ kN}$

4.5.2 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Cable (Jack Friction)

1. Sudut lintasan tendon dari ujung ke tengah, $\alpha_{AB} = 0.073$; $\alpha_{BC} = 0.073 \text{ rad}$
2. Perubahan sudut total lintasan tendon, $\alpha = \alpha_{AB} + \alpha_{BC} = 0.147$
3. Nilai koefisien gesek, $\mu = 0.06$
4. Nilai koefisien Wobble, $k = 0.0005$
5. Loss of prestress akibat gesekan kabel,
 untuk, $L_x = 22.90 \text{ m}$ $P_x = P_o * e^{-(\mu * \alpha + k * L_x)} = 10088.123 \text{ kN}$
 untuk, $L_x = 45.80 \text{ m}$ $P_x = P_o * e^{-(\mu * \alpha + k * L_x)} = 9973.273 \text{ kN}$

4.5.3 Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis (Elastic Shortening)

1. Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat tampang balok, $e_s = 0.8120 \text{ m}$
2. Momen inersia tampang balok beton, $I_x = 0.4140 \text{ m}^4$
3. Luas tampang balok beton, $A = 0.7523 \text{ m}^2$
4. Modulus elatis balok beton saat transfer, $E_{\text{balok}} = 29725.41 \text{ MPa}$
5. Modulus elastis baja prategang (strand), $E_s = 193000 \text{ MPa}$
6. Jumlah total strands, $n_s = 76$
7. Luas tampang nominal satu strands, $A_{st} = 0.0000987 \text{ m}^2$
8. Beban putus satu strands, $P_{bs} = 183.582 \text{ kN}$
9. Momen akibat berat sendiri balok, $M_{\text{balok}} = 4570.223 \text{ kN.m}$
10. Luas tampang tendon baja prategang, $A_t = n_s * A_{st} = 0.0075 \text{ m}^2$
11. Modulus ratio antara baja prategang dengan balok beton, $n = E_s / E_{\text{balok}} = 6.4928$
12. Jari-jari inersia penampang balok beton, $i = \sqrt{(I_x / A)} = 0.7418 \text{ m}$
13. Koefisien elastis, $K_e = A_t / A * (1 + e_s^2 / i^2) = 0.0219$
14. Tegangan baja prategang sebelum loss of prestress (di tengah bentang),
 $\sigma_{pi} = n_s * P_{bs} / A_t = 1860000 \text{ kPa}$

15. Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri, $\Delta\sigma_{pe'} = \sigma_{pi} * n * K_e / (1 + n * K_e) = 231703.844 \text{ kPa}$
16. Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaruh gaya prategang Pt
 $\sigma_{bt} = \Delta\sigma_{pe'} / n - M_{balok} * e_s / I_x = 26722.955 \text{ kPa}$
17. Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik tanpa pengaruh berat sendiri, $\Delta\sigma_{pe} = 1/2 * n * \sigma_{bt} = 86752.889 \text{ kPa}$
18. Kehilangan prategang akibat pemendekan elastis, $\Delta E_S = \Delta\sigma_{pe} * A_t = 650.751 \text{ kN}$

4.5.4 Kehilangan Tegangan Akibat Pengangkuran (Anchoring)

1. Panjang tarik masuk, diambil 2 mm, $\Delta L = 0.002 \text{ m}$
2. Modulus elastis baja prategang, $E_s = 193000 \text{ MPa}$
3. Luas tampang tendon baja prategang, $A_t = 0.0075 \text{ m}^2$
4. Loss of prestress akibat gesekan angkur, $P_o = 10294.642 \text{ kN}$
5. Loss of prestress akibat gesekan cable, $P_x = 10088.123 \text{ kN}$
6. Jarak dari ujung sampai tengah bentang balok, $L_x = 22.90 \text{ m}$
7. Kemiringan diagram gaya, $m = \tan \omega = (P_o - P_x) / L_x = 9.018 \text{ kN/m}$
8. Jarak pengaruh kritis slip angkur dr ujung, $L_{max} = \sqrt{(\Delta L * E_s * A_t / m)} = 17.918 \text{ m}$
9. Kehilangan gaya prategang akibat angkur, $\Delta P = 2 * L_{max} * \tan \omega = 323.185 \text{ kN}$
 $P'_{max} = P_o - \Delta P / 2 = 10133.049 \text{ kN}$
10. Sisa gaya prategang setelah pengangkuran, $P_i = P'_{max} - \Delta E_S = 9482.298 \text{ kN}$

4.5.5 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Rangkak Beton

1. Faktor pengaruh lingkungan (kondisi normal),

Kelembaban relatif	: H = 70 %	$K_h^c = 0.8010$
Ketebalan minimum beton	: d = 15 cm	$K_d^c = 1.0015$
Slump	: s = 7.5 cm	$K_s^c = 0.6250$
Kadar agregat halus	: F = 50 %	$K_f^c = 1.0000$
umur beton saat dibebani	: $t_o = 28$ hari	$K_{t_o}^c = 0.8436$
Kadar udara dalam beton	: AC = 6 %	$K_{ac}^c = 1.0000$
2. Koefisien rangkak maksimum,
 $C_u = 2,35 * K_h^c * K_d^c * K_s^c * K_f^c * K_{t_o}^c * K_{ac}^c = 0.9940$
3. Waktu setelah pembebanan, $t = 28$ hari
4. Koefisien rangkak beton pada t hari, $\phi_{cc}(t) = (t^{0,6} / (10 + t^{0,6})) * C_u = 0.42$

5. Modulus elastis baja prategang, $E_s = 193000 \text{ MPa}$
6. modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang, $E_{\text{balok}} = 29725.41 \text{ MPa}$
7. Jarak titik berat tendon baja terhadap tdk berat tampang balok, $e_s = 0.8120 \text{ m}$
8. Momen inersia tampang balok beton, $I_x = 0.4140 \text{ m}^4$
9. Luas tampang tendon baja prategang, $A_t = 0.0075 \text{ m}^2$
10. Luas tampang balok beton, $A = 0.7523 \text{ m}^2$
11. Momen akibat berat sendiri balok, $M_{\text{balok}} = 4570.223 \text{ kN.m}$
12. Sisa gaya prategang setelah pengangkuran, $P_i = 9482.298 \text{ kN}$
13. Tegangan beton akibat momen berat sendiri yang bekerja setelah diberi gaya prategang, $f_{\text{pci}} = P_i / A + P_i * e^2 / I_x - M_{\text{balok}} * e^2 / I_x = 16665.184 \text{ kPa}$
14. Kehilangan gaya prategang akibat rangkai,

$$CR = A_t * E_s * \varphi_{\text{cc}}(t) * (f_{\text{pci}} / E_{\text{balok}}) = 342.682 \text{ kN}$$

4.5.6 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Susut Beton

1. Faktor pengaruh lingkungan (kondisi normal),

Kelembaban relatif	: $H = 70\%$	$K_h^s = 0.7000$
Ketebalan minimum beton	: $d = 15 \text{ cm}$	$K_d^s = 1.0025$
Slump	: $s = 7.5 \text{ cm}$	$K_s^s = 1.0100$
Kadar agregat halus	: $F = 50 \%$	$K_f^s = 1.0000$
Jumlah semen	: 500 kg/m^3	$K_b^s = 0.8500$
Kadar udara dalam beton	: $AC = 6\%$	$K_{\text{ac}}^s = 0.9980$
2. Koefisien susut maksimum $\lambda_{\text{cs}} = K_h^s * K_d^s * K_s^s * K_f^s * K_b^s * K_{\text{ac}}^s = 0.6012$
3. Umur beton yang dirawat basah di lokasi pekerjaan, $t = 28 \text{ hari}$
4. Nilai susut maksimum beton, $\varepsilon_{\text{cs.u}} = 780 * 10^{-6} * \lambda_{\text{cs}} = 0.000469$
5. Nilai regangan susut beton pada umur t hari, $\varepsilon_{\text{cs.t}} = (t / (35 + t)) * \varepsilon_{\text{cs.u}} = 0.000467$
6. Modulus elastis baja prategang, $E_s = 193000 \text{ MPa}$
7. Luas tampang tendon baja prategang, $A_t = 0.0075 \text{ m}^2$
8. Kehilangan gaya prategang akibat susut, $SH = A_t * \varepsilon_{\text{cs.t}} * E_s = 676.630 \text{ kN}$

4.5.7 Kehilangan Gaya Prategang Akibat Relaksasi Baja

1. Luas tampang tendon baja prategang, $A_t = 0.0075 \text{ m}^2$
2. Sisa gaya prategang setelah pengangkuran, $P_i = 9482.298 \text{ kN}$
3. Kehilangan tegangan prategang akibat rangkai, $\sigma^{\text{CR}} = CR / A_t = 45.684 \text{ MPa}$

4. Kehilangan tegangan prategang akibat susut, $\sigma_{SH} = \sigma_{SH} / A_t = 90.203 \text{ MPa}$
5. Tegangan baja prategang segera setelah transfer, $f_{pi} = P_i / A_t = 1264.104 \text{ MPa}$
67.96% UTS
6. Kehilangan tegangan pada baja prategang akibat susut dan rangkai beton,
 $\Delta f_{pi} = \sigma_{CR} + \sigma_{SH} = 135.886 \text{ MPa}$
7. Relaksasi setelah 1000 jam pada 70% beban putus (UTS), $c = 2.50\%$
8. Faktor relaksasi rencana tendon, $R_t = 0$ Jika $f_{pi} < 50\%$ UTS
 $R_t = 1$ Jika $f_{pi} = 50\%$ UTS
 $R_t = 2$ Jika $f_{pi} > 70\%$ UTS
 $R_t = 1.898$
9. Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja,
 $RE = A_t * c * R_t * (f_{pi} - \Delta f_{pi}) = 401.60 \text{ kN}$

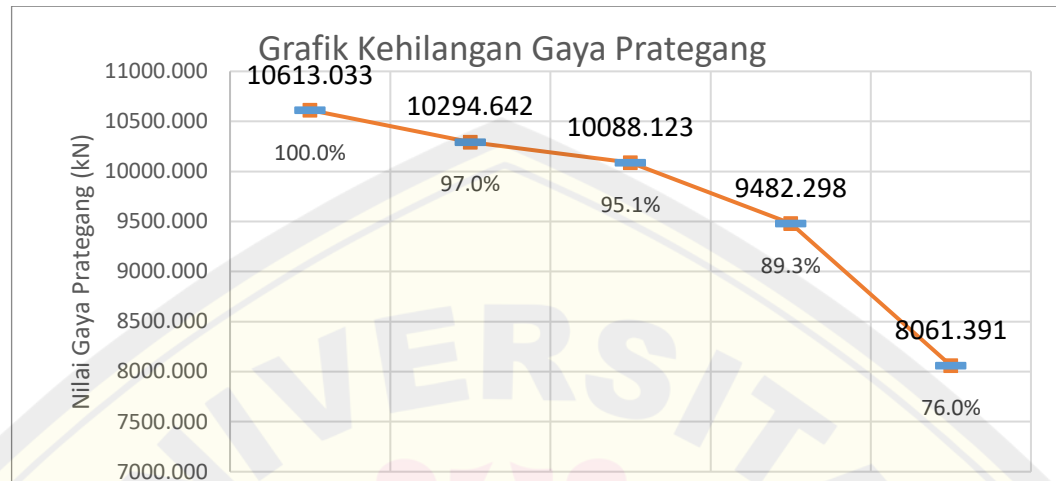
4.5.8 Kontrol Kehilangan Gaya Prategang

1. Kehilangan gaya prategang jangka panjang,
 $\Delta P = CR + SH + RE = 1420.908 \text{ kN}$
2. Gaya efektif di tengah bentang balok, $P_{eff} = P_i - \Delta P = 8061.391 \text{ kN}$
3. Kehilangan gaya prategang total, $(1 - P_{eff} / P_j) * 100\% = 24.04\%$
4. Kontrol kehilangan gaya prategang total terhadap asumsi awal,
Syarat : $(1 - P_{eff} / P_j) * 100\% < 30.00\%$
 $24.04\% < 30.00\% \rightarrow [\text{OK}]$
5. Tegangan ijin tendon baja pasca tarik, $0,70 * f_{pu} = 1302.000 \text{ Mpa}$
6. Tegangan yang terjadi pada tendon baja pasca tarik,
 $f_{pe} = P_{eff} / A_t = 1074.680 \text{ MPa}$
7. Kontrol tegan yang terjadi pada tegangan ijin tendon baja pasca tarik,
Syarat : $f_{pe} < 0,70 * f_{pu}$
 $1074.680 < 1302.000 \rightarrow [\text{OK}]$
8. Gaya prategang saat jacking (jacking force), $P_j = 10613.033 \text{ kN}$
9. Gaya prategang setelah kehilangan gaya akibat gesekan ankur,
 $P_o = 10294.642 \text{ kN}$
10. Gaya prategang setelah kehilangan gaya akibat gesekan kable,
 $P_x = 10088.123 \text{ kN}$

11. Gaya prategang setelah kehilangan gaya akibat pengangkuran,

$$P_i = 9482.298 \text{ kN}$$

12. Gaya prategang setelah kehilangan gaya jangka panjang, $P_{\text{eff}} = 8061.391 \text{ kN}$



Grafik 4.5 Perilaku Kehilangan Gaya Prategang pada Tendon

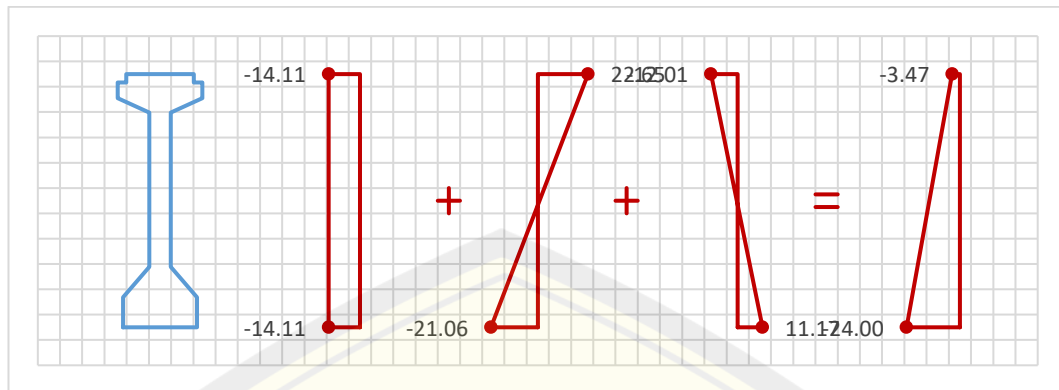
4.6 Analisa Tegangan pada Girder di Tumpuan dan Lapangan

Dalam analisa tegangan pada girder dilakukan beberapa tahapan perhitungan tegangan yang terjadi pada penampang balok pada keadaan transfer, setelah kehilangan prategang, dan setelah plat lantai dicor. Untuk tahapan perhitungan sebagai berikut.

4.6.1 Tegangan yang Terjadi pada Penampang Balok

1. Kuat tekan beton pada saat transfer, $f_{ci} = 0,8 * f_{c'} = 40 \text{ Mpa}$
2. Tegangan ijin beton saat jacking :
 - a. Tegangan ijin tekan, $0,6 * f_{ci} = 24.000 \text{ Mpa}$
 - b. Tegangan ijin tarik, $0,25 * \sqrt{f_{ci}} = 1.581 \text{ Mpa}$
3. Tegangan ijin beton pada keadaan akhir :
 - a. Tegangan ijin tekan, $0,45 * f_{c'} = 22.5 \text{ Mpa}$
 - b. Tegangan ijin tarik, $0,5 * \sqrt{f_{c'}} = 3.536 \text{ Mpa}$

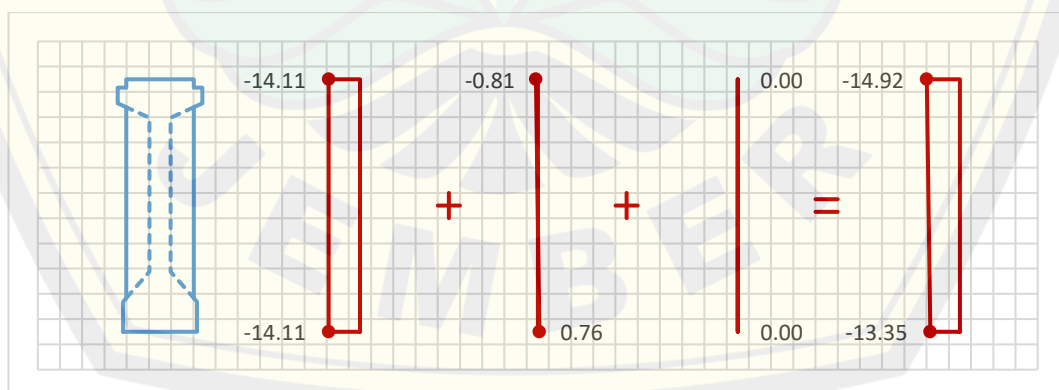
4.6.2 Keadaan Awal (Saat Transfer) pada Tengah Bentang



Grafik 4.6 Keadaan Awal (Saat Transfer) Pada Tengah Bentang

1. Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer), $f_{ci} = 40 \text{ MPa}$
2. Gaya prategang akibat jacking (jacking force), $P_j = 10613.03 \text{ kN}$
3. Momen akibat berat sendiri balok, $M_{\text{balok}} = 4570.223 \text{ kN.m}$
4. Luas penampang balok prategang (lapangan), $A = 0.7523 \text{ m}^2$
5. Letak titik berat, $y_a = 1.088 \text{ m}$
 $y_b = 1.012 \text{ m}$
6. Tahanan momen sisi atas, $W_a = 0.3805 \text{ m}^3$
7. Tahanan momen sisi bawah, $W_b = 0.4091 \text{ m}^3$
8. Jarak titik berat tendon baja terhadap tdk berat tampang balok, $e_s = 0.8120 \text{ m}$
9. Tegangan di serat atas, $f_{ca} = -P_j/A + P_j * e_s / W_a - M_{\text{balok}} / W_a = -3.47 \text{ MPa}$
10. Tegangan di serat bawah, $f_{cb} = -P_j/A - P_j * e_s / W_b + M_{\text{balok}} / W_b = -24.00 \text{ MPa}$

4.6.3 Keadaan Awal (Saat Transfer) pada Tumpuan

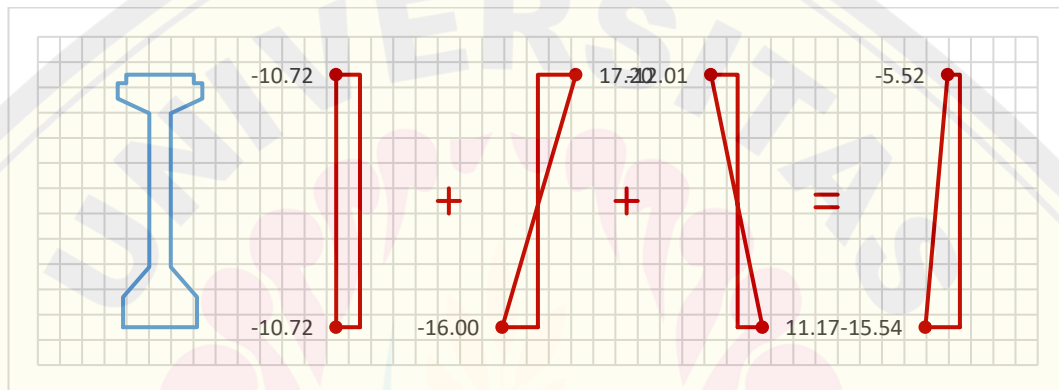


Grafik 4.7 Keadaan Awal (Saat Transfer) Pada Tumpuan

1. Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer), $f_{ci} = 40.00 \text{ MPa}$
2. Gaya prategang akibat jacking (jacking force), $P_j = 10613.03 \text{ kN}$

3. Luas penampang balok prategang (tumpuan), $A = 0.752 \text{ m}^2$
4. Letak titik berat, $y_a = 1.088 \text{ m}$
 $y_b = 1.012 \text{ m}$
5. Tahanan momen sisi atas, $W_a = 0.380 \text{ m}^3$
6. Tahanan momen sisi bawah, $W_b = 0.409 \text{ m}^3$
7. Jarak titik berat tendon baja terhadap tdk berat tampang balok, $e_s = -0.029 \text{ m}$
8. Tegangan di serat atas, $f_{ca} = -P_j / A + P_j * e_s / W_a = -14.92 \text{ MPa}$
9. Tegangan di serat bawah, $f_{cb} = -P_j / A - P_j * e_s / W_b = -13.35 \text{ MPa}$

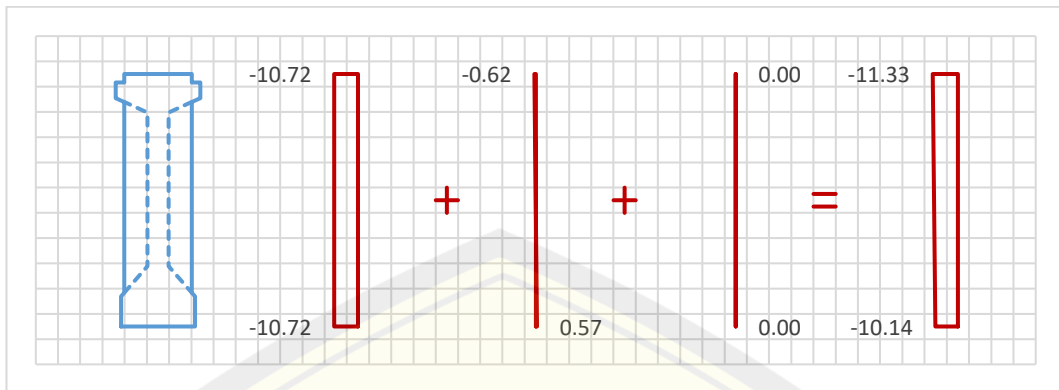
4.6.4 Keadaan Setelah *Loss of Prestress* pada Tengah Bentang



Grafik 4.8 Keadaan Setelah *Loss of Prestress* Pada Tengah Bentang

1. Gaya prategang akibat jacking (jacking force), $P_{\text{eff}} = 8061.39 \text{ kN}$
2. Momen akibat berat sendiri balok, $M_{\text{balok}} = 4570.22 \text{ kN.m}$
3. Luas penampang balok prategang (lapangan), $A = 0.7523 \text{ m}^2$
4. Letak titik berat, $y_a = 1.0880 \text{ m}$
 $y_b = 1.0120 \text{ m}$
5. Tahanan momen sisi atas, $W_a = 0.3805 \text{ m}^3$
6. Tahanan momen sisi bawah, $W_b = 0.4091 \text{ m}^3$
7. Jarak titik berat tendon baja terhadap tdk berat tampang balok, $e_s = 0.8120 \text{ m}$
8. Tegangan di serat atas, $f_{ca} = -P_{\text{eff}} / A + P_{\text{eff}} * e_s / W_a - M_{\text{balok}} / W_a = -5.52 \text{ MPa}$
9. Tegangan di serat bawah, $f_{cb} = -P_{\text{eff}} / A - P_{\text{eff}} * e_s / W_b + M_{\text{balok}} / W_b = -15.54 \text{ MPa}$

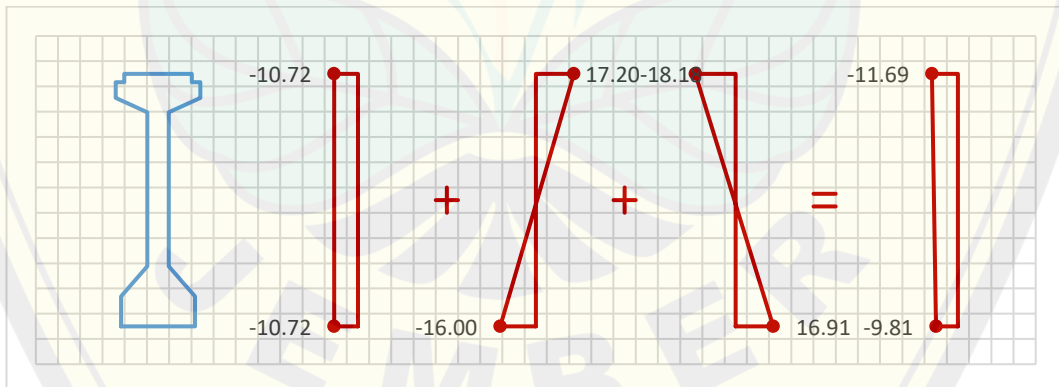
4.6.5 Keadaan Setelah Loss of Prestress pada Tumpuan



Grafik 4.9 Keadaan Setelah Loss of Prestress Pada Tumpuan

1. Gaya prategang akibat jacking (jacking force), $P_{eff} = 8061.39 \text{ kN}$
2. Luas penampang balok prategang (lapangan), $A = 0.7523 \text{ m}^2$
3. Letak titik berat, $y_a = 1.0880 \text{ m}$
 $y_b = 1.0120 \text{ m}$
4. Tahanan momen sisi atas, $W_a = 0.3805 \text{ m}^3$
5. Tahanan momen sisi bawah, $W_b = 0.4091 \text{ m}^3$
6. Jarak titik berat tendon baja terhadap tdk berat tampang balok, $e_s = 0.0291 \text{ m}$
7. Tegangan di serat atas, $f_{ca} = - P_{eff} / A + P_{eff} * e_s / W_a = -11.33 \text{ MPa}$
8. Tegangan di serat bawah, $f_{cb} = - P_{eff} / A - P_{eff} * e_s / W_b = -10.14 \text{ MPa}$

4.6.6 Keadaan Setelah Plat Lantai Selesai Dicur (Beton Muda)

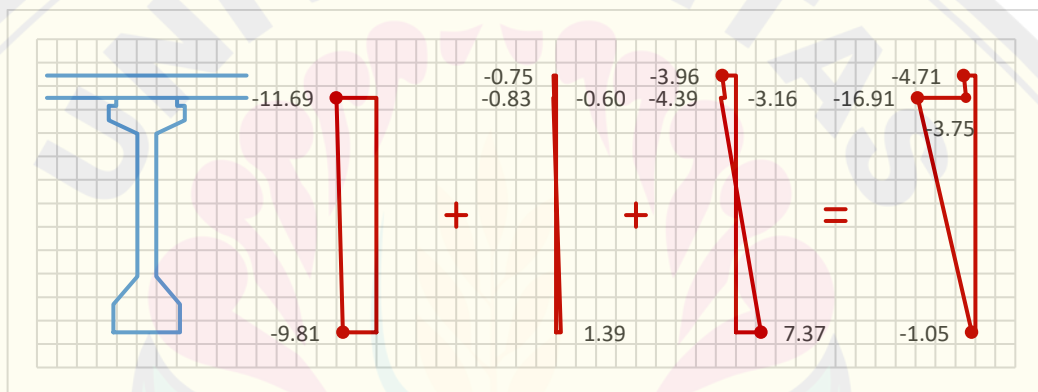


Grafik 4.10 Keadaan Setelah Plat Lantai Selesai Dicur (Beton Muda)

1. Gaya prategang akibat jacking (jacking force), $P_{eff} = 8061.39 \text{ kN}$
2. Momen akibat berat sendiri balok, $M_{balok} = 4570.22 \text{ kN.m}$
3. Momen akibat plat lantai dan diaphragma, $M_{plat+D} = 2347.38 \text{ kN.m}$
4. Luas penampang balok prategang (lapangan), $A = 0.7523 \text{ m}^2$

5. Letak titik berat, $y_a = 1.0880 \text{ m}$
 $y_b = 1.0120 \text{ m}$
6. Tahanan momen sisi atas, $W_a = 0.3805 \text{ m}^3$
7. Tahanan momen sisi bawah, $W_b = 0.4091 \text{ m}^3$
8. Jarak titik berat tendon baja terhadap tdk berat tampang balok, $e_s = 0.8120 \text{ m}$
9. Tegangan di serat atas,
 $f_{ca} = - P_{eff} / A + P_{eff} * e_s / W_a - M_{balok+plat+D} / W_a = -11.69 \text{ MPa}$
10. Tegangan di serat bawah,
 $f_{cb} = - P_{eff} / A - P_{eff} * e_s / W_b + M_{balok+plat+D} / W_b = -9.81 \text{ MPa}$

4.6.7 Keadaan Setelah Plat dan Balok Menjadi Komposi pada Tengah Bentang



Grafik 4.11 Keadaan Setelah Plat dan Balok Menjadi Komposit Pada Tengah Bentang

1. Gaya prategang akibat jacking (jacking force), $P_{eff} = 8061.39 \text{ kN}$
2. Momen akibat berat sendiri balok, $M_{balok} = 4570.22 \text{ kN.m}$
3. Momen akibat plat lantai, $M_{plat+D} = 2347.38 \text{ kN.m}$
4. Momen akibat beban mati tambahan, $M_{MA} = 724.44 \text{ kN.m}$
5. Momen akibat beban lajur, $M_{LL} = 4806.34 \text{ kN.m}$
6. Nilai perbandingan modulus elastik plat dan balok, $n = 0.72$
7. Luas penampang balok prategang (lapangan), $A = 0.7523 \text{ m}^2$
8. Luas penampang balok komposit, $A_e = 1.012 \text{ m}^2$
9. Letak titik berat balok komposit, $y_{ac} = 0.984 \text{ m}$
 $y_{bc} = 1.316 \text{ m}$
10. Tahanan momen sisi atas, $W_{ac} = 0.698 \text{ m}^3$
 $W_{ac'} = 0.877 \text{ m}^3$

11. Tahanan momen sisi bawah, $W_{bc} = 0.522 \text{ m}^3$

12. Jarak titik berat tendon baja terhadap tdk berat tampang balok, $e_s = 0.812 \text{ m}$

13. Tegangan di serat atas,

$$f_{ac} = (-M_{MA} / W_{ac} - 0,8 * M_{LL} / W_{ac}) * n = -4.71 \text{ MPa}$$

$$f_{ac(1)} = -P_{eff} / A + P_{eff} * e_s / W_a - M_{balok+plat} / W_a - M_{MA} / W_{ac'} - 0,8 * M_{LL} / W_{ac'}$$

$$= -16.91 \text{ MPa}$$

$$f_{ac(2)} = (-M_{MA} / W_{ac'} - M_{LL} / W_{ac'}) * n = -3.75 \text{ MPa}$$

14. Tegangan di serat bawah,

$$f_{bc} = -P_{eff} / A - P_{eff} * e_s / W_{bc} + M_{balok+plat} / W_b + M_{MA} / W_b + 0,8 * M_{LL} / W_b$$

$$= -1.05 \text{ MPa}$$

4.6.8 Rekapitulasi Tegangan yang Terjadi pada Penampang

Tabel 4.14 Nilai Tegangan pada Saat Transfer

Kondisi			Pada Saat Transfer (MPa)		
Posisi			Tump.	Syarat	Ket.
$y_a =$	1.088	m	-14.92	-24.00	[OK]
$y_b =$	1.012	m	-13.35	-24.00	[OK]
Posisi			tgh, bentang	Syarat	Ket.
$y_a =$	1.088	m	-3.47	-24.00	[OK]
$y_b =$	1.012	m	-24.00	-24.00	[OK]

Tabel 4.15 Nilai Tegangan Setelah Kehilangan Gaya Prategang

Kondisi			Setelah kehilangan gaya prategang (MPa)		
Posisi			Tump.	Syarat	Ket.
$y_a =$	1.088	m	-11.33	-22.50	[OK]
$y_b =$	1.012	m	-10.14	-22.50	[OK]
Posisi			tgh, bentang	Syarat	Ket.
$y_a =$	1.088	m	-5.52	-22.50	[OK]
$y_b =$	1.012	m	-15.54	-22.50	[OK]

Tabel 4.16 Nilai Tegangan saat Plat Lantai Selesai Dicor

Kondisi			Plat lantai selesai dicor (MPa)		
Posisi			Tump.	Syarat	Ket.
$y_a =$	1.088	m	-11.33	-22.50	[OK]
$y_b =$	1.012	m	-10.14	-22.50	[OK]
Posisi			tgh, bentang	Syarat	Ket.
$y_a =$	1.088	m	-11.69	-22.50	[OK]
$y_b =$	1.012	m	-9.81	-22.50	[OK]

Tabel 4.17 Nilai Tegangan saat Balok Kondisi Layan

Kondisi			Balok kondisi layan (MPa)		
	Posisi		Tump.	Syarat	Ket.
$y_a =$	0.984	m	-	-	-
$y_{a'} =$	0.784	m	-	-	-
$y_{a''} =$	0.784	m	-	-	-
$y_b =$	1.316	m	-	-	-
	Posisi		tgh, bentang	Syarat	Ket.
$y_a =$	0.984	m	-4.71	-13.50	[OK]
$y_{a'} =$	0.784	m	-3.75	-13.50	[OK]
$y_{a''} =$	0.784	m	-16.91	-22.50	[OK]
$y_b =$	1.316	m	-1.05	-22.50	[OK]

4.7 Analisa dan Kontrol Lendutan pada Tengah Bentang Girder

Sebelum dilakukan kontrol lendutan perlu dilakukan analisa perhitungan lendutan pada kondisi transfer, kehilangan prategang, dan setelah komposit. Untuk tahapan perhitungan sebagai berikut.

4.7.1 Lendutan Pada Balok Prestress (Sebelum Komposit)

Modulus elastis beton prategang, $E_{\text{balok}} = 0.000000332 \text{ kPa}$

Momen inersia terhadap titik berat balok, $I_x = 0.4140 \text{ m}^4$

Panjang bentang jembatan, $L = 45.00 \text{ m}$

1. Lendutan Pada Keadaan Awal (Transfer)

Nilai gaya prategang saat jacking, $P_{t1} = 10613.033 \text{ kN}$

Eksentrisitas tendon, $e_s = 0.812 \text{ m}$

Momen pada balok akibat berat sendiri, $M_{\text{balok}} = 4570.223 \text{ kNm}$

Asumsi beban momen akibat jacking, $Q_{pt1} = 8 * P_{t1} * e_s / L^2 = 34.043 \text{ kN/m}$

Asumsi beban momen akibat berat sendiri, $Q_{\text{balok}} = 8 * M_{\text{balok}} / L^2 = 18.055 \text{ kN/m}$

Lendutan akibat beban jacking dan berat sendiri,

$$\delta = 5/384 * (-Q_{pt1} + Q_{\text{balok}}) * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_x) = -62.05 \text{ mm } (\uparrow)$$

Syarat, $\delta < L/300$

$$-62.0469 < 150.0000 \rightarrow [\text{OK}]$$

2. Lendutan Setelah Loss of Prestress Jangka Pendek

Nilai gaya prategang saat kehilangan gaya jangka pendek, $P'_{\text{eff}} = 9482.298 \text{ kN}$

Eksentrisitas tendon, $e_s = 0.812 \text{ m}$

Momen pada balok akibat berat sendiri, $M_{\text{balok}} = 4570.223 \text{ kNm}$

Asumsi beban momen akibat jacking, $Q_{P'_{\text{eff}}} = 8 * P'_{\text{eff}} * e_s / L^2 = 30.416 \text{ kN/m}$

Asumsi beban momen akibat berat sendiri, $Q_{\text{balok}} = 8 * M_{\text{balok}} / L^2 = 18.055 \text{ kN/m}$

Lendutan akibat beban jacking dan berat sendiri,

$$\delta = 5/384 * (-Q_{\text{peff}} + Q_{\text{balok}}) * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_x) = -47.97 \text{ mm } (\uparrow)$$

$$\begin{array}{l} \text{Syarat,} \quad \delta < L/300 \\ -47.9711 < 150.0000 \rightarrow [\text{OK}] \end{array}$$

3. Lendutan Setelah Plat Selesai Dicor (Beton Muda)

Nilai gaya prategang saat kehilangan gaya jangka pendek, $P'_{\text{eff}} = 9482.298 \text{ kN}$

Eksentrisitas tendon, $e_s = 0.812 \text{ m}$

Momen pada balok akibat berat sendiri + plat + diapragma,

$$M_{\text{balok+plat+D}} = 6917.603 \text{ kNm}$$

Asumsi beban momen akibat jacking, $Q_{\text{p'eff}} = 8 * P'_{\text{eff}} * e_s / L^2 = 30.416 \text{ kN/m}$

Asumsi beban momen akibat berat sendiri,

$$Q_{\text{balok+plat}} = 8 * M_{\text{balok+plat}} / L^2 = 27.329 \text{ kN/m}$$

Lendutan akibat beban jacking dan berat sendiri,

$$\delta = 5/384 * (-Q_{\text{peff}} + Q_{\text{balok+plat}}) * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_x) = -11.98 \text{ mm } (\uparrow)$$

$$\begin{array}{l} \text{Syarat,} \quad \delta < L/300 \\ -11.9824 < 150.0000 \rightarrow [\text{OK}] \end{array}$$

4.7.2 Lendutan Balok Komposit Kehilangan Prategang Jangka Panjang

Nilai gaya prategang saat kehilangan gaya jangka panjang, $P_{\text{eff}} = 8061.391 \text{ kN}$

Letak titik berat ke serat bawah balok prategang, $y_b = 1.012 \text{ m}$

Letak titik berat ke serat bawah balok komposit, $y_{bc} = 1.316 \text{ m}$

Momen inersia terhadap titik berat balok komposit, $I_{xc} = 0.687 \text{ m}^4$

Eksentrisitas tendon komposit, $e'_s = e_s + (y_{bc} - y_b) = 1.116 \text{ m}$

Momen pada balok akibat berat sendiri + plat + diapragma,

$$M_{\text{balok+plat+D}} = 6917.603 \text{ kNm}$$

Asumsi beban momen akibat jacking, $\Delta Q_{\text{peff}} = 8 * (P'_{\text{eff}} - P_{\text{eff}}) * e'_s / L^2 = 6.267 \text{ kN/m}$

Asumsi beban momen akibat berat sendiri,

$$Q_{\text{balok+plat}} = 8 * M_{\text{balok+plat}} / L^2 = 27.329 \text{ kN/m}$$

Lendutan akibat beban jacking dan berat sendiri,

$$\delta = \delta' + 5/384 * (-\Delta Q_{\text{peff}} + Q_{\text{balok+plat}}) * L^4 / (E_{\text{balok}} * I_x) = 37.27 \text{ mm } (\downarrow)$$

$$\text{Syarat, } \delta < L/300$$

$$37.274 < 150.0000 \quad \rightarrow \quad [\text{OK}]$$

4.7.3 Lendutan pada Balok Prestress Setelah Komposit

Modulus elastis beton prategang, $E_{\text{balok}} = 0.000000332 \text{ kPa}$

Momen inersia terhadap titik berat balok komposit, $I_{\text{xc}} = 0.687 \text{ m}^4$

Panjang bentang jembatan, $L = 45.00 \text{ m}$

Nilai gaya prategang saat kehilangan gaya jangka panjang, $P_{\text{eff}} = 8061.391 \text{ kN}$

Eksentrisitas tendon komposit, $e'_s = 1.116 \text{ m}$

1. Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS)

Momen pada balok akibat berat sendiri + plat pada program bantu,

$$M_{\text{MS}} = 4467.690 \text{ kN.m}$$

Momen pada balok akibat berat sendiri + plat + diaphragma,

$$M_{\text{MS}} = 6917.603 \text{ kN.m}$$

Lendutan akibat berat sendiri,

$$\delta_{\text{MS}} = 5/48 * M_{\text{MS}} * L^2 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 63.91 \text{ mm } (\downarrow)$$

2. Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

Momen akibat beban mati tambahan, $M_{\text{MA}} = 922.4247 \text{ kN.m}$

Lendutan akibat berat mati tambahan,

$$\delta_{\text{MA}} = 5/48 * M_{\text{MA}} * L^2 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 8.52 \text{ mm } (\downarrow)$$

3. Lendutan Akibat Prestress (PR)

Momen akibat beban prestress, $M_{\text{P}} = 6545.450039 \text{ kN.m}$

Lendutan akibat beban prestress,

$$\delta_{\text{PR}} = 5/48 * - M_{\text{Qeff}} * L^2 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = -60.47 \text{ mm } (\uparrow)$$

4. Lendutan Akibat Beban Lajur "Truk" (TT)

Momen akibat beban lajur truk, $M_{\text{TT}} = 3281.34 \text{ kN.m}$

Lendutan akibat beban lajur truk,

$$\delta_{\text{TT}} = 5/48 * M_{\text{TT}} * L^2 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 30.32 \text{ mm } (\downarrow)$$

5. Lendutan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

Momen akibat beban lajur D, $M_{\text{TD}} = 4806.34 \text{ kN.m}$

Lendutan akibat beban lajur D,

$$\delta_{\text{TD}} = 5/48 * M_{\text{TD}} * L^2 / (E_{\text{balok}} * I_{\text{xc}}) = 44.41 \text{ mm } (\downarrow)$$

6. Lendutan Akibat Beban Rem (TB)

Momen akibat beban REM, $M_{TB} = 107.59 \text{ kN.m}$

Lendutan akibat beban REM,

$$\delta_{TB} = 5/48 * (-M_{TB}) * L^2 / (E_{balok} * I_{xc}) = -0.99 \text{ mm } (\uparrow)$$

7. Lendutan Akibat Beban Angin (EW)

Momen akibat beban angin kendaraan (EWL), $M_{EWL} = 190.061 \text{ kN.m}$

Momen akibat beban angin struktur (EWS), $M_{EWS} = 2116.850 \text{ kN.m}$

Lendutan akibat beban angin,

$$\delta_{EW} = 5/48 * (M_{EWL} + M_{EWS}) * L^2 / (E_{balok} * I_{xc}) = 21.31 \text{ mm } (\downarrow)$$

4.7.4 Lendutan Total Berdasarkan Layan 1

Lendutan berdasarkan kombinasi layan 1,

$$\delta_{layan-1} = \delta_{MS} + \delta_{MA} + \delta_{PR} + \delta_{TD/TT} + \delta_{TB} + \delta_{EW} = 76.686 \text{ mm}$$

Syarat, $\delta < L/300$

$$76.69 < 150.00 \quad \rightarrow \quad [\text{OK}]$$

Lendutan berdasarkan program bantu kombinasi layan 1,

$$\delta_{layan-1} = 63.155 \text{ mm}$$

Syarat, $\delta < L/300$

$$63.15 < 150.00 \quad \rightarrow \quad [\text{OK}]$$

4.7.5 Lendutan Total Berdasarkan Beban Lajur

Lendutan berdasarkan beban lajur, $\delta_{lajur} = \delta_{TD/TT} + \delta_{TB} = 44.406 \text{ mm}$

Syarat, $\delta < L/800$

$$44.41 < 56.25 \quad \rightarrow \quad [\text{OK}]$$

4.8 Analisa Kapasitas Momen Nominal pada Penampang Girder

4.8.1 Rasio Luas Penampang Baja Prestress

Modulus elastis baja prategang (strands) ASTM A-416 Grade 270,

$$E_s = 193000 \text{ MPa}$$

Jumlah total strands, $n_s = 73$ buah

$$\text{Luas tampang nominal satu strands, } A_{st} = 0.0000987 \text{ m}^2$$

Tegangan leleh tendon baja prategang, $f_{py} = 1580 \text{ MPa}$

Kuat tarik strand, $f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$

$$\text{Luas tampang tendon baja prategang, } A_{ps} = n_s * A_{st} = 0.00721 \text{ m}^2$$

Mutu beton : $f_c' = 50.00 \text{ MPa}$

Untuk : $30 < f_c' < 55 \text{ MPa}$, $\beta_1 = 0,85 - 0,008 * (f_c' - 30) = 0.693$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton, $\beta_1 = 0.693$

Panjang bentang balok prategang, $L = 45.00 \text{ m}$

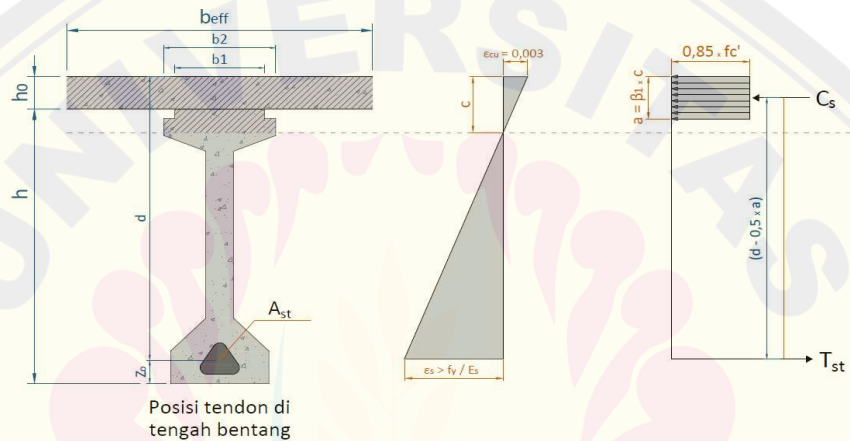
Gaya prestress efektif (setelah loss of prestress), $P_{\text{eff}} = 8061.391 \text{ kN}$

Tegangan efektif baja prestress $f_{\text{eff}} = P_{\text{eff}} / A_{\text{ps}} = 1118.845 \text{ MPa}$

Luas penampang balok prategang komposit, $A_c = 1.012 \text{ m}^2$

Rasio luas penampang baja prestress, $\rho_p = A_{\text{ps}} / A_c = 0.007$

4.8.2 Nilai Regangan Baja Prestress



Gambar 4.15 Regangan Baja Prestress

Tinggi total balok prategang, $H = h + h_0 = 2.30 \text{ m}$

Kontrol syarat perbandingan panjang bentang dan tinggi balok PC I Girder

Syarat : $L / H < 35.00$

$$19.565 < 35.00 \quad \rightarrow \quad [\text{OK}]$$

Komponen struktur prategang dengan lekatan (Bounded)

Perbandingan batas leleh dan kuat putus strand, $f_{\text{py}} / f_{\text{pu}} = 0.849$

Faktor untuk tipe strand, $\gamma_p = 0.550$

Kuat leleh baja prestress pada keadaan ultimit,

$$f_{\text{ps}} = f_{\text{pu}} * (1 - \rho_p * (\gamma_p / \beta_1) * (f_{\text{pu}} / f_c')) = 1468.77$$

$$f_{\text{ps}} = f_{\text{py}} = 1580.00 \text{ MPa}$$

Diambil kuat leleh baja prategang, $f_{\text{ps}} = 1468.77 \text{ MPa}$

Letak titik berat tendon baja prategang terhadap alas balok, $z_0 = 0.200 \text{ m}$

Tinggi efektif balok, $d = h + h_0 - z_0 = 2.100 \text{ m}$

Kuat tekan beton, $f_c' = 50000.00 \text{ kPa}$

Kuat leleh baja prategang, $f_{ps} = 1468.77 \text{ kPa}$

Gaya tarik pada baja prestress, $T_s = A_{ps} * f_{ps} = 10582.62 \text{ kN}$

Persamaan kesetimbangan gaya dalam,

$$C_c = X * 0,85 * f_c'$$

$$C_c = T_s$$

Luas area blok yang terpengaruh kondisi tekan beton,

$$X = T_s / (0,85 * f_c') = 0.2490 \text{ m}^2$$

Keterangan posisi garis netral, c berada di wilayah h_0

Posisi titik berat dari area blok yang terpengaruh kondisi tekan,

$$0,5 * a = 0.096 \text{ m}$$

Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen, $a = 0.192 \text{ m}$

Lebar blok tegangan persegi ekuivalen, $b = 1.296 \text{ m}$

Jarak garis netral terhadap sisi atas, $c = a / \beta_1 = 0.2773 \text{ m}$

Regangan baja prestress, $\epsilon_{ps} = 0,003 * (d - c) / c = 0.0197$

4.8.3 Nilai Kapasitas Momen Ultimit Balok Prestress

Gaya dalam kondisi tekan pada beton, $C_c = 10582.62 \text{ kN}$

Gaya tarik pada baja prestress, $T_s = 10582.62 \text{ kN}$

Kapasitas momen ultimit balok prestress,

$$\phi * M_n = C_c * (d - \beta_1 * c/2) = 21206.999 \text{ kN.m}$$

Momen ultimit berdasarkan kombinasi Kuat & Ekstrim,

$$M_u = 13019.483 \text{ kN.m}$$

Kontrol nilai momen ultimit terhadap kapasitas momen balok prestress,

$$\begin{array}{l} \text{Syarat :} \quad M_u < \phi * M_n \\ 13019.483 < 21206.999 \rightarrow \quad [\text{OK}] \end{array}$$

Syarat tegangan untuk baja prategang :

$$\begin{array}{l} \epsilon_{ps} > f_{py} / E_s \\ 0.0197 > 0.0082 \rightarrow \quad [\text{OK}] \end{array}$$

4.9 Analisa Kebutuhan Tulangan Geser pada Penampang Girder

4.9.1 Perhitungan Geser pada Girder

Tinggi penampang komposit, $H_c = 2.300$ m

Lebar penampang efektif geser, $b_v = 200$ mm

Selimut beton pada girder, $t_g = 50$ mm

Diameter tulangan geser, $D_s = 13$ mm

Jumlah kaki, $n_v = 2$

Luas tulangan, $A_v = 0,25 * \pi * D_v^2 * n_v = 265.46$ mm²

Kuat leleh tulangan geser, $f_{yv} = 420$ MPa

Kuat tekan beton untuk girder, $f_{cg} = 50000.00$ kPa

Gaya prategang setelah kehilangan gaya jangka panjang, $P_{eff} = 8061.39$ kN

Gaya tarik pada baja prestress, $T_s = 10582.62$ kN

Tinggi blok tegangan persegi ekuivalen, $a = 0.19$ m

Kuat tarik strand, $f_{pu} = 1860000$ kPa

Luas tampang tendon baja prategang, $A_{ps} = 0.00721$ m²

Modulus elastis baja prategang (strands) ASTM A-416 Grade 270,

$E_s = 193000000$ kPa

Gaya aksial nominal, $N_u = 0.00$ Kn

Tabel. 4.18 Tulangan Geser pada Penampang Girder

	D_s Pakai	S_v Pakai	V_{uer}	$\phi * V_n$	$\phi * V_n / V_{cr} \geq 1,0$	Ket
	mm	mm	kN	kN	Val.	
0.000	13	200	928.16	1289.761	1.390	[OK]
1.125	13	200	881.75	1807.332	2.050	[OK]
2.250	13	200	835.34	1884.889	2.256	[OK]
3.375	13	200	788.93	1957.665	2.481	[OK]
4.500	13	200	742.53	2025.659	2.728	[OK]
5.625	13	200	696.12	2088.871	3.001	[OK]
6.750	13	200	649.71	2147.302	3.305	[OK]
7.875	13	200	603.30	2200.952	3.648	[OK]
9.000	13	200	556.89	2223.510	3.993	[OK]
10.125	13	200	510.49	2212.654	4.334	[OK]
11.250	13	200	464.08	2201.794	4.744	[OK]
12.375	13	200	417.67	2190.931	5.246	[OK]
13.500	13	200	371.26	2180.065	5.872	[OK]
14.625	13	200	324.86	2169.196	6.677	[OK]
15.750	13	200	278.45	2158.325	7.751	[OK]
16.875	13	200	232.04	2147.450	9.255	[OK]
18.000	13	200	185.63	2136.573	11.510	[OK]
19.125	13	200	139.22	2125.693	15.268	[OK]
20.250	13	200	93.61	2114.811	22.591	[OK]
21.375	13	200	48.96	2103.926	42.974	[OK]
22.500	13	200	4.30	2093.040	486.334	[OK]

Untuk hasil perhitungan geser pada girder dalam bentuk tabel dapat dilihat pada Lampiran 4.1 dan rekapitulasi perbandingan geser kritis terhadap geser nominal dapat dilihat pada Lampiran 4.2

4.10 Perencanaan dan Perhitungan Elastomer

4.10.1 Data Beban dan Deformasi

Beban pada elastomer akibat kombinasi beban layan 1, $D_{layan-1} = 522.12 \text{ kN}$

Beban pada elastomer akibat beban mati, $D_{DD} = 43.82 \text{ kN}$

Beban pada elastomer akibat beban hidup, $D_{LL} = 231.8 \text{ kN}$

Maksimum perputaran pada setiap sumbu, $\delta_{layan-1} = 76.69 \text{ mm}$

Panjang jembatan, $L = 45 \text{ m}$

Lebar girder, $b_6 = 700 \text{ mm}$

Asumsi perpindahan memanjang jembatan, $\Delta s = 25 \text{ mm}$

4.10.2 Data Fisik Elastomer

Jenis karet elastomer = Karet Sintetis (Neoprene) 60 Duro

Modulus geser minimum, $G = 0.9 \text{ MPa}$

Kekerasan Shore "A", $Hardness = 60 \pm 5$

Batas tegangan delamasi, $\sigma_{s-maks} = 7 \text{ MPa}$

4.10.3 Dimensi Elastomer

Lebar elastomer, $W = 400 \text{ mm}$

Panjang elastomer, $L = 600 \text{ mm}$

Ketebalan efektif karet pada lapisan antara, $h_{ri} = 45 \text{ mm}$

Tebal lapisan penutup, $h_{cov} = 4 \text{ mm}$

Tebal pelat baja, $h_s = 3 \text{ mm}$

Jumlah lapisan, $n = 1 \text{ buah}$

Tegangan leleh pelat baja, $f_y = 240 \text{ MPa}$

4.10.4 Perhitungan Elastomer

Ketebalan total karet elastomer, $h_{rt} = 2 * h_{cov} + n * h_{ri} = 53 \text{ mm}$

Tinggi total elastomer, $H = h_{rt} + (n + 1) * h_s = 59 \text{ mm}$

Luas elastomer perlu, $A_{perlu} = D_{layan-1} / \sigma_{s-maks} = 74588.57 \text{ mm}^2$

Luas keseluruhan elastomer, $A = W * L = 240000 \text{ mm}^2$

Kontrol luas elastomer pakai,

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } A &> A_{\text{perlu}} \\ 240000 &> 74588.57 \rightarrow [\text{OK}] \end{aligned}$$

Keliling elastomer, $I_p = 2 * (L + W) = 2000 \text{ mm}$

Faktor bentuk elastomer, $S = A / (I_p * h_{ri}) = 2.667$

Kontrol faktor bentuk elastomer,

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } 2 &< S \leq 12 \\ 2 &< 2.667 \leq 12 \rightarrow [\text{OK}] \end{aligned}$$

Tegangan pada elastomer akibat kombinasi beban layan 1,

$$\sigma_s = D_{\text{layan-1}} / A = 2.176 \text{ MPa}$$

Tegangan pada elastomer akibat beban hidup, $\Sigma I = D_{LL} / A = 0.965833333 \text{ MPa}$

Tegangan maksimum dengan deformasi geser yang tidak dikekang,

$$\text{Kondisi 1 : } \sigma_{s-\text{maks}} = 7.00 \text{ MPa}$$

$$\text{Kondisi 2 : } \sigma_{s-\text{maks}} = G * S = 2.40 \text{ MPa}$$

Tegangan maksimum dengan deformasi geser yang dikekang,

$$\text{Kondisi 1 : } \sigma_{s-\text{maks}} = 7.70 \text{ MPa}$$

$$\text{Kondisi 2 : } \sigma_{s-\text{maks}} = G * S = 2.64 \text{ MPa}$$

Kontrol tegangan pada elastomer,

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } \sigma_s &< \sigma_{s-\text{maks}} \\ 2.176 &< 2.40 \rightarrow [\text{OK}] \end{aligned}$$

Deformasi izin pada elastomer, $\Delta_{\text{izin}} = 2 * \Delta_s = 50 \text{ mm}$

Kontrol perpindahan pada elastomer,

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } h_{rt} &> \Delta_{\text{izin}} \\ 53.000 &> 50.00 \rightarrow [\text{OK}] \end{aligned}$$

Rotasi akibat kombinasi Layan 1,

$$\theta_{\text{layan-1}} = \text{Atan} (\delta_{\text{layan-1}} / (L / 2)) = 0.003 \text{ rad}$$

Rotasi layan total dengan toleransi, $\theta_{s-x} = \theta_{\text{layan-1}} + 0,005 = 0.008 \text{ rad}$

Tegangan maksimum akibat rotasi,

terhadap sumbu memanjang :

$$\sigma_{r-x} = 0,5 * G * S * (L / h_{ri})^2 * \theta_{s-x} / n = 1.794 \text{ MPa}$$

terhadap sumbu melintang :

$$\sigma_{r-y} = 0,5 * G * S * (W / h_{ri})^2 * \theta_{s-x} / n = 0.797 \text{ MPa}$$

Kontrol perpindahan pada elastomer,

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } \sigma_r &< \sigma_s \\ 1.794 &< 2.176 \rightarrow [\text{OK}] \end{aligned}$$

Batas ketebalan total elastomer,

$$\text{Kondisi 1, } H_{\max} = L / 3 = 200.00 \text{ mm}$$

$$\text{Kondisi 2, } H_{\max} = W / 3 = 133.33 \text{ mm}$$

digunakan yang terkecil, $H_{\max} = 133.33 \text{ mm}$

Kontrol tinggi total elastomer pada elastomer,

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } H &< H_{\max} \\ 59.000 &< 133.333 \rightarrow [\text{OK}] \end{aligned}$$

Ketebalan minimum lapisan baja,

$$\text{Kondisi 1, } h_{s-\min} = 3 * h_{r-\max} * \sigma_s / f_y = 1.224 \text{ mm}$$

$$\text{Kondisi 2, } h_{s-\min} = 2 * h_{r-\max} * \sigma_L / F_{TH} = 0.36 \text{ mm}$$

Digunakan yang terbesar, $h_{s-\min} = 1.224 \text{ mm}$

Kontrol ketebalan lapisan baja pada elastomer,

$$\begin{aligned} \text{Syarat : } h_s &> h_{s-\min} \\ 3.00 &> 1.224 \rightarrow [\text{OK}] \end{aligned}$$

4.11 Persentase Perubahan

4.11.1 Persentase Perubahan Lebar Jembatan

Lebar jembatan sebelum diredesain yaitu sepanjang 7 m, setelah di redesain lebar jembatan menjadi 8 m, maka persentase perubahan lebar jembatan yaitu:

$$\frac{8 - 7}{7} \times 100\% = 14.28\%$$

Didapat bahwa jembatan yang diredesain lebih optimal dari pada sebelum dilakukan pendesainan ulang dikarenakan perubahan kapasitas dari lebar jembatan yaitu bertambah sebesar 14.28%.

4.11.2 Persentase Perubahan Berat Volume Jembatan

1. Berat Volume sebelum diredesain,

$$\text{Berat Total Komponen Rangka Baja : } 446379.975 \text{ kg}$$

2. Berat Volume sesudah diredesain,

$$W_c = 24 \text{ Kn/m}^3 = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume PC-I Girder} : A \times L \times n = 0.752 \text{ m}^2 \times 45 \text{ m} \times 4 = 135.36 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume Total Diafragma} : V \times n = 0.594 \text{ m}^3 \times 3 \times 7 = 12.474 \text{ m}^3$$

Total volume struktur utama setelah diredesain :

$$V. \text{ total} : 135.36 \text{ m}^3 + 12.474 \text{ m}^3 = 147.834 \text{ m}^3$$

Berat Total Komponen Gelagar Prategang :

$$W_c \times V. \text{ total} : 2400 \text{ kg/m}^3 \times 147.834 \text{ m}^3 = 354801.6 \text{ kg}$$

Berat struktur utama jembatan sebelum diredesain yaitu sepanjang 446379.975 kg, setelah diredesain berat struktur utama jembatan menjadi 354801.6 kg, maka persentase perubahan berat struktur utama jembatan yaitu:

$$\frac{354801.6 - 446379.975}{446379.975} \times 100\% = -20.52\%$$

Didapat bahwa jembatan yang diredesain lebih efisien secara berat volume dari pada sebelum dilakukan pendesainan ulang dikarenakan perubahan dari berat volume struktur utama jembatan yaitu berkurang sebesar -20.52% .

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Redesain struktur atas jembatan dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pada tahapan pertama dimulai dari survey data teknis jembatan, tahapan kedua memilih acuan dasar sebagai perhitungan dan menentukan dimensi awal pada jembatan, selanjutnya tahapan ketiga yaitu pembebanan dan analisis mekanika jembatan, dan tahap terakhir yaitu penggambaran dari hasil perhitungan. Untuk perhitungan didapat hasil desain sebagai berikut: Pelat lantai jembatan terdiri dari pelat beton berketebalan 200 mm dengan tulangan primer D13-100 dan tulangan sekunder D13-100. Perhitungan beban aspal dalam desain ulang juga memperhitungkan overlay lapis permukaan jembatan dengan tebal 50 mm. Gelagar jembatan yang memiliki panjang bentang 45 m menggunakan Girder-I H-210 sebanyak 4 buah dengan jarak antar girder 1,8 m, dan memiliki kekuatan $f'c = 50$ MPa. Setiap gelagar dilengkapi dengan 7 diafragma pada tiap balok girder. Tiap gelagar menggunakan 4 tendon, dengan masing-masing tendon berisi 19 strands. Strands yang digunakan adalah uncoated 7 wire strands ASTM A-416 grade 270. Adapun tulangan geser dan shear connector menggunakan 2D13-200 mm, dan tulangan longitudinal menggunakan 28D13. Untuk sengkang brusting, digunakan tulangan 2D13-100 mm.

5.2 Saran

Penelitian ini belum mempertimbangkan pembebanan pada gelagar tepi yang cenderung kantilever, sehingga diperlukan perhitungan pembebanan lebih detail baik gelagar tengah maupun tepi untuk lebih mengetahui momen gelagar paling besar dan tidak mempertimbangkan perhitungan biaya dan metode pelaksanaan, sehingga diperlukan perhitungan secara utuh untuk mendapati perbandingan biaya yang akan digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (2017). LRFD Bridge Design Specification (8 ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. <https://doi.org/10.1201/b15616>
- H. Santoso, Adi Nugroho, & Sumaidi, Sumaidi. (2021). Perbandingan Rangka Jembatan Tipe Warren Dan Tipe Pratt Pada Jembatan Brantas. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 13(2), 70–75.
- K. Miyachi, S. Nakamura, & A. Manda. (2012). Progressive Collapse Analysis of Steel Truss Bridges and Evaluation of Ductility. *Journal of Constructional Steel Research* 78. Hiratsuka, Japan.
- H. Manalip & B. D. Handono. (2018). Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang. *Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.2*. Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan, SNI 2847:2019. Jakarta :BSN
- Nugroho, M. D. C., & Susilo, B. (2019). Analisa Perbandingan Metode Perencanaan Jembatan Beton Prategang dan Baja dengan Pendekatan LRFD untuk Meningkatkan Kestabilan Struktur. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 6(1)
- Hariadi, B., Sumiyati, H., & Suwanto, M. (2018). Analisis Kelebihan Jembatan Beton Prategang Terhadap Jembatan Konvensional pada Proyek Pembangunan Jalan Tol. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, 7(1).
- A. Hamsyah, (2019). Perencanaan Ulang Struktur Atas Menggunakan Box Girder Pada Ruas Jembatan Srigonco – Pantai Balekambang Kecamatan Batur Kabupaten Malang. Universitas Muhammadiyah Malang.
- Y.Hidayat, (2018). Perencanaan Fly Over Jalan Jendral Sudirman Kabupaten Ciamis. Universitas Siliwangi Tasikmalaya.
- S. R. Rizkia, (2017). Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Metode Stressing Satu Arah dan Dua Arah Pada Jembatan Beton Prategang. Universitas Lampung Bandarlampung.
- Supriyadi dan Muntohar. (2007). *Jembatan* (Edisi Ke-IV). Yogyakarta: Betta Offset
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2004). Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan, RSNI-T12-2004. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2016). Standar Pembebanan Untuk Jembatan, SNI 1725:2016. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2016). Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa, SNI 2833:2016. Jakarta: BSN.
- T. Y. Lin and T. Y. Lin. (1993). Desain struktur beton prategang jilid 1, 1. bet. prategang, desain strukt. bet. prategang. jilid 1 / oleh T.Y. Lin, Ned H. Burn. Penerjemah Daniel Indrawan, vol. 1993, no. 1993, pp. 1–99, 1993, doi: 1993.
- T. Y. Lin and N. H. Burns. (1996). *Desain Struktur Beton Prategang Jilid 2*, Terjemahan. Jakarta: Erlangga.
- T. Y. Lin and N. H. Burn. (1996). *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1*, Terjemahan. Jakarta : Erlanga.

- Raju, N. K. (1986). *Beton Prategang* (Y. Sianipar (ed.); Nomor 11). Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E. G. (2001). *Beton Prategang Suatu Pendekatan Dasar Jilid 1* (B. Suroatmono (ed.); 3 ed.). Erlangga, Jakarta.



LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 4.1 Perhitungan Geser pada Girder

Pada tabel di bawah ini menunjukkan nilai - nilai dari proses perhitungan pada masing station pada girder.

	d_e	d_v	R_{tendon}	V_p	V_{ucr}	M_{ucr}
	m	m	m	kN	kN	kN.m
0.000	1.288	1.096	0.000	0.000	928.16	0.00
1.125	1.367	1.175	1.128	565.873	881.75	1042.03
2.250	1.442	1.250	2.255	551.432	835.34	2037.27
3.375	1.513	1.321	3.383	536.986	788.93	2985.75
4.500	1.580	1.388	4.509	522.535	742.53	3887.44
5.625	1.643	1.451	5.636	508.078	696.12	4742.36
6.750	1.702	1.510	6.763	493.617	649.71	5550.50
7.875	1.757	1.565	7.889	479.151	603.30	6311.86
9.000	1.808	1.616	9.015	464.680	556.89	7026.44
10.125	1.854	1.662	10.141	450.205	510.49	7694.25
11.250	1.897	1.705	11.266	435.725	464.08	8315.28
12.375	1.936	1.743	12.392	421.242	417.67	8889.53
13.500	1.970	1.778	13.517	406.754	371.26	9417.00
14.625	2.001	1.808	14.642	392.262	324.86	9897.70
15.750	2.027	1.835	15.767	377.766	278.45	10331.62
16.875	2.049	1.857	16.892	363.267	232.04	10718.76
18.000	2.068	1.875	18.017	348.764	185.63	11059.12
19.125	2.082	1.890	19.141	334.258	139.22	11352.71
20.250	2.092	1.900	20.266	319.748	93.61	11599.52
21.375	2.098	1.906	21.390	305.235	48.96	11799.55
22.500	2.100	1.908	22.515	290.720	4.30	11952.80

	$\frac{ M_{ucr} }{ V_{ucr} - V_p } * d_v > 1$		ϵ_s	β	θ	V_c	
	Val.	Ket	Val.	Pakai	D°	kN	
0.000			-0.0061	0.0000	4.800	29.00	617.479
1.125	2.807	[OK]	-0.0059	0.0000	4.800	29.00	662.082
2.250	5.740	[OK]	-0.0054	0.0000	4.800	29.00	704.398
3.375	8.969	[OK]	-0.0049	0.0000	4.800	29.00	744.427
4.500	12.729	[OK]	-0.0046	0.0000	4.800	29.00	782.168
5.625	17.379	[OK]	-0.0043	0.0000	4.800	29.00	817.623
6.750	23.548	[OK]	-0.0040	0.0000	4.800	29.00	850.789
7.875	32.489	[OK]	-0.0038	0.0000	4.800	29.00	881.668
9.000	47.164	[OK]	-0.0036	0.0000	4.800	29.00	910.260
10.125	76.785	[OK]	-0.0034	0.0000	4.800	29.00	936.565
11.250	172.018	[OK]	-0.0032	0.0000	4.800	29.00	960.582
12.375	1427.908	[OK]	-0.0031	0.0000	4.800	29.00	982.312
13.500	149.235	[OK]	-0.0029	0.0000	4.800	29.00	1001.755
14.625	81.195	[OK]	-0.0028	0.0000	4.800	29.00	1018.910
15.750	56.695	[OK]	-0.0026	0.0000	4.800	29.00	1033.778
16.875	43.982	[OK]	-0.0025	0.0000	4.800	29.00	1046.358
18.000	36.148	[OK]	-0.0024	0.0000	4.800	29.00	1056.651
19.125	30.804	[OK]	-0.0023	0.0000	4.800	29.00	1064.657
20.250	27.000	[OK]	-0.0022	0.0000	4.800	29.00	1070.375
21.375	24.158	[OK]	-0.0021	0.0000	4.800	29.00	1073.806
22.500	21.874	[OK]	-0.0020	0.0000	4.800	29.00	1074.950

	$V_{ucr} / [0,5 * \phi * (V_c + V_p)] > 1$		V_{s-req} kN	S_v (mm)		V_s kN	V_{nt} kN
	Val.	Ket		Perlu	Pakai		
0.000	4.008	[Perlu]	620.064	356	200	1102.20	1719.682
1.125	1.915	[Perlu]	0.000	-	200	1181.82	2409.776
2.250	1.774	[Perlu]	0.000	-	200	1257.35	2513.186
3.375	1.642	[Perlu]	0.000	-	200	1328.81	2610.220
4.500	1.518	[Perlu]	0.000	-	200	1396.18	2700.878
5.625	1.400	[Perlu]	0.000	-	200	1459.46	2785.162
6.750	1.289	[Perlu]	0.000	-	200	1518.66	2863.070
7.875	1.182	[Perlu]	0.000	-	200	1573.78	2934.603
9.000	1.080	[Perlu]	0.000	-	200	1624.82	2999.761
10.125	0.982	[Tidak]	0.000	-	200	1671.77	3058.544
11.250	0.886	[Tidak]	0.000	-	200	1714.64	3110.952
12.375	0.794	[Tidak]	0.000	-	200	1753.43	3156.986
13.500	0.703	[Tidak]	0.000	-	200	1788.14	3196.646
14.625	0.614	[Tidak]	0.000	-	200	1818.76	3229.931
15.750	0.526	[Tidak]	0.000	-	200	1845.30	3256.843
16.875	0.439	[Tidak]	0.000	-	200	1867.76	3277.380
18.000	0.352	[Tidak]	0.000	-	200	1886.13	3291.543
19.125	0.265	[Tidak]	0.000	-	200	1900.42	3299.333
20.250	0.180	[Tidak]	0.000	-	200	1910.63	3300.749
21.375	0.095	[Tidak]	0.000	-	200	1916.75	3295.792
22.500	0.008	[Tidak]	0.000	-	200	1918.79	3284.462

	V_{n2}	$\phi * V_n$	$\phi * V_n / V_{cr} \geq 1,0$	
	kN	kN	Val.	Ket
0.000	2500.000	1289.761	1.390	[OK]
1.125	3065.873	1807.332	2.050	[OK]
2.250	3051.432	1884.889	2.256	[OK]
3.375	3036.986	1957.665	2.481	[OK]
4.500	3022.535	2025.659	2.728	[OK]
5.625	3008.078	2088.871	3.001	[OK]
6.750	2993.617	2147.302	3.305	[OK]
7.875	2979.151	2200.952	3.648	[OK]
9.000	2964.680	2223.510	3.993	[OK]
10.125	2950.205	2212.654	4.334	[OK]
11.250	2935.725	2201.794	4.744	[OK]
12.375	2921.242	2190.931	5.246	[OK]
13.500	2906.754	2180.065	5.872	[OK]
14.625	2892.262	2169.196	6.677	[OK]
15.750	2877.766	2158.325	7.751	[OK]
16.875	2863.267	2147.450	9.255	[OK]
18.000	2848.764	2136.573	11.510	[OK]
19.125	2834.258	2125.693	15.268	[OK]
20.250	2819.748	2114.811	22.591	[OK]
21.375	2805.235	2103.926	42.974	[OK]
22.500	2790.720	2093.040	486.334	[OK]

Catatan :

Tinggi efektif pratekan,

$$d_e = H_c - Z_o$$

Panjang tendon asumsi linier,

$$l_{tendon} = \sqrt{[(y_{end} - y_x)^2 + X^2]}$$

Kontribusi gaya prategang terhadap ketahanan geser,

$$V_p = P_{eff} * (y_{end} - y_x) / l_{tendon}$$

Regangan longitudinal di baja tulangan,

$$\epsilon_s = (M_{ucr}/d_v + 0,5 * N_u + |V_{ucr} - V_p| - A_{ps} * 0,7 * f_{pu}) / (E_{ps} * A_{ps})$$

Faktor β ,

$$\beta = 4,8 / (1 + 750 * \epsilon_s)$$
 Sudut tegangan utama,

$$\theta = 29 + 3500 * \epsilon_s$$
 Kuat geser beton,

$$V_c = 0,083 * \beta * \sqrt{f_c'} * b_v * d_v$$
 Gaya geser tulangan baja perlu,

$$V_{s-req} = V_{ucr} / \phi - V_c - V_p$$
 Jarak antar tulangan geser rencana,

$$S_v = A_v * f_{yv} * d_v * \cot(\theta) / V_{s-req}$$
 Kekuatan geser nominal,

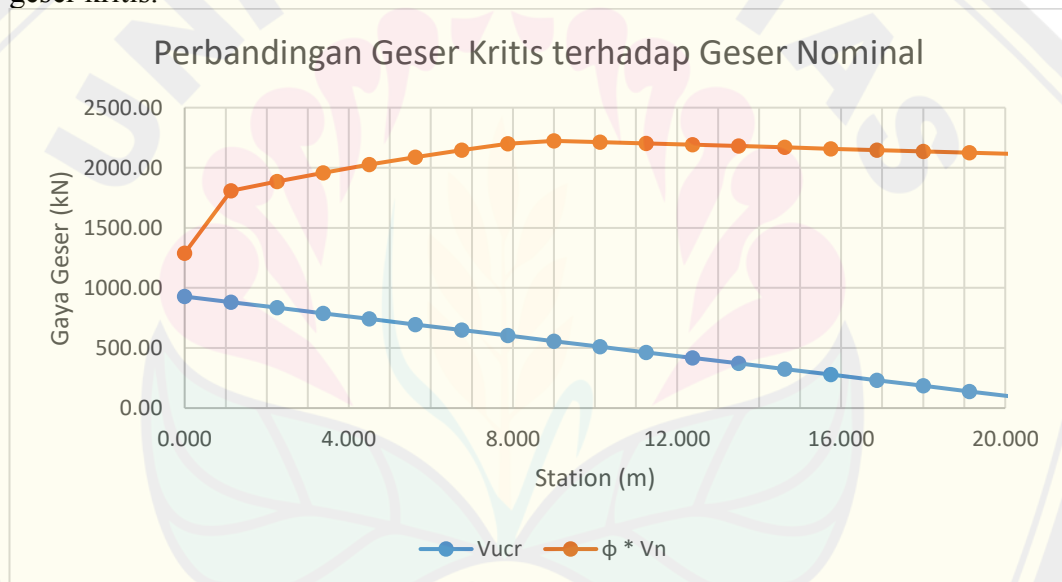
$$V_{n1} = V_c + V_s + V_p$$

$$V_{n2} = 0,25 * f_c' * b_v * d_v + V_p$$
 Kekuatan geser nominal yang digunakan,

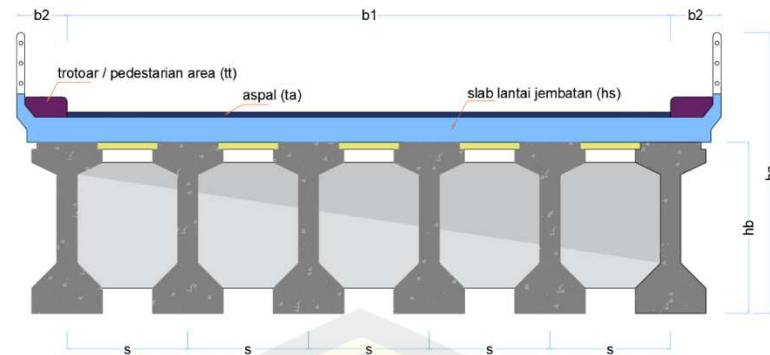
$$V_n = \min(V_{n1} ; V_{n2})$$

Lampiran 4.2 Rekapitulasi Perbandingan Geser Kritis Terhadap Geser Nominal

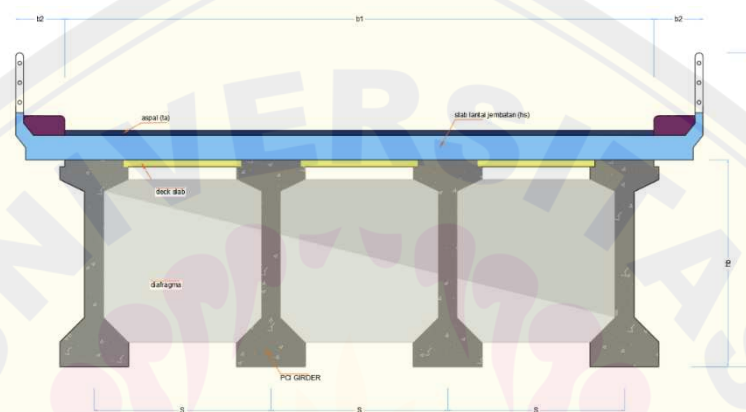
Pada grafik di bawah ini menunjukkan dari kapasitas geser girder terhadap nilai geser kritis.



Lampiran 4.3 Perbandingan Penggunaan Profil PC-I Girder H-170 dengan H-210



(Penggunaan Profil PC-I Girder H-170)



(Penggunaan Profil PC-I Girder H-210)

Dalam pemilihan profil PC-I Girder pada kasus Jembatan Kedungsoko dengan bentang 45 m dan lebar 8 m dapat menggunakan profil PC-I Girder H-170 dan H-210. Untuk bentang 45 m dan lebar jembatan 8 m untuk Profil H-170 membutuhkan 6 gelagar dan 5 diafragma, dengan jarak tiap girder 1.2 m, sedangkan untuk profil H-210 membutuhkan 4 gelagar dan 3 diafragma, dengan jarak tiap girder 1.8 m.

Dari sini diperlukan pemilihan profil yang lebih efisien. Secara sederhana pada penelitian ini hanya membandingkan dari volume beton yang digunakan antara kedua profil tersebut.

1. Profil PC-I Girder H-170

$$\text{Volume beton untuk 1 gelagar (H-170)} = 0.650 \text{ m}^2 \times 45 \text{ m} = 29.25 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume beton untuk 1 diafragma (H-170)} = 1.157 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} = 0.2314 \text{ m}^3$$

$$\text{Total Volume} = 29.25 \text{ m}^3 \times 6 + 0.2314 \text{ m}^3 \times 5 \times 7 = 183.6 \text{ m}^3$$

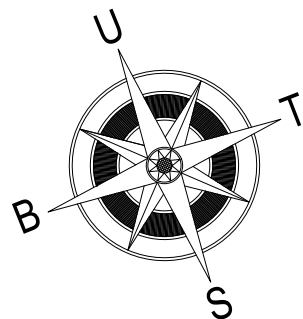
2. Profil PC-I Girder H-210

$$\text{Volume beton untuk 1 gelagar (H-210)} = 0.749 \text{ m}^2 \times 45 \text{ m} = 33.705 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume beton untuk 1 diafragma (H-210)} = 2.547 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} = 0.5094 \text{ m}^3$$

$$\text{Total Volume} = 33.705 \text{ m}^3 \times 4 + 0.5094 \text{ m}^3 \times 3 \times 7 = 145.5174 \text{ m}^3$$

Digunakan total volume terkecil yaitu 145.5174 m^3 untuk PC-I Girder H-210



PEKERJAAN

REDESAIN STRUKTUR ATAS
JEMBATAN KEDUNGSOKO
TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN
GELAGAR PRATEGANG

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

MENGETAHUI DOSEN PEMBIMBING

Dr. KETUT ASWATAMA W., S.T., M.T.
197007132000121001

Dr. Ir. KRISNAMURTI, S.T., M.T.
196612281999031002

DIBUAT OLEH

DIMAS ARYASENA PRADITYA
201910301144

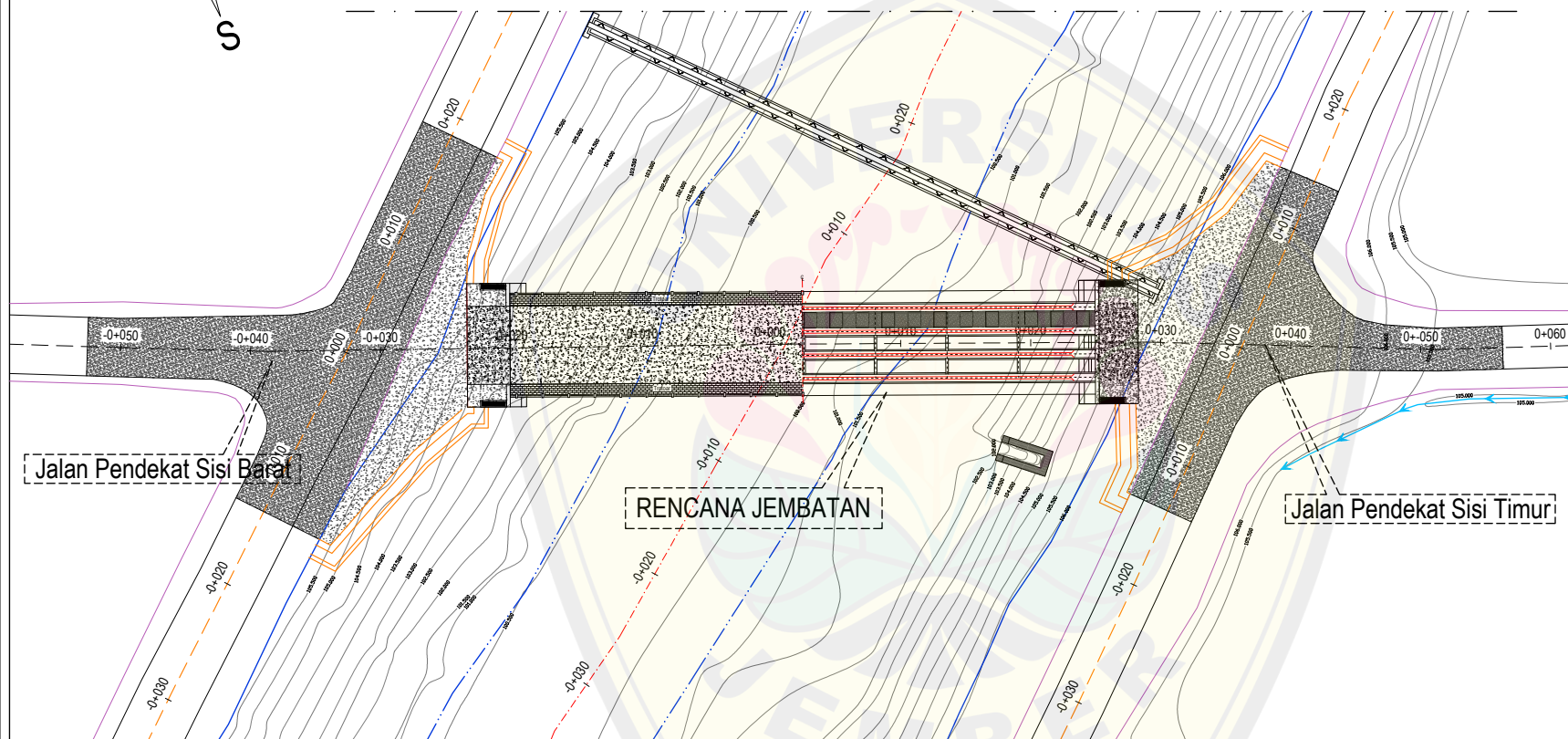
JUDUL GAMBAR

LAYOUT / SITUASI RENCANA

HALAMAN

1

KETERANGAN



1 LAYOUT / SITUASI RENCANA
SKALA 1 : 375



PEKERJAAN

REDESAIN STRUKTUR ATAS
JEMBATAN KEDUNGSOKO
TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN
GELAGAR PRATEGANG

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

MENGETAHUI DOSEN PEMBIMBING

Dr. KETUT ASWATAMA W., S.T., M.T.
197007132000121001

Dr. Ir. KRISNAMURTI, S.T., M.T.
196612281999031002

DIBUAT OLEH

DIMAS ARYASENA PRADITYA
201910301144

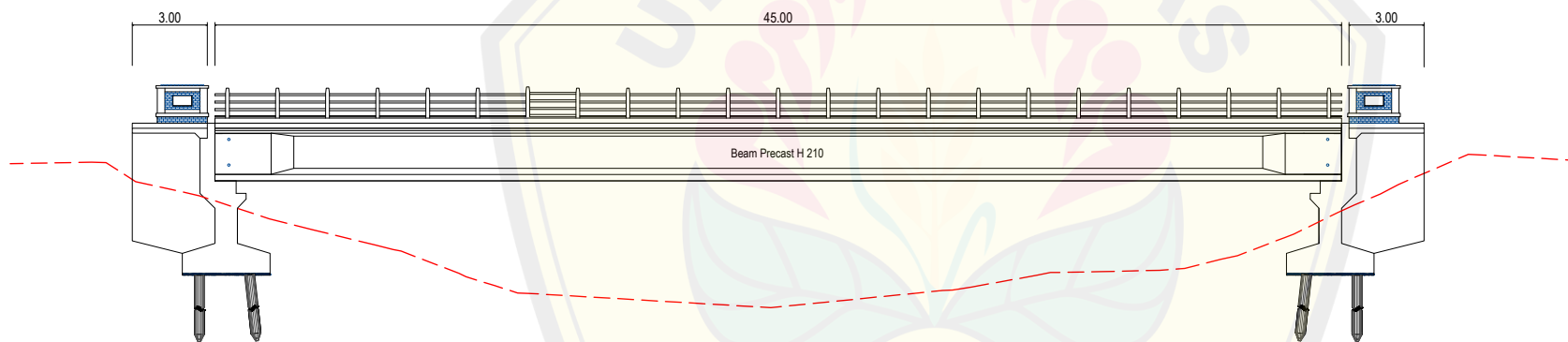
JUDUL GAMBAR

TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN

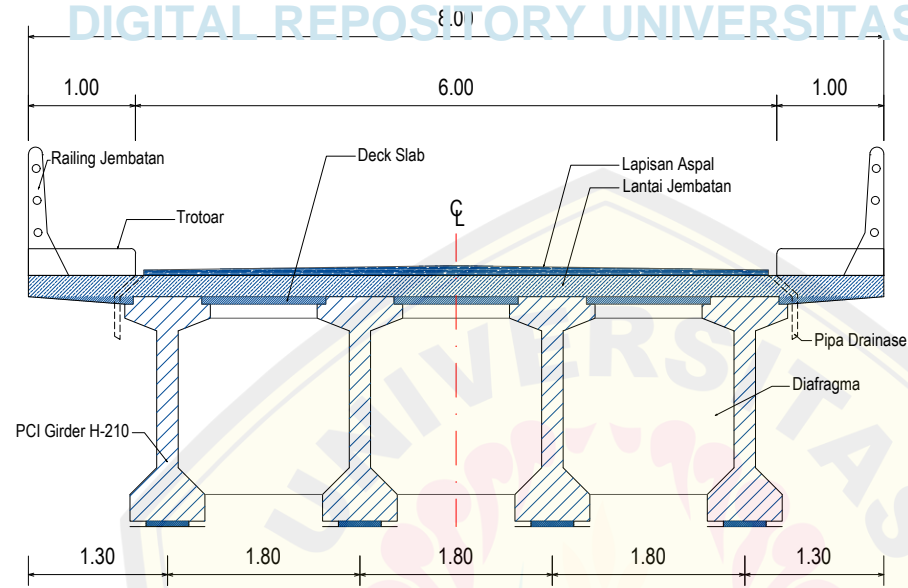
HALAMAN

2

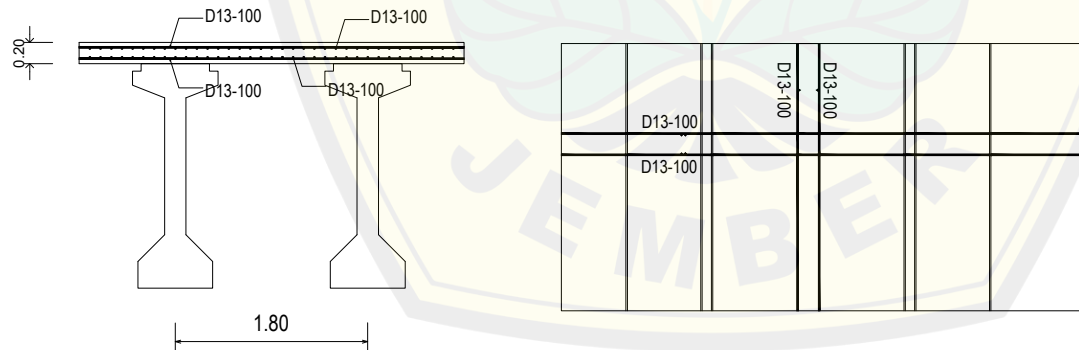
KETERANGAN



2 TAMPAK MEMANJANG JEMBATAN
SKALA 1 : 200



3 TAMPAK MELINTANG JEMBATAN
SKALA 1 : 50



3 PENULANGAN PELAT
SKALA 1 : 50



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
Jln. Kalimantan No. 37, Jember (68121)
Telp. Fax (0331) 484977, 410241
Website www.unej.ac.id

PEKERJAAN

REDESAIN STRUKTUR ATAS
JEMBATAN KEDUNGSOKO
TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN
GELAGAR PRATEGANG

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

MENGETAHUI DOSEN PEMBIMBING

Dr. KETUT ASWATAMA W., S.T., M.T.
197007132000121001

Dr. Ir. KRISNAMURTI, S.T., M.T.
196612281999031002

DIBUAT OLEH

DIMAS ARYASENA PRADITYA
201910301144

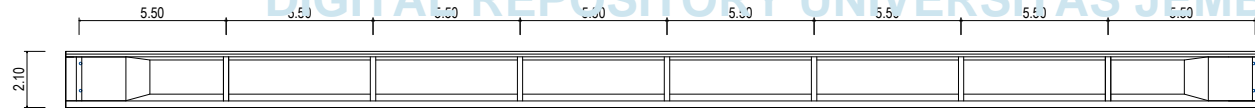
JUDUL GAMBAR

TAMPAK MELINTANG JEMBATAN
DAN
PENULANGAN PELAT

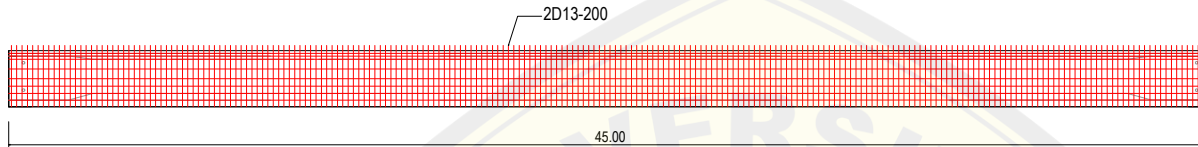
HALAMAN

3

KETERANGAN



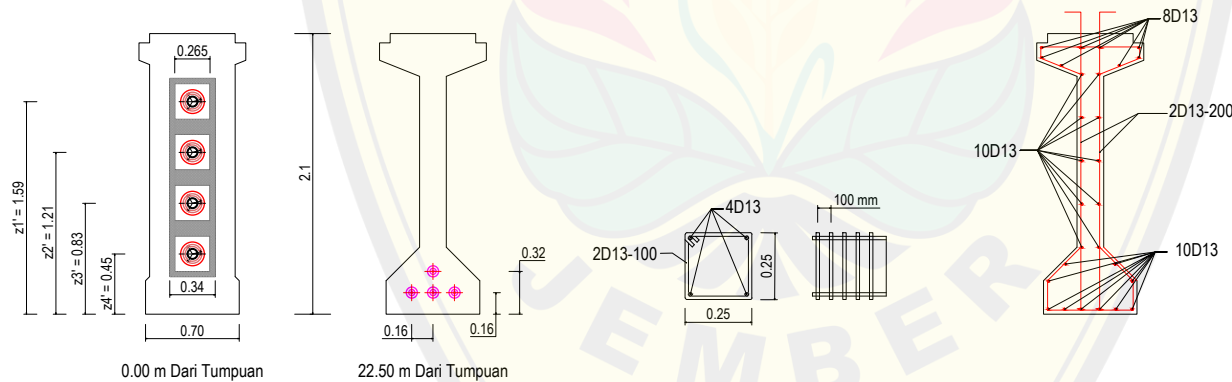
4 TAMPAK MEMANJANG GELAGAR
SKALA 1 : 200



4 TULANGAN GESER DAN SHEAR CONNECTOR
SKALA 1 : 200



4 PEMASANGAN TENDON MEMANJANG
SKALA 1 : 200



4 POSISI TENDON DI TUMPUAN DAN DI TENGAH BENTANG
SKALA 1 : 40

4 PENULANGAN BRUSTRING
SKALA 1 : 20

4 PENULANGAN GELAGAR
SKALA 1 : 40



KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS JEMBER
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
Jln. Kalimantan No. 37, Jember (68121)
Telp. Fax (0331) 484977, 410241
Website www.unej.ac.id

PEKERJAAN

REDESAIN STRUKTUR ATAS
JEMBATAN KEDUNGSOKO
TULUNGAGUNG MENGGUNAKAN
GELAGAR PRATEGANG

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

MENGETAHUI DOSEN PEMBIMBING

Dr. KETUT ASWATAMA W., S.T., M.T.
197007132000121001

Dr. Ir. KRISNAMURTI, S.T., M.T.
196612281999031002

DIBUAT OLEH

DIMAS ARYASENA PRADITYA
201910301144

JUDUL GAMBAR

DESAIN GELAGAR JEMBATAN

HALAMAN

4

KETERANGAN

4 DESAIN GELAGAR JEMBATAN
SKALA 1 : 200