



TUGAS AKHIR
PENINJAUAN ULANG STRUKTUR ATAS (SEGMENTAL
BOX GIRDER DENGAN LEBAR 16.3 M)
JEMBATAN CITARUM PADA PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II SELATAN PAKET 3
DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE CSI BRIDGE DAN
SAP 2000 V14

Oleh

MUHAMMAD RAHMATULLAH

40030118060033

Diajukan Sebagai

Salah Satu Syarat Menyelesaikan Studi Diploma III Teknik Sipil

Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

SEKOLAH VOKASI

UNIVERSITAS DIPONEGORO

2021

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya
nyatakan dengan benar.

NAMA : MUHAMMAD RAHMATULLAH

NIM : 40030118060033

Tanda Tangan :



Tanggal : 17 September 2021

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MUHAMMAD RAHMATULLAH
NIM : 40030118060033
Jurusan/Program Studi : Diploma III Teknik Sipil
Departemen : Sipil dan Perencanaan
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksekutif (Non-Executive Royalty Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENINJAUAN ULANG STRUKTUR ATAS (SEGMENTAL BOX GIRDER DENGAN LEBAR 16.3 M) JEMBATAN CITARUM PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II SELATAN PAKET 3 DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE CSI BRIDGE DAN SAP 2000 V14

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/non eksekutif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/memformat, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir penulis selama tetap mencantumkan nama penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 17 September 2021

Yang menyatakan



Muhammad Rahmatullah
NIM. 40030118060033

HALAMAN PENGESAHAN



TUGAS AKHIR

“PENINJAUAN ULANG STRUKTUR ATAS (SEGMENTAL BOX GIRDER DENGAN LEBAR 16.3 M) JEMBATAN CITARUM PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK II SELATAN PAKET 3 DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE CSI BRIDGE DAN SAP 2000 V14”

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disahkan pada:

Hari *Selasa*
Tanggal *5 OKTOBER 2021*

Disusun oleh:

Muhammad Rahmatullah

40030118060033

Dosen Pembimbing

Asri Nurdiana, S.T.,M.T

NIP. 198512092012122001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Asri Nurdiana, S.T.,M.T

NIP. 198512092012122001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. Atas segala rahmat dan dan karunia yang senantiasa diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “*Peninjauan Ulang Struktur Atas (Segmental Box Girder dengan Lebar 16.3 M) Jembatan Citarum Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3 dengan Menggunakan Software CSI Bridge dan SAP 2000 V14*”. Maksud dan tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk melengkapi persyaratan akademik dari Prodi Diploma III Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Selain itu juga memperdalam ilmu yang diperoleh di bangku perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini penulis mendapat bantuan dari banyak pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya serta kelancaran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua, yang telah membiayai juga memenuhi semua kebutuhan penulis dan memberikan dorongan serta doanya kepada penulis, sehingga penyusunan laporan ini dapat selesai.
3. Ibu Dr. Ida Hayu Dwimawanti, M. M, selaku Wakil Dekan I Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Ibu Asri Nurdiana, S.T, M.T., selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

5. Bapak Moh. Nur Sholeh, S.T., M.T selaku Dosen Wali Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. .
6. Ibu Asri Nurdiana, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing laporan magang dan tugas akhir pada Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
7. Semua Dosen yang ada pada Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
8. PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk, selaku kontraktor pelaksana pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3.
9. Bapak Agung Prio Laksono, ST selaku *Project Manager* Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta Cikampek II Selatan Paket 3.
10. Bapak Suwignya Hadi J, selaku *Project Engineering Manager* Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta Cikampek II Selatan Paket 3.
11. Bapak Akhmad Alkhabib, selaku *Site Procurement, Logistic and Equipment Manager* serta pembimbing magang pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta Cikampek II Selatan Paket 3
12. Bapak Joko Suyono, selaku *Site Operational Manager* Zona 3 Curug pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta Cikampek II Selatan Paket 3.
13. Seluruh pelaksana dan pegawai pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta Cikampek II Selatan Paket 3.
14. Teman – teman Diploma III Teknik Sipil angkatan 2018.
15. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam menyusun laporan ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari seluruh pihak guna memperbaikinya.

Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

Semarang, 1 Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iii
TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan.....	2
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Jembatan	5
2.2 Struktur Jembatan	5
2.2.1. Struktur Bawah.....	5
2.2.2. Struktur Atas.....	6
2.3 Beton Prategang	6
2.3.1. Metode Prategang	7
2.3.2. <i>Box Girder</i>	10
2.4 Peraturan Pembebanan Jembatan	11
2.4.1. Beban Mati Sendiri	11
2.4.2. Beban Mati Tambahan.....	12
2.4.3. Beban Lajur.....	13
2.4.4. Beban Truk.....	14
2.4.5. Beban Rem.....	15
2.4.6. Beban Angin	16

2.4.7.	Beban Gempa	17
2.6	Jumlah dan Tata Letak Tendon	20
2.7	Kehilangan Gaya Prategang	21
2.7.1.	Gesekan Angkur	21
2.7.2.	Gesekan Kabel	21
2.7.3.	Kehilangan akibat Perpendekan Elastis Beton	22
2.7.4.	Pengangkuran	23
2.7.5.	Pengaruh Susut	23
2.7.6.	Pengaruh Rayapan	23
2.8	Kontrol Tegangan	24
2.9	Lendutan	25
2.10	Tinjauan <i>Ultimate</i>	26
	BAB III METODOLOGI	27
3.1	Metode Pengerjaan	27
3.2	Metode Penggambaran	28
3.3	Metode Penulisan	28
3.4	Metode Analisa	28
3.5	Diagram Alir Perencanaan	30
	BAB IV ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR	31
4.1	Data Perencanaan Konstruksi Jembatan	31
4.2	Perhitungan Penampang Box Girder	33
4.2.1	Mencari Tinggi Balok	33
4.2.2	Penentuan <i>Properties</i> Penampang Box Girder	34
4.3	Perhitungan Pembebanan Balok Prategang	37
4.3.1	Beban Mati Sendiri (MS)	37
4.3.2	Beban Mati Tambahan (MA)	38
4.3.3	Beban Lajur (TD)	39
4.3.4	Beban Rem (TB)	40
4.3.5	Beban Angin (EW)	40
4.3.6	Beban Gempa (EQ)	41
4.3.7	Momen dan Gaya Geser Maksimum	46
4.3.8	Resume Momen dan Gaya Geser pada Girder	47

4.4	Perhitungan Gaya Prategang dan Jumlah Tendon	52
4.4.1.	Penentuan Tendon <i>Bottom</i>	53
4.4.2.	Penentuan Tendon Kantilever	55
4.5	Layout Tendon	56
4.6	Kehilangan tegangan (Loss of Prestress)	59
4.6.1.	Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur (<i>Anchorage Friction</i>)	59
4.6.2.	Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Cable (<i>Jack Friction</i>)	59
4.6.3.	Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis (<i>Elastic Shortening</i>)	60
4.6.4.	Kehilangan Tegangan Jangka Panjang	63
4.6.5.	Total Kehilangan Gaya Prategang	66
4.7	Tegangan Yang Terjadi Akibat Gaya Prategang	70
4.7.1.	Pada Keadaan Awal (Saat Transfer)	70
4.7.2.	Pada Keadaan Setelah (<i>Loss Of Prestress</i>)	72
4.8	Lendutan Pada Box girder Prategang	73
4.8.1.	Lendutan Pada Keadaan Awal (Transfer)	73
4.8.2.	Lendutan Setelah <i>Loss of Prestress</i> (Service)	75
4.9	Perencanaan Struktur Plat Lantai	79
4.9.1.	Perhitungan <i>End Block Bottom</i>	79
4.9.2.	Perhitungan <i>End Block Cantilever</i>	80
4.9.3.	Perhitungan Penulangan Melintang Box Girder	81
4.10	Perencanaan Struktur Plat Injak	100
4.11	Perencanaan Struktur Parapet	105
4.12	Pemodelan Software	110
4.13	Peninjauan Ultimate Box girder Prategang	115
	BAB V PENUTUP	118
5.1	Kesimpulan	118
5.2	Saran	120
	DAFTAR PUSTAKA	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Metode Pratarik	8
Gambar 2. 2 Metode Pascatarik.....	9
Gambar 2. 3 Beban Lajur “D”	13
Gambar 2. 4 Beban Truk “T”	15
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan Jembatan	30
Gambar 4. 1 Layout Rencana Jembatan Citarum.....	32
Gambar 4. 2 Desain Penampang Melintang Jembatan Citarum.....	32
Gambar 4. 3 Tinggi Gelagar Bervariasi (Parabola).....	33
Gambar 4. 4 Penampang Properties Balok Box Girder.....	35
Gambar 4. 5 Potongan Melintang Parapet.....	37
Gambar 4. 6 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk propabilitas terlampau 7% dalam 75 tahun.....	42
Gambar 4. 7 Peta Respon Spectra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar untuk Propabilitas Terlampau 7% Dalam 75 Tahun	42
Gambar 4. 8 Peta Respon Spectra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Propabilitas Terlampau 7% Dalam 75 Tahun	43
Gambar 4. 9 Diagram Momen Box Prategang Span 120	48
Gambar 4. 10 Diagram Gaya Geser Box Prategang Span 120.....	49
Gambar 4. 11 Diagram Momen Box Prategang Span 77.5	50
Gambar 4. 12 Diagram Gaya Geser Box Prategang Span 77,5.....	51
Gambar 4. 13 Koordinat Anchor dan Duct Tendon Bottom Span 77.5 m	56
Gambar 4. 14 Layout Tendon Bottom Span 77.5 m.....	56
Gambar 4. 15 Koordinat Anchor dan Duct Tendon Bottom Span 120 m	57
Gambar 4. 16 Layout Tendon Bottom Span 120 m.....	57
Gambar 4. 17 Layout Tendon Cantilever	58
Gambar 4. 18 Koordinat Anchor dan Duct Tendon Cantilever.....	58
Gambar 4. 19 Grafik Loss of Prestress Box Girder Span 120	68
Gambar 4. 20 Grafik Loss of Prestress Box Girder Span 77.5	69
Gambar 4. 21 Detail Bursting Steel End Block Tendon Bottom	80
Gambar 4. 22 Detail Bursting Steel End Block Tendon Cantilever.....	81
Gambar 4. 23 Momen Penampang Melintang Box Girder.....	82
Gambar 4. 24 Kondisi Pembebanan Penampang Melintang Box Girder	82
Gambar 4. 25 Detail Penulangan Box Girder.....	99
Gambar 4. 26 Detail Penulangan Plat Injak	104
Gambar 4. 27 Dimensi Parapet.....	105
Gambar 4. 28 Bridge Layout	110
Gambar 4. 29 Section Properties Box Girder	111
Gambar 4. 30 Parametric Variations Span 77,5 m	111
Gambar 4. 31 Parametric Variations Span 120 m	112
Gambar 4. 32 Define Segmental Tendon	112

Gambar 4. 33	Jembatan Sebelum Deformasi	113
Gambar 4. 34	Jembatan Setelah Deformasi	113
Gambar 4. 35	Diagram Respon Momen Jembatan.....	113
Gambar 4. 36	Diagram Respon Gaya Geser Jembatan	114
Gambar 4. 37	Diagram Respon Gaya Normal Jembatan	114

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor beban untuk beban sendiri	11
Tabel 2. 2 Faktor beban untuk beban mati tambahan.....	12
Tabel 2. 3 Koefisien Seret	17
Tabel 2. 4 Kecepatan Angin Rencana	17
Tabel 4. 1 Propertis Penampang Box Girder.....	35
Tabel 4. 2 Kelas Situs.....	41
Tabel 4. 3 Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a)	44
Tabel 4. 4 Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)	44
Tabel 4. 5 Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur .	45
Tabel 4. 6 Rekap Beban Struktur Atas	47
Tabel 4. 7 Persamaan momen dan gaya geser pada balok prategang.....	47
Tabel 4. 8 Resume Momen pada Box Girder Span 120	48
Tabel 4. 9 Resume Gaya Geser pada Box Girder Span 120	49
Tabel 4. 10 Resume Momen pada Box Girder Span 77,5.....	50
Tabel 4. 11 Resume Gaya Geser pada Box Girder Span 77,5	51
Tabel 4. 7 Total Kehilangan Gaya Prategang Box Girder Span 120	68
Tabel 4. 8 Total Kehilangan Gaya Prategang Box Girder Span 77.5	69
Tabel 4. 9 Titik Berat Parapet	106
Tabel 4. 10 Tabel Nilai Gaya Respon Jembatan	115

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek 2 Selatan merupakan pembangunan jalan tol yang menghubungkan DKI Jakarta dan Kota Purwakarta dengan panjang 62 km. Jalan tol ini terdiri atas tiga paket, yakni paket I (Jati Asih-Setu) 9,3 km, paket II (Setu-Taman Mekar) 24,85 km, dan paket III (Taman Mekar-Sadang) 27,85 km. Pembangunan saat ini pada paket III dilakukan oleh PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk dengan nilai kontrak kurang lebih Rp 3 Triliun. Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek 2 Selatan Paket 3 memiliki 5 zona pekerjaan.

Jembatan Citarum merupakan salah satu jembatan yang dibangun pada zona 3 Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek 2 Selatan Paket 3. Jembatan Citarum merupakan jembatan *segmental box girder* prategang dengan metode konstruksi *balanced cantilever*. Jembatan Citarum memiliki 3 span dengan total panjang 275 meter dan lebar 16.5 meter. Jembatan ini termasuk jembatan pada jalan utama (*main road*) pada Jalan Tol Jakarta-Cikampek 2 Selatan.

Segmental box girder merupakan salah satu jenis girder yang biasa digunakan untuk struktur jembatan bentang panjang. *Box girder* menjadi salah satu pilihan dalam infrastruktur transportasi karena rongga yang ada pada komponen tersebut membuat beban pada struktur atas berkurang.

Selain itu, jembatan dengan penampang box memberikan ketahanan torsi yang lebih baik dan bermanfaat untuk diaplikasikan pada jembatan melengkung. Sistem produksi *Box Girder* dapat menggunakan metode pracetak maupun *cast in place*. Instalasi *Box Girder* dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu sistem perancah, *balanced cantilever* maupun sistem *launching* atau peluncur. Salah satu contoh dari penggunaan konstruksi *Box Girder* prategang (*prestressed*) adalah Jembatan Citarum.

Perencanaan dimensi *box girder* yang tepat membuat beban-beban yang bekerja pada jembatan dapat dipikul secara aman dan masih dalam batas yang disyaratkan. Pemilihan metode konstruksi menjadi salah satu hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan konstruksi jembatan. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada Tugas Akhir ini penulis melakukan kontrol perhitungan ulang struktur atas. Perhitungan yang mengacu pada standar yang benar diperlukan untuk mengetahui perencanaan konstruksi jembatan beton prategang (*prestress*) sehingga diharapkan mendapatkan gambaran yang jelas dan dapat memahami ilmu dari suatu perencanaan jembatan.

1.2 Maksud dan Tujuan

Adapun maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Peninjauan ulang perencanaan struktur *box girder* Jembatan Citarum
2. Peninjauan ulang perencanaan struktur plat lantai Jembatan Citarum
3. Peninjauan ulang perencanaan struktur plat injak Jembatan Citarum

4. Peninjauan ulang perencanaan struktur parapet Jembatan Citarum
5. Untuk melengkapi syarat akhir kelulusan pada Program Studi Diploma III Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

1.3 Pembatasan Masalah

Pokok permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini meliputi peninjauan ulang struktur atas *box girder* pada Jembatan Citarum menggunakan bantuan software CSI Bridge dan SAP2000, penulis membatasi masalah:

1. Analisa kontrol dimensi dan pembebanan struktur atas.
2. Gambar kerja.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

KATA PENGANTAR

Berisi pesan-pesan penulis tentang bagaimana tersusunnya Tugas Akhir ini.

BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan latar belakang, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan dasar-dasar teori yang digunakan dalam penyusunan perhitungan pada tugas akhir

BAB III METODOLOGI

Menguraikan tentang metode yang digunakan didalam mengumpulkan data maupun analisa data dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

BAB IV PEMBAHASAN

Menguraikan perhitungan pembebanan, peninjauan ulang struktur atas (box girder)

BAB V PENUTUP

Menguraikan kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi referensi atau sumber data yang dipakai dalam penyusunan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

Berisi lampiran-lampiran penunjang penyusunan Tugas Akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu struktur yang menghubungkan jalur transportasi yang melintasi hambatan yang ada berupa sungai, jurang, ruas jalan dan lain sebagainya. Jembatan memungkinkan kendaraan, kereta api maupun pejalan kaki melintas dengan lancar dan aman. Konstruksi suatu jembatan terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. (*Perencanaan Jembatan Direktorat Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga*)

2.2 Struktur Jembatan

Secara umum struktur jembatan dapat dibedakan menjadi 2 bagian yaitu struktur atas dan struktur bawah. Berikut penjelasannya:

2.2.1. Struktur Bawah

Struktur bawah jembatan berfungsi memikul seluruh beban struktur atas dan beban struktur bawah milik sendiri yang kemudian disalurkan ke pondasi. Selanjutnya beban-beban tersebut disalurkan oleh pondasi ke tanah dasar. Struktur bawah jembatan umumnya (*Karramal, 2016*) meliputi :

- a. Kepala jembatan (*Abutment*)
 - Dinding belakang (*Back wall*)
 - Dinding sayap (*Wing wall*)
 - Oprit, plat injak (*Approach slab*)
 - Tumpuan (*Bearing*)

- b. Pilar jembatan (*Pier*)
 - Kepala pilar (*Pier Head*)
 - Pilar (*Pier*)
 - Tumpuan (*Bearing*)
- c. Pondasi (*Foundation*)

2.2.2. Struktur Atas

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu-lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki, dan lain sebagainya. Struktur atas jembatan umumnya (*Karramal, 2016*) meliputi :

- a. Trotoar :
 - Tiang sandaran
 - Peninggian trotoar (*Kerb*)
 - Slab trotoar
- b. Slab lantai kendaraan
- c. Gelagar (*Girder*)
- d. Balok diafragma

2.3 Beton Prategang

Beton prategang adalah beton mutu yang tinggi yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban luar (*T.Y. Lin dan Burn, 1993*). Beton prategang merupakan

kombinasi antara beton dengan dan baja bermutu tinggi dikombinasikan dengan suatu proses terlebih dahulu. Proses ini dapat dicapai dengan cara menarik baja dengan menahannya ke beton, sehingga beton dalam keadaan tertekan. Karena penampang beton sebelum beban bekerja telah dalam kondisi tertekan, maka bila beban bekerja tegangan tarik yang terjadi dapat dilawan oleh tegangan tekan yang telah diberikan pada penampang sebelum beban bekerja.

Konsep prategang adalah memberikan gaya tarik pada tendon sebagai tulangan tariknya serta memberikan momen perlawanan dari eksentrisitas yang ada sehingga selalu tercipta tegangan total negatif baik di saat atas maupun bawah yang besarnya selalu di bawah kapasitas tekan beton. Struktur akan selalu bersifat elastis karena beton tidak pernah mencapai tegangan tarik dan tendon tak pernah mencapai titik plastisnya. (*Manual Konstruksi dan Bangunan – Pemeliharaan Jembatan Box Girder, 2011*).

2.3.1. Metode Prategang

Pada umumnya terdapat dua jenis metode pemberian gaya prategang pada beton, yaitu :

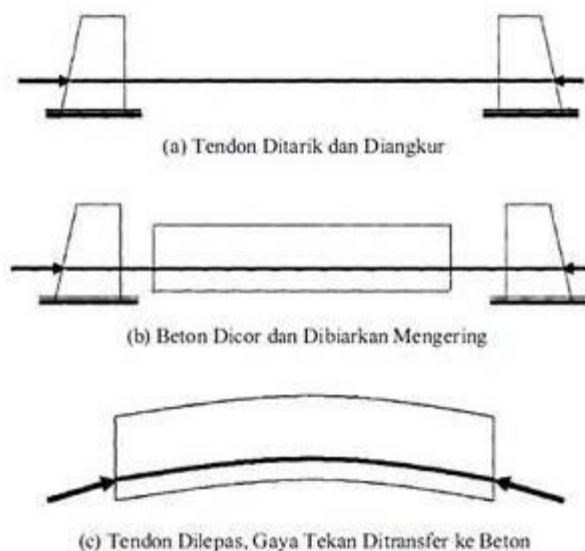
a. Pratarik (*Pre-Tension Method*)

Metode ini baja prategang diberi gaya prategang dulu sebelum beton dicor, oleh karena itu disebut *pre-tension method*. Tahapan dari Pratarik ini adalah sebagai berikut :

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

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

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



Gambar 2. 1 Metode Pratarik

Sumber : <https://asiacon.co.id/>

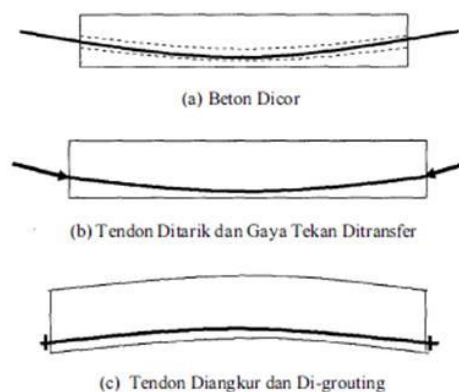
b. Pascatarik (*Post-Tension Method*)

Pada metode Pascatarik, beton dicor terlebih dahulu, dimana sebelumnya telah disiapkan saluran kabel atau tendon yang disebut *duct*. Metode ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

Tahap A : Cetakan (*formwork*) disediakan dengan saluran kabel prategang (*tendon duct*) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok, kemudian beton dicor.

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

Tahap C : Setelah diangkur, balok beton menjadi tertekan, gaya prategang telah ditransfer ke beton. Karena tendon dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan beban merata ke balok yang arahnya keatas, akibatnya balok melengkung keatas.



Gambar 2. 2 Metode Pascatarik

Sumber : <https://www.ilmutekniksipilindonesia.com/>

Biasanya beton prategang dengan sistem *post-tension* dilaksanakan secara *segmental* kemudian pemberian gaya prategang dilaksanakan di lokasi proyek, setelah balok segmental tersebut dipasang.

2.3.2. Box Girder

Box girder adalah balok girder berupa beton prategang sistem *post tensioning*, tersusun dari gelagar longitudinal dengan sayap (*wing slab*) di atas dan bagian bawah yang berbentuk rongga (*hollow*) atau gelagar kotak. Tipe gelagar ini digunakan untuk jembatan bentang – bentang panjang. Proses pengecoran dapat dilakukan dengan *Cast-in-place* (di lokasi proyek) atau *Precast* (di Pabrik) (Asriyanto-Metode Konstruksi Jembatan Beton, 2005).

Erection box girder dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu *balance cantilever*, *launching*, dan perancah. Metode *balance cantilever* dilakukan dengan balok jembatan dicor atau *precast*, segmen demi segmen sebagai kantilever di kedua sisi agar saling mengimbangi (*balance*) antara satu sisi dengan sisi lainnya. Metode *launching* dilakukan dengan cara balok jembatan dicor disalah satu sisi jembatan, kemudian diluncurkan dengan cara ditarik atau didorong hingga mencapai sisi lain jembatan. Metode perancah dilakukan dengan balok jembatan dicor atau *precast* diatas landasan yang didukung oleh sistem perancah (Asriyanto-Metode Konstruksi Jembatan Beton, 2005).

2.4 Peraturan Pembebanan Jembatan

Pada studi perencanaan jembatan ini seluruh beban maupun gaya yang bekerja pada konstruksi akan dihitung berlandaskan SNI 1725:2016 dan RSNI T-02-2005.

2.4.1. Beban Mati Sendiri

Berat mati sendiri (self weight) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap.

Tabel 2. 1 Faktor beban untuk beban sendiri

Sumber : SNI 1725:2016

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

Berat balok prategang dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

$$Q = A \times Wc$$

A = Luas Penampang Girder

Wc = Berat jenis beton prategang (kN/m³)

Gaya geser dan momen akibat berat sendiri dapat dihitung dengan

Persamaan berikut:

$$\text{Beban} : Q_{ms} = A \times W$$

$$\text{Gaya geser} : V_{ms} = \frac{1}{2} \times Q_{ms} \times L$$

$$\text{Momen} : V_{ms} = \frac{1}{8} \times Q_{ms} \times L^2$$

2.4.2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan merupakan berat dari seluruh bahan elemen yang nonstruktural, dan biasanya dapat berubah-ubah pada umur jembatan.

a. Lapisan Aspal dan *Overlay*

Berat aspal dan *overlay* dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

$$Q_{as} = A_{as} \times W_{as}$$

$$W_{as} = \text{Berat jenis aspal (kN/m}^3\text{)}$$

b. Berat air hujan

Berat air hujan dapat dihitung dengan Persamaan berikut:

$$Q_{ah} = A_{ah} \times W_{ah}$$

$$A_{ah} = \text{Berat jenis air (kN/m}^3\text{)}$$

c. Gaya geser dan momen akibat beban mati tambahan dapat dihitung

dengan Persamaan berikut:

$$\text{Beban} : Q_{MA} = Q_{as} + Q_{ah}$$

$$\text{Gaya geser} : V_{MA} = \frac{1}{2} \times Q_{MA} \times L$$

$$\text{Momen} : V_{MA} = \frac{1}{8} \times Q_{MA} \times L^2$$

Tabel 2. 2 Faktor beban untuk beban mati tambahan

Sumber: SNI 1725:2016

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Aluminium	1,00	1,40	0,80
Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk besar utilitas				

2.4.3. Beban Lajur

Beban lajur bekerja di seluruh lebar jalur kendaraan yang terdiri atas beban terbagi merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT), seperti yang terlihat pada Gambar Beban terbagi merata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total L yang dibebani, dan dinyatakan dalam ketentuan sebagai berikut:

$$q = 9,0 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$q = 9,0 \text{ kPa} \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

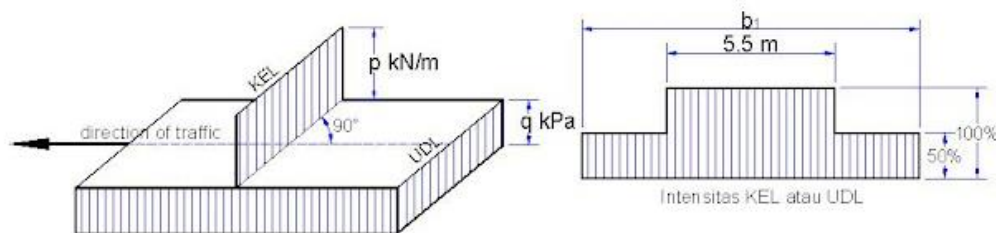
Beban garis mempunyai intensitas, $p = 49,0 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis (Dynamic Load Allowance) untuk BGT diambil sebagai berikut:

$$DLA = 0,4 \quad \text{untuk } L \leq 50 \text{ m}$$

$$DLA = 0,4 - 0,0025 \times (L - 50) \quad \text{untuk } 50 < L < 90 \text{ m}$$

$$DLA = 0,3 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$



Gambar 2. 3 Beban Lajur “D”

Sumber : <http://strukturbeton21.blogspot.com/>

Beban merata pada *box girder*, $Q_{TD} = q \times \text{lebar efektif}$

Beban terpusat pada *box girder*, $P_{TD} = (1+DLA) \times p \times \text{lebar efektif}$

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan. Hal itu dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” tersebar pada seluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoar) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

Gaya geser dan Momen maksimum akibat beban lajur D dihiutng dengan Persamaan berikut:

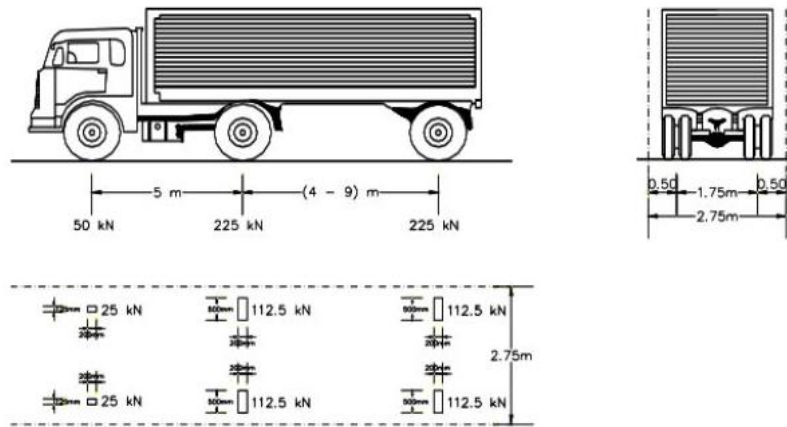
$$\text{Gaya geser} : V_{MA} = \frac{1}{2} \times Q_{TD} \times L$$

$$\text{Momen} : M_{MA} = \frac{1}{8} \times Q_{TD} \times L^2$$

2.4.4. Beban Truk

Beban truk “T” adalah suatu beban kendaraan berat dengan 3 as yang ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk hanya dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4.0 m sampai 9.0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Beban hidup pada lantai

jembatan berupa beban roda ganda oleh truk (beban T) yang besarnya, T
 = 500 kN



Gambar 2. 4 Beban Truk “T”

Sumber : SNI 1725:2016

2.4.5. Beban Rem

Adapun gaya rem yang harus diambil nilai yang paling besar dari dua cara dibawah ini:

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuat sesuai dengan Pasal 8.2 (SNI 1725:2016) yang berisikan tentang lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini pun harus diperkirakan agar bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal.

Dalam menghitung gaya rem yang terjadi dapat digunakan Persamaan-persamaan berikut:

- 1) Gaya rem : $T_{TD} = 5\% \times T + Q_{TD}$
- 2) Lengan terhadap titik berat balok : $Y = 1,80 + h_a + y_{ac}$
 h_a = tebal lapisan aspal + overlay
 y_{ac} = titik berat girder (m)
- 3) Beban momen akibat gaya rem : $M = T_{TB} \times Y$
- 4) Gaya geser beban rem : $V_{TB} = M / L$
- 5) Momen maksimum akibat beban rem : $M_{TB} = \frac{1}{2} \times M$

2.4.6. Beban Angin

Beban Angin merupakan beban garis merata tambahan arah horizontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan di atas jembatan. Apabila suatu kendaraan sedang berada di atas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$T_w = 0,0012 \times C_w \times (V_w)^2 \times A_b$$

V_w = kecepatan angin rencana (m/s)

C_w = koefisien seret

A_b = luas total bagian dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan

Tabel 2. 4 Koefisien Seret*Sumber: RSNI T-02-2005*

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: (1), (2)	
$b/d = 1.0$	2.1 (3)
$b/d = 2.0$	1.5 (3)
$b/d \geq 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
CATATAN (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif	
CATATAN (2) Untuk harga antara dari b / d bisa diinterpolasi linier	
CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5 %	

Tabel 2. 3 Kecepatan Angin Rencana*Sumber: RSNI T-02-2005*

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

Transfer beban angin ke lantai jembatan

$$Q_{EW} = \left(\frac{1}{2} \times \frac{h}{x} \times T_{EW} \right) \times 2$$

Gaya geser akibat beban angin

$$V_{TP} = \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times L$$

Momen maksimum

$$M_{TP} = \frac{1}{8} \times Q_{EW} \times L^2$$

2.4.7. Beban Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat

struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_1$$

dengan:

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = koefisien respon gempa elastik pada mode getar ke-m

R_d = faktor modifikasi respon

W_1 = berat total struktur (beban mati dan beban hidup) (kN)

Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2016.

Gaya geser akibat beban angin

$$V_{EQ} = \frac{1}{2} \times E_Q \times L$$

Momen maksimum

$$M_{EQ} = \frac{1}{8} \times E_Q \times L^2$$

2.5 Gaya Prategang

A. Kondisi awal (saat transfer)

Tegangan pada saat pelimpahan gaya prategang (penarikan tendon pada system pasca tarik atau pemotongan tendon pada system pratarik). Gaya dan beban yang bekerja:

- 1) Gaya prategang awal P_t (gaya prategang sebelum terjadi kehilangan tegangan/gaya prategang).

2) Beban berat sendiri (Mbs)

Untuk mencari besaran gaya prategang awal, dapat digunakan Persamaan berikut:

$$\text{Tegangan serat atas (Tarik)} : 0,25 \sqrt{f_{ci}} = -\frac{P_t}{A} + \frac{P_t \times e}{W_a} - \frac{M_{bs}}{W_a}$$

$$\text{Tegangan serat bawah (Tekan)} : 0,6 f_{ci} = -\frac{P_t}{A} - \frac{P_t \times e}{W_b} + \frac{M_{bs}}{W_b}$$

B. Kondisi akhir (saat service)

Pemeriksaan tegangan saat keadaan akhir (layan) / pada saat seluruh beban transversal sudah bekerja. Gaya dan beban yang bekerja:

- 1) Gaya prategang efektif P_{eff} (gaya prategang setelah terjadi seluruh kehilangan gaya prategang akibat kehilangan jangka pendek dan jangka panjang.
- 2) Seluruh beban eksternal telah bekerja, seperti beban berat sendiri, beban mati dan beban hidup atau dengan momen total yang bekerja saat layan M_T .

Tegangan yang terjadi pada balok prategang dapat dicari dengan Persamaan berikut:

$$\text{Diserat atas (Tekan)} : 0,45 f_{c'} = -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \times e}{W_a} - \frac{M_T}{W_a}$$

$$\text{Diserat bawah (Tarik)} : 0,50 \sqrt{f_{c'}} = -\frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \times e}{W_b} + \frac{M_T}{W_b}$$

dengan:

P_{eff} = gaya prategang efektif

A = Luas penampang balok

e_s = eksentrisitas

M_{bs} = momen akibat berat sendiri

W_a = tahanan momen serat atas (m^3)

W_b = tahanan momen serat bawah (m^3)

M_T = momen yang bekerja saat layan

2.6 Jumlah dan Tata Letak Tendon

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untaian "Strands cable" standar VSL.

P_{bs} = beban putus minimal satu strands

Jumlah strand minimal yang diperlukan, $n_s = \frac{P_t}{P_{bs}}$

Beban putus minimum 1 tendon, $P_{b1} = P_{bs1} \times \text{jumlah strands per tendon}$

Jumlah kabel tendon, $n_t = \frac{P_t}{0,8 \times 0,85 \times P_{b1}}$

n_t = jumlah tendon

P_{b1} = beban putus satu tendon

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% Jacking Force),

$$p_o = \frac{P_t}{(n_t \times P_{b1})}$$

Gaya prestress yang terjadi akibat jacking,

$P_j = p_o \times n_s \times P_{bs1}$

P_{bs1} = beban satu strands

Persamaan lintasan tendon sebagai berikut:

$$Y = 4 \times f \times \frac{X}{L^2} \times (L - X)$$

dengan:

f = eksentrisitas (m)

X = jarak lintasan tendon (m)

L = panjang balok (m)

2.7 Kehilangan Gaya Prategang

Tegangan pada tendon beton prategang akan berkurang secara kontinyu seiring dengan waktu. Total pengurangan tegangan ini disebut kehilangan prategang total. Kehilangan prategang total ini adalah faktor utama yang mengganggu perkembangan awal prategang.

$$\text{Kehilangan gaya prestress total} = \left(1 - \frac{P_{\text{eff}}}{P_j}\right) \times 100 \%$$

Kehilangan gaya prategang diakibatkan antara lain oleh:

2.7.1. Gesekan Angkur

Kehilangan gaya akibat gesekan angkur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prestress akibat *jacking* :

$$P_o = 97\% \times P_j$$

2.7.2. Gesekan Kabel

Kehilangan gaya akibat gesekan kabel,

$$P_x = P_o \times e^{-\mu(\alpha + \beta \cdot L_x)}$$

Keterangan :

e = bilangan natural

μ = koefisien gesek

β = bilangan wooble

L_x = panjang bentang

2.7.3. Kehilangan akibat Perpendekan Elastis Beton

Tegangan baja pre-stress sebelum loss of prestress (di tengah bentang),

$$\sigma_{pi} = \frac{n_s \times P_{bs}}{A_t}$$

Keterangan :

A_t = Luas tampang tendon baja prestress

n_s = Jumlah total strands

P_{bs} = Beban putus satu strands

Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri,

$$\Delta\sigma_{pe'} = \frac{\sigma_{pi} \times n \times K_e}{(1 + n \times K_e)}$$

Keterangan :

n = Modulus ratio antara baja prestress dengan box girder

$$K_e = \frac{A_t}{A \times \left(1 + \frac{e_s^2}{t^2}\right)}$$

Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaruh gaya prestress,

$$\sigma_{bt} = \frac{\Delta\sigma_{pe'}}{n} - \frac{M_{balok} \times e_s}{I_x}$$

Keterangan :

e_s = Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat box girder

I_x = Momen inersia tampang box girder

Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik tanpa pengaruh berat sendiri,

$$\Delta\sigma_{pe} = \frac{1}{2} \times n \times \sigma_{bt}$$

Loss of prestress akibat pemendekan elastis :

$$\Delta P_e = \Delta\sigma_{pe} \times A_t$$

2.7.4. Pengangkuran

Loss of prestress akibat angkur,

$$\Delta P = 2 \times L_{max} \times \tan \varpi$$

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

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

2.7.5. Pengaruh Susut

$$\text{Tegangan Susut } \sigma_{sh} = \Delta\varepsilon_{su} \times E_s$$

Keterangan :

$$\Delta\varepsilon_{su} = \text{regangan susut}$$

E_s = Modulus elastis baja prestress (strand)

2.7.6. Pengaruh Rayapan

$$\text{Tegangan akibat creep } \sigma_{cr} = \varepsilon_{cr} \times E_s$$

Keterangan :

$$\varepsilon_c = \text{regangan akibat creep}$$

E_s = Modulus elastis baja prestress (strand)

2.8 Kontrol Tegangan

Menurut SNI-12-2004, tegangan beton sesaat setelah penyaluran gaya prestress (sebelum terjadi kehilangan tegangan) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- Tegangan serat tekan terluar harus $\leq 0,60 \times f_{ci}'$
- Tegangan serat tarik terluar harus $\leq 0,25 \times \sqrt{f_{ci}'}$
- $f_{ci}' = 0,80 \times f_c'$

Tegangan beton pada kondisi beban layan (setelah memperhitungkan semua kehilangan tegangan) tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut:

- Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh pre-stress, beban mati, dan beban hidup $\leq 0,45 \times f_c'$
- Tegangan serat tarik terluar yang pada awalnya mengalami tekan $\leq 0,50 \times \sqrt{f_c'}$

1. Tegangan saat Transfer

$$\text{Tegangan beton di serat atas, } f_a = -\frac{P_t}{A} + \frac{P_t \times e}{W_a} - \frac{M_{bs}}{W_a}$$

$$\text{Tegangan beton di serat bawah, } f_b = -\frac{P_t}{A} - \frac{P_t \times e}{W_b} + \frac{M_{bs}}{W_b}$$

2. Tegangan saat *Loss of Prestress*

$$\text{Tegangan beton di serat atas, } f_a = -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \times e}{W_a} - \frac{M_T}{W_a}$$

$$\text{Tegangan beton di serat bawah, } f_b = -\frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \times e}{W_b} + \frac{MT}{W_b}$$

2.9 Lendutan

Kontrol lendutan dilakukan pada saat transfer dan pada saat servis. Pada saat transfer dimana beban berat sendiri yang bekerja terjadi lendutan ke atas yang disebabkan oleh tekanan tendon ke atas pada waktu penarikan kabel prategang. Lendutan yang terjadi diimbangi oleh beban servis sehingga menimbulkan lendutan pada balok dan diharapkan lendutan yang terjadi tidak melebihi lendutan maksimum yang diijinkan. Menurut SNI 2847-2013 lendutan maksimum yang diijinkan adalah $L/240$, dimana L adalah panjang bentang balok.

Lendutan terhadap beban merata

$$\delta = \frac{5 \times Q \times L^4}{384 \times E_c \times I_x}$$

Lendutan terhadap gaya terpusat

$$\delta = \frac{P \times L^3}{48 \times E_c \times I_x}$$

Lendutan terhadap gaya prategang

$$\delta = \frac{5 \times P \times L^2}{48 \times E_c \times I_x}$$

Keterangan :

Q = beban merata

P = gaya terpusat

E_c = modulus elastisitas

I_x = inersia

L = bentang jembatan

2.10 Tinjauan *Ultimate*

Tinjauan ultimit yang dihitung adalah hanya kapasitas momen positif ultimit karena tendon melewati bawah garis netral. Kuat leleh baja prestress (fps) pada keadaan ultimit, ditetapkan:

Tegangan batas prategang (fps) pada keadaan ultimate

$$fps = f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_p \times \rho_p \times f_{pu}}{\beta_1 \times f'_c} \right]$$

Cek daktilitas penampang

$$\omega_p = \frac{\rho_p \times fps}{f'_c}$$

$$\text{Momen nominal, } M_n = A_{ps} \times fps \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Keterangan :

A_{ps} = luas penampang tendon baja prestress

fps = kuat leleh baja prestress

d = tinggi efektif

a = tinggi blok tekan

BAB III

METODOLOGI

3.1 Metode Pengerjaan

Pengerjaan tugas akhir ini menggunakan metode-metode sebagai berikut :

a. Metode Deskriptif

Metode deskriptif (literatur) didapatkan dari buku-buku yang mempelajari tentang contoh-contoh analisa yang digunakan dalam perhitungan struktur. Metode literatur digunakan dalam pemecahan-pemecahan permasalahan yang dihadapi dalam pembuatan tugas akhir ini.

b. Metode Observasi

Metode yang berupa pengamatan yang dapat berguna dalam perolehan data untuk pengerjaan tugas akhir.

c. Metode Interview

Metode yang berupa wawancara langsung kepada narasumber guna mendapatkan rujukan baik data maupun tata cara perencanaan sehingga berguna dalam penyelesaian tugas akhir.

d. Metode bimbingan

Metode bimbingan dilakukan dengan dosen mengenai masalah yang dibahas untuk mendapatkan petunjuk dalam pembuatan tugas akhir.

3.2 Metode Penggambaran

Format penggambaran tugas akhir baik berupa hasil peninjauan perencanaan maupun gambar-gambar penunjang laporan tugas akhir ini, disesuaikan dengan tata cara menggambar teknik struktur bangunan dengan menggunakan program AutoCAD.

3.3 Metode Penulisan

Penulisan dalam tugas akhir ini menyesuaikan ejaan yang disempurnakan (EYD) dan tata cara penulisan karya ilmiah dengan menggunakan bantuan program Microsoft Office 2016.

3.4 Metode Analisa

Pada tugas akhir ini penulis hanya menganalisa pada struktur atas (upper structure) *Box Girder* Jembatan Citarum. Pengerjaan penganalisaan dibantu dengan menggunakan program CSI Bridge, SAP2000 dan Microsoft Escel 2016 serta dibantu materi yang didasarkan pada buku – buku referensi dengan tujuan memperkuat materi pembahasan, maupun sebagai dasar dalam menggunakan rumus-rumus tertentu guna mendesain suatu struktur.

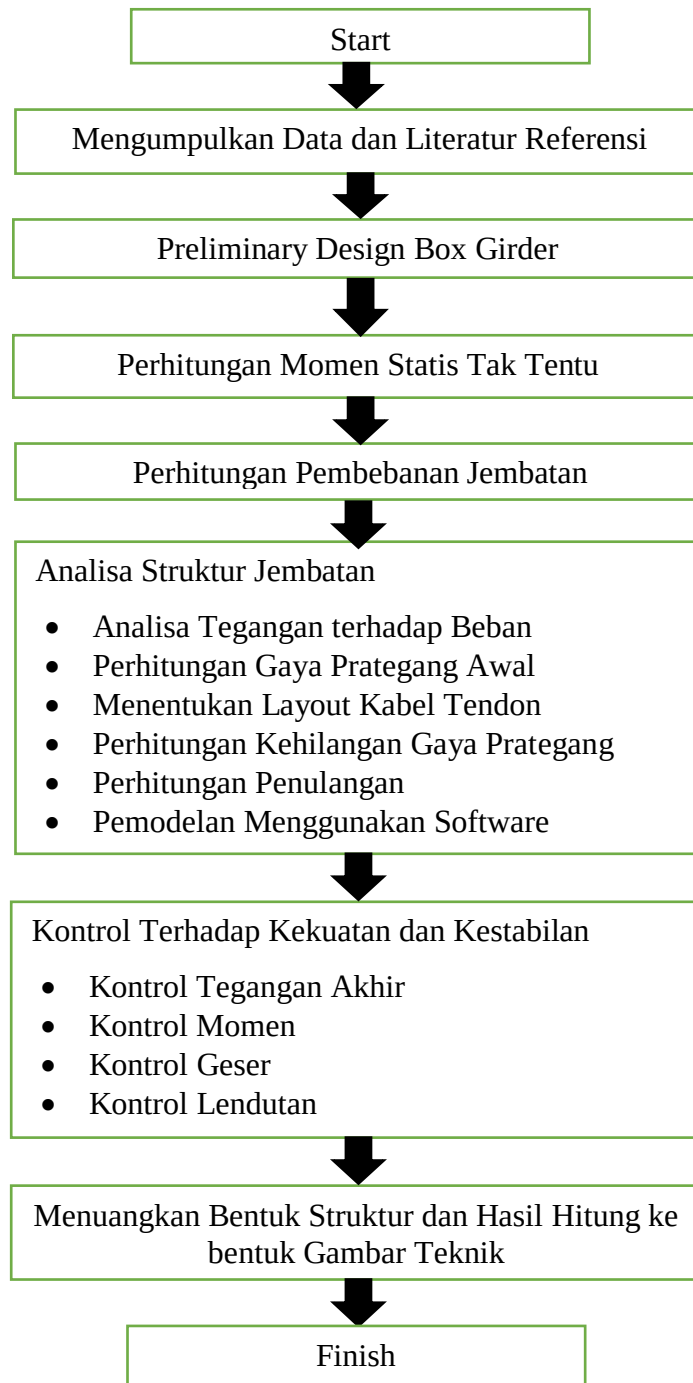
Dalam peninjauan ini, sebagai pedoman perhitungan dipakai referensi sebagai berikut :

1. Standar Nasional Indonesia (SNI 1725:2016)
2. Standar Nasional Indonesia (RSNI T-02-2005)
3. Standar Nasional Indonesia (RSNI T-12-2004)
4. Standar Nasional Indonesia (SNI 2833:2016)

5. Perencanaan Jembatan Direktorat Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga
6. Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga
7. Perencanaan Box Girder Prategang Struktur Atas Fly Over Simpang Air Hitam Samarinda oleh Muhammad Fadli Karramal.
8. Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar karya Edward G. Nawy
9. Desain Struktur Prategang karya TY Lin dan Ned H. Burn.

3.5 Diagram Alir Perencanaan

Diagram alir perencanaan Struktur Atas Jembatan Citarum diuraikan pada gambar berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Perencanaan Jembatan

Sumber: Dokumen Pribadi

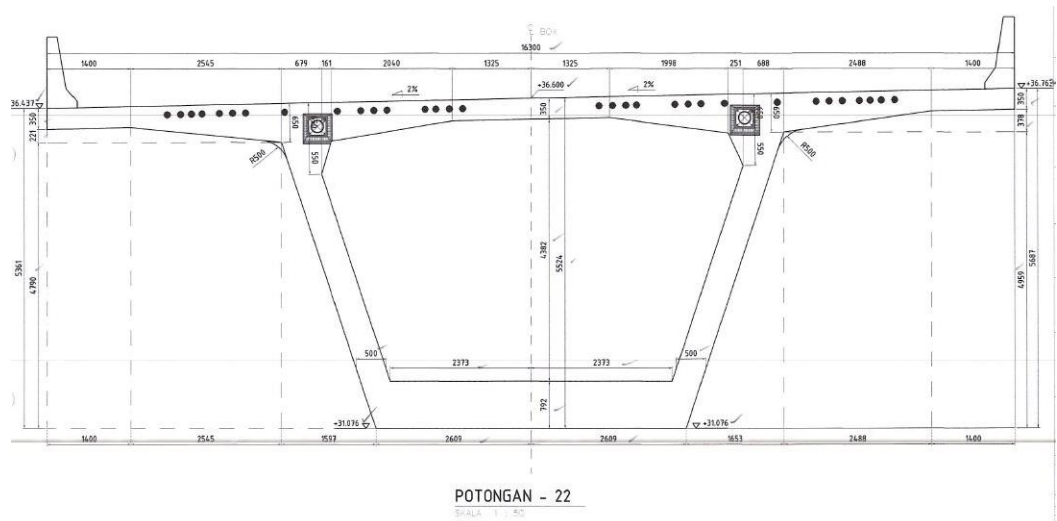
BAB IV

ANALISA PERENCANAAN STRUKTUR

4.1 Data Perencanaan Konstruksi Jembatan

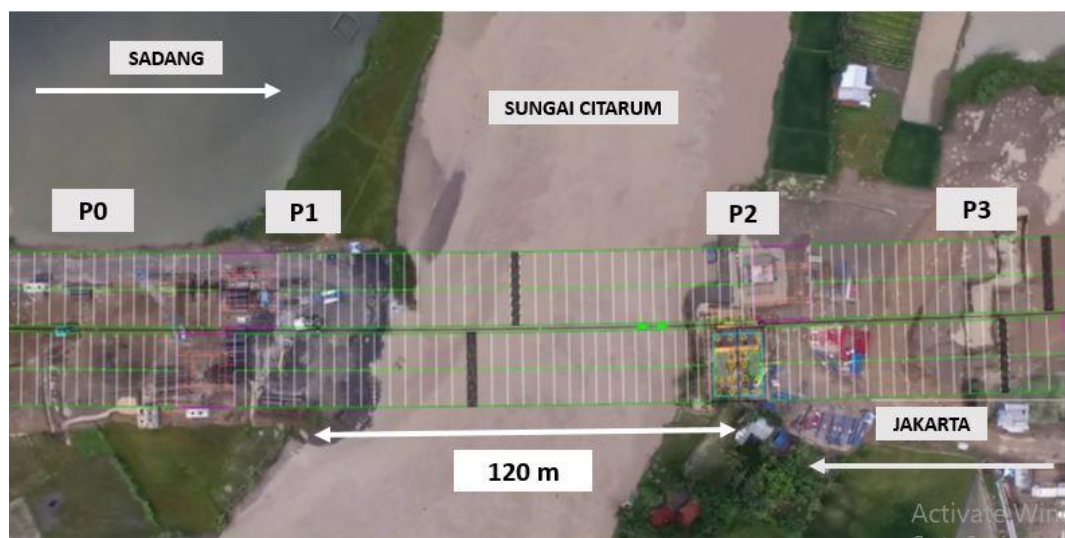
Data perencanaan kerja Proyek Jembatan Citarum pada Proyek Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3, adalah sebagai berikut :

- Jumlah Bentang = 3 Span
- Panjang jembatan, L = 77,5 m ; 120 m ; 77,5 m
- Tebal lapisan aspal, ha = 5 cm
- Tebal genangan air hujan, th = 5 cm
- Lebar total jembatan, b = 16,3 m
- Jenis Konstruksi Gelagar = Box Girder Beton Prategang
- Tipe Tendon dan Angkur = Angker Hidup VSL Tipe E 0,6"
- Metode Pelaksanaan Prategang = Sistem Pasca Tarik (Post-tension)
- Mutu Beton Prategang = 40 MPa
- Mutu Baja Tulangan = BJTP 40 (400 MPa)
- Berat Jenis Beton Prategang = 25,5 kN/m³
- Berat Jenis Beton Bertulang = 25 kN/m³
- Berat Jenis Air Hujan = 9,8 kN/m³



Gambar 4. 2 Desain Penampang Melintang Jembatan Citarum

Sumber: PT.Waskita Karya Tbk.



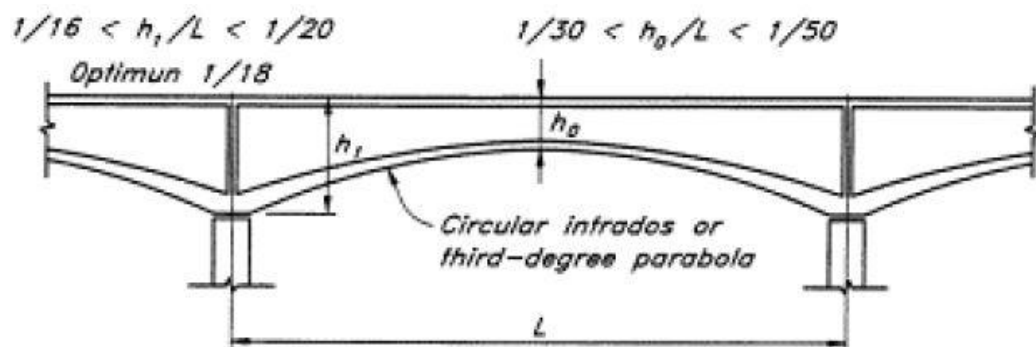
Gambar 4. 1 Layout Rencana Jembatan Citarum

Sumber: PT.Waskita Karya Tbk.

4.2 Perhitungan Penampang Box Girder

4.2.1 Mencari Tinggi Balok

Pada sistem box girder untuk menentukan dimensi box girder menurut AASHTO, Guide Specification for Design and Construction of Segmental, second edition 1999 digunakan perhitungan :



Gambar 4. 3 Tinggi Gelagar Bervariasi (Parabola)

Sumber: Perencanaan Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga

Bentang Jembatan = 120 m

Tinggi minimum tengah bentang = $1/50 \times 120 = 2,4$ m

Tinggi maksimum tengah bentang = $1/30 \times 120 = 4$ m

Tinggi minimum pada pilar = $1/20 \times 120 = 6$ m

Tinggi maksimum pada pilar = $1/16 \times 120 = 7,5$ m

Digunakan tinggi balok prategang sebagai acuan

(h1) pada pilar = 6 m

(h0) pada tengah bentang = 3 m

4.2.2 Penentuan *Properties* Penampang Box Girder

- a. Jarak web dan Panjang Bagian kantilever

Jarak Web = 4 – 7,5 m

Diambil Jarak Web = 7,5 m

$$\begin{aligned}\text{Panjang Bagian kantilever maksimum} &= \frac{1}{4} \times \text{Lebar Gelagar} \\ &= \frac{1}{4} \times 16,3 \\ &= 4,075 \text{ m}\end{aligned}$$

- b. Ketebalan Minimum Web Box Girder

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

Diambil ketebalan Web = 500 mm

- c. Ketebalan Minimum *Top Flange* Box Girder

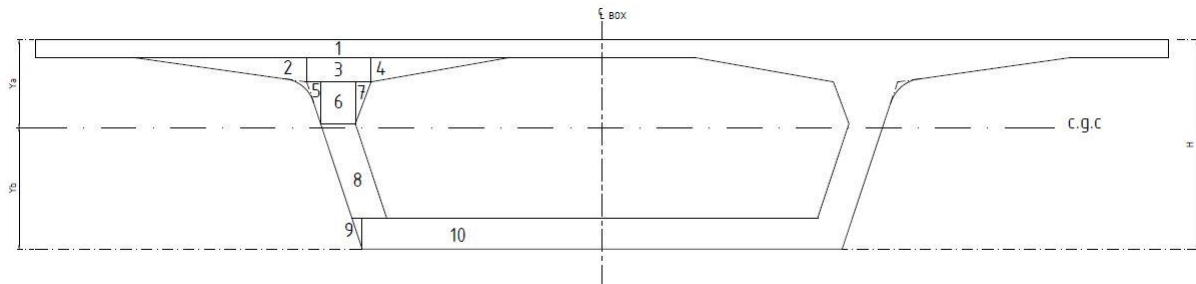
- Untuk lebar antar badan box < 3m, $t_f = 175 \text{ mm}$
- Untuk lebar antar badan box antara 3 - 4,5m, $t_f = 200 \text{ mm}$
- Untuk lebar antar badan box antara 4,5 - 7,5 m, $t_f = 250 \text{ mm}$

Diambil *Top Flange* = 250 mm

- d. Ketebalan Minimum *Bottom Flange* Box Girder

Jika duct diletakkan pada *flange* = 200 – 250 mm

Diambil ketebalan *bottom flange* = 450 mm



Gambar 4. 4 Penampang Properties Balok Box Girder

Sumber: Dokumen Pribadi

Tabel 4. 1 Propertis Penampang Box Girder

No	Dimensi		Jml Luasan	Luas A (m ²)	Jarak thd alas y (m)	Statis Momen (A*y) (m ³)	Inersia Momen (A*y ²) (m ⁴)	Inersia Momen (Io) (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)						
1	8,15	0,25	2	4,075	2,875	11.7156	33.6824	0.0106
2	2,5	0,35	2	0,875	2,633	2.3039	6.0661	0.003
3	0,925	0,35	2	0,6475	2,575	1.6673	4.2933	0.0033
4	2	0,35	2	0,7	2,633	1.8431	4.8529	0.0024
5	0,2	0,6	2	0,12	2,2	0.2640	0.5808	0.0012
6	0,5	0,6	2	0,6	2,1	1.2600	2.6460	0.009
7	0,225	0,6	2	0,135	2,2	0.2970	0.6534	0.00135
8	0,5	1,35	2	1,35	1,125	1.5188	1.7086	0.1025
9	0,15	0,45	2	0,0675	0,3	0.0203	0.0061	0.0004
10	3,45	0,45	2	1,5525	0,225	0.3493	0.0786	0.0262
Jumlah				10.123		21.2392	54.5682	0.15995

a) Tinggi *box girder* prategang (h) = 3 m

b) Luas penampang *box girder* bruto : $A_{bruto} = 10.123 \text{ m}^2$

c) Letak titik berat :

$$C_b = \frac{\sum Ay}{\sum A} = \frac{21.2392}{10.123} = 2.098 \text{ m}$$

$$C_a = h - C_b = 3 - 2.098 = 0.902 \text{ m}$$

d) Momen inersia terhadap alas balok :

$$\begin{aligned} I_b &= \Sigma(Ay^2) + \Sigma I_o \\ &= 54.5682 + 0.15995 \\ &= 54.728 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

e) Momen inersia terhadap titik berat balok:

$$\begin{aligned} I_x &= I_b - A \times c_b^2 \\ &= 54.728 - (10.123 \times 2.098^2) \\ &= 10.171 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

f) Modulus penampang bagian atas:

$$W_a = \frac{I_x}{C_a} = \frac{10.171}{0.902} = 11.276 \text{ m}^3$$

g) Modulus penampang bagian bawah:

$$W_b = \frac{I_x}{C_b} = \frac{10.171}{2.098} = 4.848 \text{ m}^3$$

h) Radius girasi:

$$r_2 = \frac{I_x}{A_c} = \frac{10.171}{10.123} = 1.005 \text{ m}$$

i) Batas Kern:

$$\text{Kern atas } K_a = \frac{r_2}{C_b} = \frac{1.005}{2.098} = 0.479 \text{ m}$$

$$\text{Kern bawah } K_b = \frac{r_2}{C_a} = \frac{1.005}{0.902} = 1.114 \text{ m}$$

4.3 Perhitungan Pembebanan Balok Prategang

4.3.1 Beban Mati Sendiri (MS)

a. Berat Sendiri Box Girder

Faktor beban ultimate = 1,3 (SNI 1725:2016)

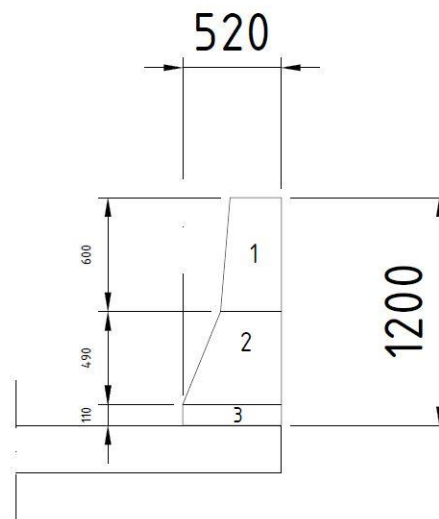
Wc beton prategang = 25,5 kN/m³

Q = A × Wc × Faktor beban ultimate

= 10.123 × 25,5 × 1,3

= 335,577 kN/m

b. Berat Parapet



Gambar 4. 5 Potongan Melintang Parapet

Sumber: PT.Waskita Karya Tbk.

$$B_j \text{ Beton Bertulang} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Jumlah Baris Parapet} = 2$$

$$\text{Luas 1} = \frac{1}{2} \times (0,27 + 0,32) \times 0,6 = 0,177 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas 2} = \frac{1}{2} \times (0,32 + 0,52) \times 0,49 = 0,2058 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas 3} = 0,52 \times 0,11 = 0,0572 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas total} = 0,177 + 0,2058 + 0,0572 = 0,44 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Berat parapet} &= \text{Luas total} \times W_c \times \text{jumlah sisi parapet} \\ &= 0,44 \times 25 \times 2 \\ &= 22 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Berat Sendiri Total

$$\begin{aligned} Q_{ms} &= \text{Berat Sendiri Box} + \text{Berat parapet} \\ &= 335,577 + 22 \\ &= 357,599 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

4.3.2 Beban Mati Tambahan (MA)

$$\text{Faktor beban ultimate} = 2 \quad (\text{SNI 1725:2016})$$

$$\text{Lebar tanpa parapet} = 16,3 - (0,52 \times 2) = 15,26 \text{ m}$$

a. Lapisan Aspal dan Overlay

$$W_c \text{ Aspal} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat aspal} &= b \times h \times W_c \times f \text{ beban} \\ &= 15,26 \times 0,05 \times 22 \times 2 \\ &= 33,572 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Lapisan Genangan Air Hujan

$$W_c \text{ Air Hujan} = 9,8 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Air hujan} &= b \times h \times W_c \times f \text{ beban} \\
 &= 15,26 \times 0,05 \times 9,8 \times 2 \\
 &= 14,955 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

c. Berat Tambahan Total

$$\begin{aligned}
 Q_{ma} &= \text{Berat aspal} + \text{Berat Air hujan} \\
 &= 33,572 + 14,955 \\
 &= 48,527 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

4.3.3 Beban Lajur (TD)

$$\text{Lebar tanpa parapet} = 16,3 - (0,52 \times 2) = 15,26 \text{ m}$$

$$L = 120 \text{ m}$$

$$\text{Faktor beban} = 1,8$$

$$q = 9,0 \text{ kPa} \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \geq 30 \text{ m}$$

$$q = 9 \left(0,5 + \frac{15}{120}\right) = 5,625 \text{ kPa}$$

$$Q_{TD} = q \times \text{lebar efektif} = 5,625 \times 15,26 = 85,838 \text{ kN/m}$$

$$DLA = 0,3 \text{ untuk } L \geq 90$$

$$p = 49,0 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}
 P_{TD} &= (1 + DLA) \times p \times \text{lebar efektif} \\
 &= (1 + 0,3) \times 49 \times 15,26 = 972,062 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

4.3.4 Beban Rem (TB)

Berat truk rencana = 500 kN

$$\begin{aligned}T_{TD} &= 5\% \times T + Q_{TD} \\&= 5\% \times 500 + (85,838 \times 15,26) \\&= 90,494 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$Y = 1,80 + h_a + C_a$$

$$h_a = \text{tebal lapisan aspal + overlay} = 0,05 \text{ m}$$

$$C_a = \text{titik berat girder (m)} = 0.902 \text{ m}$$

$$Y = 1,80 + 0,05 + 0.902 = 2,752 \text{ m}$$

$$M = T_{TB} \times Y = 90,494 \times 2,752 = 249,04 \text{ kNm}$$

4.3.5 Beban Angin (EW)

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

$$V_w = \text{kecepatan angin rencana (m/s)} = 30 \text{ m/s} \quad (\text{RSNI T-02-2005})$$

$$C_w = 1,2 \quad (\text{RSNI T-02-2005})$$

$$T_{ew} = 0,0012 \times 1,2 \times 30^2 = 1,296 \text{ kN/m}$$

Kendaraan dengan tinggi $h = 2,0 \text{ m}$

Jarak antar roda kendaraan $x = 1,75 \text{ m}$

$$Q_{EW} = \frac{1}{2} \times \frac{h}{x} \times T_{EW} = \frac{1}{2} \times \frac{2}{1,75} \times 1,296 = 0,741 \text{ kN/m}$$

4.3.6 Beban Gempa (EQ)

Tabel 4. 2 Kelas Situs

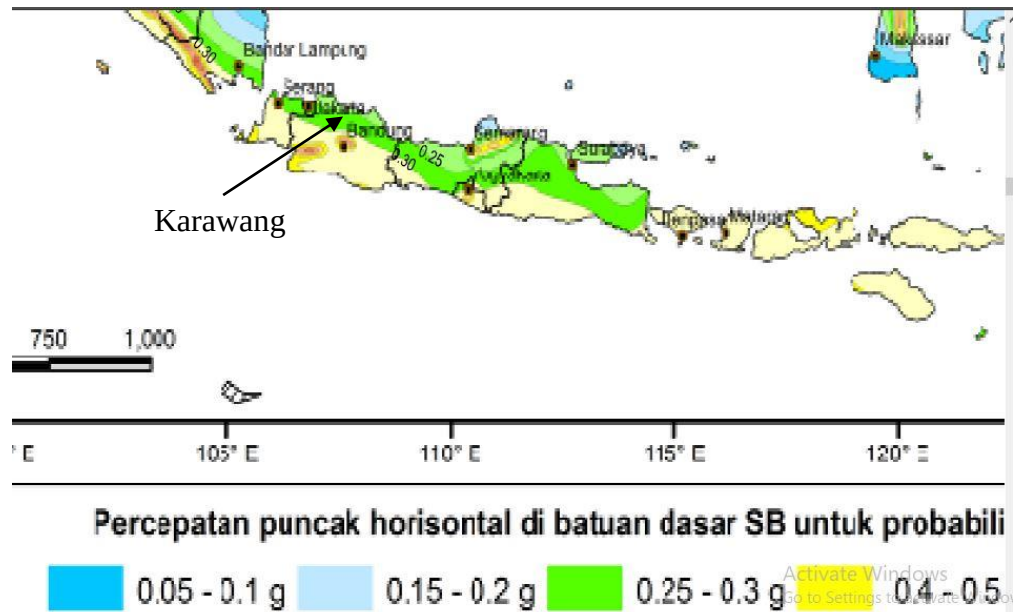
Sumber: SNI 2833:2016

Kelas Situs	$\bar{V}_s$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air (w) $\geq 40\%$, dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa			
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti : - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3 m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

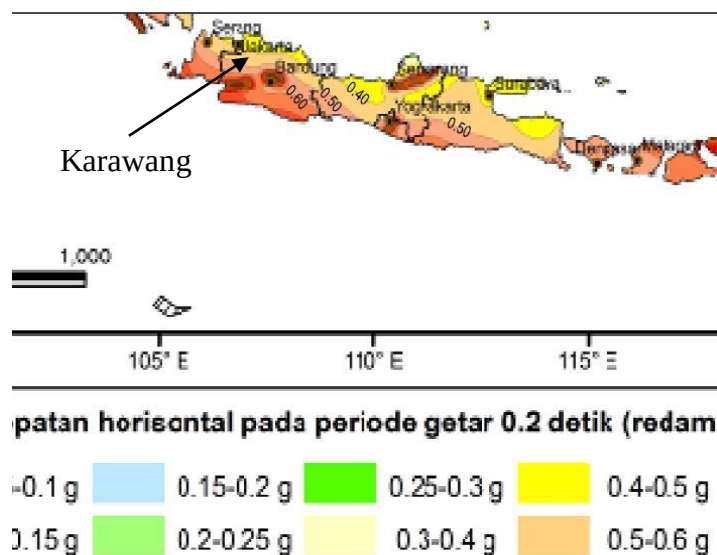
Dari hasil boring log dengan kedalaman 40 m didapat nilai hasil uji penetrasi standar lapisan tanah dengan nilai rata-rata tiap titik uji, SPT $N_{60} = 100$ maka didapat kelas situs Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak (SC).

Nilai percepatan puncak batuan dasar (PGA) berdasar peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk propabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun di Karawang = 0,3 g



Gambar 4. 6 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk propabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

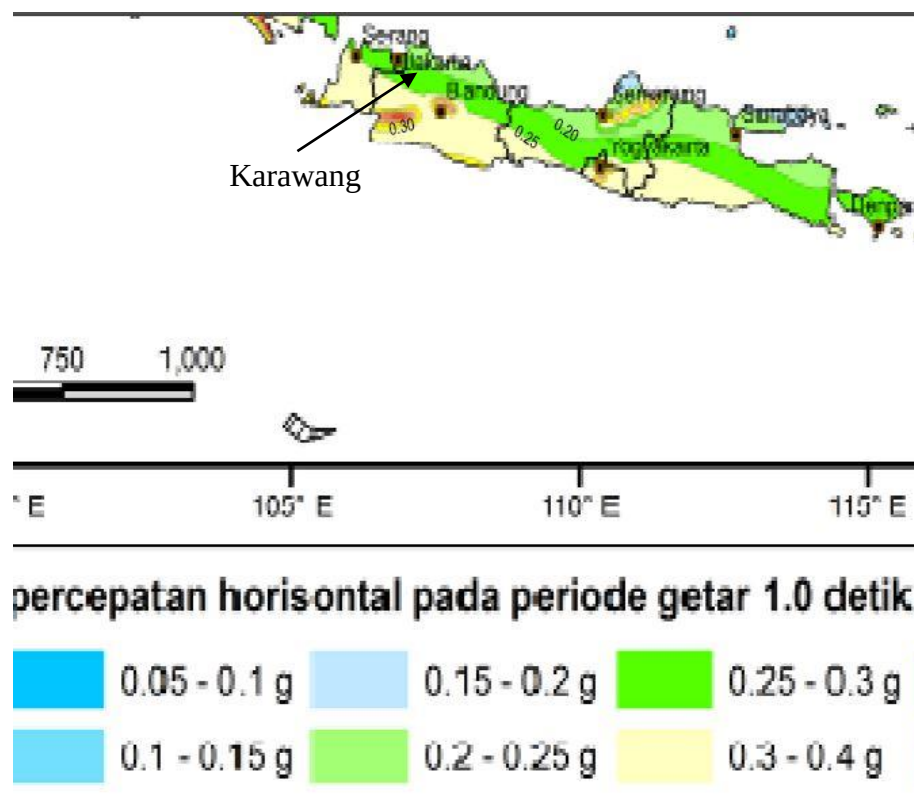
Sumber: SNI 2833-2016



Gambar 4. 7 Peta Reson Spectra Percepatan 0,2 Detik di Batuan Dasar untuk Propabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun

Sumber: SNI 2833-2016

Nilai percepatan terpetakan SS (Pada Periode Pendek) berdasar peta respon spectra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk propabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun di Karawang = 0,5 g



Gambar 4. 8 Peta Respon Spectra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Propabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun

Sumber: SNI 2833-2016

Nilai percepatan terpetakan S1 berdasar peta respon spectra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk propabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun di Karawang = 0,25 g

Tabel 4. 3 Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a)

Sumber: SNI 2833-2016

Kelas situs	PGA $\leq 0,1$ $S_s \leq 0,25$	PGA = 0,2 $S_s = 0,5$	PGA = 0,3 $S_s = 0,75$	PGA = 0,4 $S_s = 1,0$	PGA > 0,5 $S_s \geq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Keterangan:

PGA adalah percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 1).

S_s adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T=0,2$ detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun sesuai dengan Gambar 2.

SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

Tabel 4. 4 Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

Sumber: SNI 2833-2016

Kelas situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Keterangan:

S_1 adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun sesuai dengan Gambar 3.

SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik

Nilai Faktor Amplifikasi berdasarkan tabel faktor amplifikasi

$$F_{PGA} = 1,1$$

$$F_a = 1,2$$

$$F_v = 1,55 \text{ (interpolasi linier)}$$

Menghitung Tipikal Respon Spektra

$$A_s = F_{PGA} \times PGA = 1,1 \times 0,3 = 0,33 \text{ g}$$

$$S_{ds} = F_a \times SS = 1,2 \times 0,5 = 0,6 \text{ g}$$

$$S_{d1} = F_v \times S_1 = 1,55 \times 0,25 = 0,3875 \text{ g}$$

$$T_s = S_{d1} / S_{ds} = 0,3875/0,6 = 0,6458 \text{ detik}$$

$$T_o = 0,2 \times T_s = 0,2 \times 0,6458 = 0,1292 \text{ detik}$$

Berat Total Struktur

$$\begin{aligned} W &= (Q_{ms} \text{ total} + Q_{\text{tambahan}}) \times L \\ &= 357,599 \times 120 \\ &= 42911,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen inersia balok prategang, $I_x = 10.171 \text{ m}^4$

Modulus elastik beton

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{40} = 29725,41 \text{ MPa} = 29725410 \text{ kPa}$$

Kekakuan balok

$$k = \frac{48 E_c I_x}{L^3} = \frac{48 \times 29725410 \times 10.171}{120^3} = 8398,254 \text{ kN/m}$$

Waktu getar struktur (Periode)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g K}} = 2\pi \sqrt{\frac{42911,88}{9,8 \times 8398,254}} = 4,537 \text{ detik}$$

Berdasarkan ketentuan SNI 2833-2016, Untuk periode (T) lebih besar dari T_s , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut:

$$C_{sm} = S_{d1} / T = 0,3875 / 4,537 = 0,0854$$

Tabel 4. 5 Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur

Sumber: SNI 2833-2016

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

Faktor modifikasi respon, $R = 1,0$

Gaya Gempa

$$E_q = \frac{C_{sm}}{R} \times W = \frac{0,0854}{1,0} \times 42911,88 = 3664,675 \text{ kN}$$

$$Q_{EQ} = 3664,675 / 120 = 30,539 \text{ kN/m}$$

4.3.7 Momen dan Gaya Geser Maksimum

1. Berat mati sendiri (MS)

$$V_{MS} = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times L = \frac{1}{2} \times 357,599 \times 120 = 21455,94 \text{ kN}$$

$$M_{MS} = \frac{1}{8} \times Q_{MS} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 357,599 \times 120^2 = 643678,2 \text{ kNm}$$

2. Berat mati tambahan (MA)

$$V_{MA} = \frac{1}{2} \times Q_{MA} \times L = \frac{1}{2} \times 48,527 \times 120 = 2911,62 \text{ kN}$$

$$M_{MA} = \frac{1}{8} \times Q_{MA} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 48,527 \times 120^2 = 87348,6 \text{ kNm}$$

3. Berat lajur “D” (TD)

$$V_{TD} = \frac{1}{2} \times Q_{TD} \times L + \frac{1}{2} \times P_{TD}$$

$$= \frac{1}{2} \times 85,838 \times 120 + \frac{1}{2} \times 972,062 = 5636,311 \text{ kN}$$

$$M_{TD} = \frac{1}{8} \times Q_{TD} \times L^2 + \frac{1}{4} \times P_{TD} \times L$$

$$= \frac{1}{8} \times 85,838 \times 120^2 + \frac{1}{4} \times 972,062 \times 120 = 183670,26 \text{ kNm}$$

4. Gaya rem (TB)

$$V_{TB} = M / L = 249,04 / 120 = 2,075 \text{ kN}$$

$$M_{TB} = \frac{1}{2} \times M = \frac{1}{2} \times 249,04 = 124,52 \text{ kNm}$$

5. Beban angin (EW)

$$V_{EW} = \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times L = \frac{1}{2} \times 0,741 \times 120 = 44,46 \text{ kN}$$

$$M_{EW} = \frac{1}{8} \times Q_{EW} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 0,741 \times 120^2 = 1333,8 \text{ kNm}$$

6. Beban gempa (EQ)

$$V_{EQ} = \frac{1}{2} \times Q_{EQ} \times L = \frac{1}{2} \times 30,539 \times 120 = 1832,34 \text{ kN}$$

$$M_{EQ} = \frac{1}{8} \times Q_{EQ} \times L^2 = \frac{1}{8} \times 30,539 \times 120^2 = 54970,2 \text{ kNm}$$

4.3.8 Resume Momen dan Gaya Geser pada Girder

Tabel 4. 6 Rekap Beban Struktur Atas

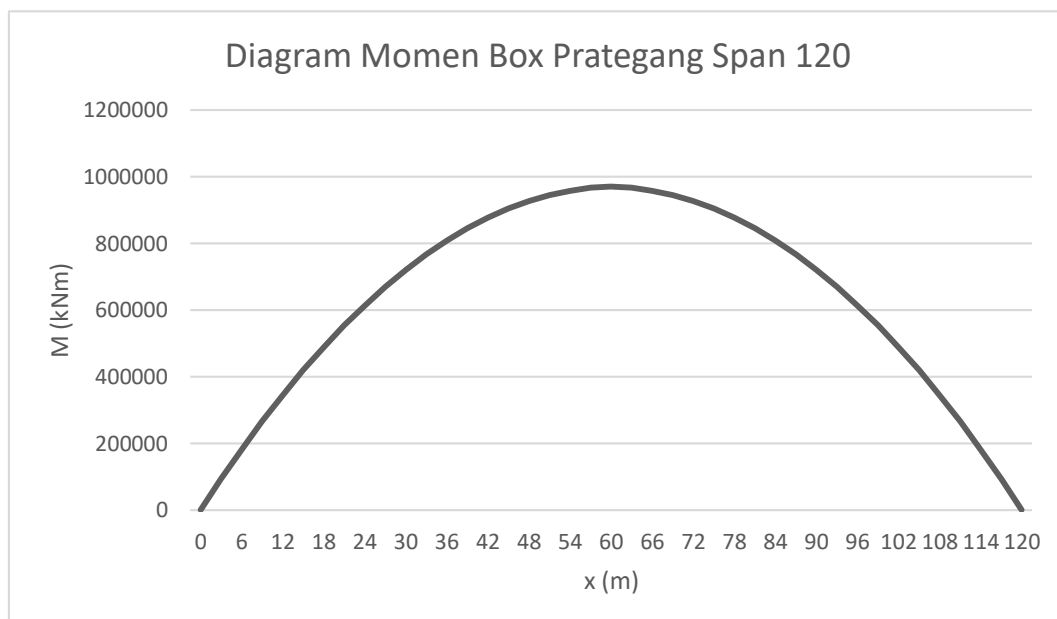
No	Jenis Beban	Kode Beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	Keterangan
1	Berat Sendiri	MS	357,599	-	-	Beban merata, Q _{ms}
2	Mati Tambahan	MA	48,527	-	-	Beban merata, Q _{ma}
3	Lajur "D"	TD	85,838	972,062	-	Beban merata, Q _{ma} , terpusat, P _{TD}
4	Gaya Rem	TB	-	-	249,04	Beban momen, M _{TB}
5	Gaya Angin	EW	0,741	-	-	Beban merata, Q _{ew}
6	Gempa	EQ	30,539	-	-	Beban merata, Q _{eq}

Tabel 4. 7 Persamaan momen dan gaya geser pada balok prategang

No	Jenis Beban	Persamaan Momen	Persamaan Gaya Geser
1	Berat Sendiri (MS)	$\frac{1}{2} \times Q_{ms} \times (L \times X - X^2)$	$Q_{ms} \times (L/2 - X)$
2	Mati Tambahan (MA)	$\frac{1}{2} \times Q_{ma} \times (L \times X - X^2)$	$Q_{ma} \times (L/2 - X)$
3	Lajur "D" (TD)	$\frac{1}{2} \times Q_{td} \times (L \times X - X^2) + 1/2 \times P_{TD} \times X$	$Q_{td} \times (L/2 - X) + 1/2 \times P_{TD}$
4	Gaya Rem (TB)	$X/L \times M_{TB}$	M_{TB}/L
5	Angin (EW)	$\frac{1}{2} \times Q_{ew} \times (L \times X - X^2)$	$Q_{ew} \times (L/2 - X)$
6	Gempa (EQ)	$\frac{1}{2} \times Q_{eq} \times (L \times X - X^2)$	$Q_{eq} \times (L/2 - X)$

Tabel 4. 8 Resume Momen pada Box Girder Span 120

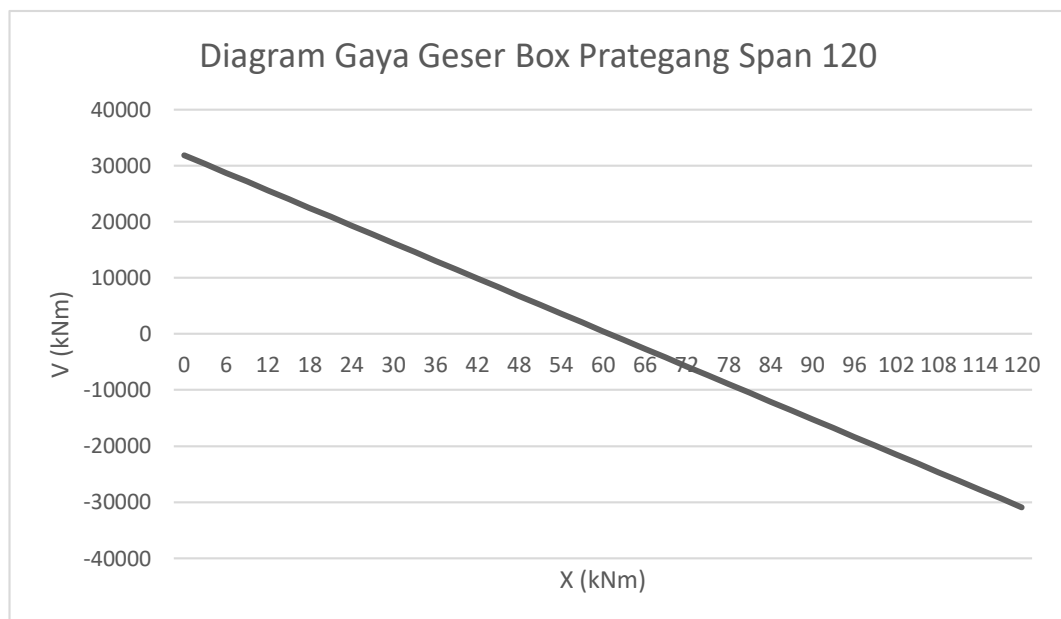
Jarak x (m)	Momen pada balok prategang akibat beban (M)						Momen Total (kNm)
	MS (kNm)	MA(kNm)	TD (kNm)	TB (kNm)	EW (kNm)	EQ (kNm)	
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	62758.62	8516.49	16522.66	6.23	130.05	5359.59	93293.64
6	122298.86	16596.23	32272.78	12.45	253.42	10444.34	181878.09
9	178620.70	24239.24	47250.36	18.68	370.13	15254.23	265753.34
12	231724.15	31445.50	61455.40	24.90	480.17	19789.27	344919.39
15	281609.21	38215.01	74887.89	31.13	583.54	24049.46	419376.25
18	328275.88	44547.79	87547.84	37.36	680.24	28034.80	489123.91
21	371724.16	50443.82	99435.25	43.58	770.27	31745.29	554162.37
24	411954.05	55903.10	110550.12	49.81	853.63	35180.93	614491.64
27	448965.54	60925.65	120892.45	56.03	930.33	38341.71	670111.71
30	482758.65	65511.45	130462.23	62.26	1000.35	41227.65	721022.59
33	513333.36	69660.51	139259.47	68.49	1063.71	43838.73	767224.27
36	540689.69	73372.82	147284.17	74.71	1120.39	46174.97	808716.76
39	564827.62	76648.40	154536.33	80.94	1170.41	48236.35	845500.05
42	585747.16	79487.23	161015.95	87.16	1213.76	50022.88	877574.14
45	603448.31	81889.31	166723.02	93.39	1250.44	51534.56	904939.04
48	617931.07	83854.66	171657.55	99.62	1280.45	52771.39	927594.74
51	629195.44	85383.26	175819.54	105.84	1303.79	53733.37	945541.24
54	637241.42	86475.11	179208.99	112.07	1320.46	54420.50	958778.55
57	642069.00	87130.23	181825.90	118.29	1330.47	54832.77	967306.66
60	643678.20	87348.60	183670.26	124.52	1333.80	54970.20	971125.58



Gambar 4. 9 Diagram Momen Box Prategang Span 120

Tabel 4. 9 Resume Gaya Geser pada Box Girder Span 120

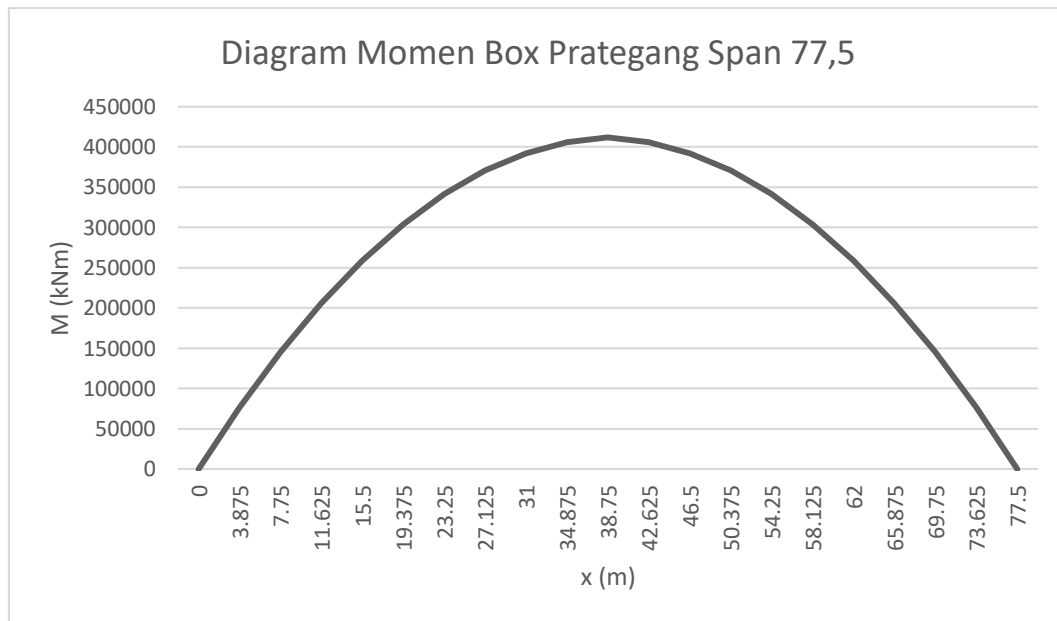
Jarak x (m)	Gaya geser pada balok prategang akibat beban (V)						Gaya Geser Total (kN)
	MS (kN)	MA(kN)	TD (kN)	TB (kN)	EW (kN)	EQ (kN)	
0	21455.94	2911.62	5636.31	2.08	44.46	1832.34	31882.75
3	20383.14	2766.04	5378.80	2.08	42.24	1740.72	30313.01
6	19310.35	2620.46	5121.28	2.08	40.01	1649.11	28743.28
9	18237.55	2474.88	4863.77	2.08	37.79	1557.49	27173.55
12	17164.75	2329.30	4606.26	2.08	35.57	1465.87	25603.82
15	16091.96	2183.72	4348.74	2.08	33.35	1374.26	24034.09
18	15019.16	2038.13	4091.23	2.08	31.12	1282.64	22464.35
21	13946.36	1892.55	3833.71	2.08	28.90	1191.02	20894.62
24	12873.56	1746.97	3576.20	2.08	26.68	1099.40	19324.89
27	11800.77	1601.39	3318.69	2.08	24.45	1007.79	17755.16
30	10727.97	1455.81	3061.17	2.08	22.23	916.17	16185.43
33	9655.17	1310.23	2803.66	2.08	20.01	824.55	14615.69
36	8582.38	1164.65	2546.14	2.08	17.78	732.94	13045.96
39	7509.58	1019.07	2288.63	2.08	15.56	641.32	11476.23
42	6436.78	873.49	2031.12	2.08	13.34	549.70	9906.50
45	5363.99	727.91	1773.60	2.08	11.12	458.09	8336.77
48	4291.19	582.32	1516.09	2.08	8.89	366.47	6767.03
51	3218.39	436.74	1258.57	2.08	6.67	274.85	5197.30
54	2145.59	291.16	1001.06	2.08	4.45	183.23	3627.57
57	1072.80	145.58	743.55	2.08	2.22	91.62	2057.84
60	0.00	0.00	486.03	2.08	0.00	0.00	488.11



Gambar 4. 10 Diagram Gaya Geser Box Prategang Span 120

Tabel 4. 10 Resume Momen pada Box Girder Span 77,5

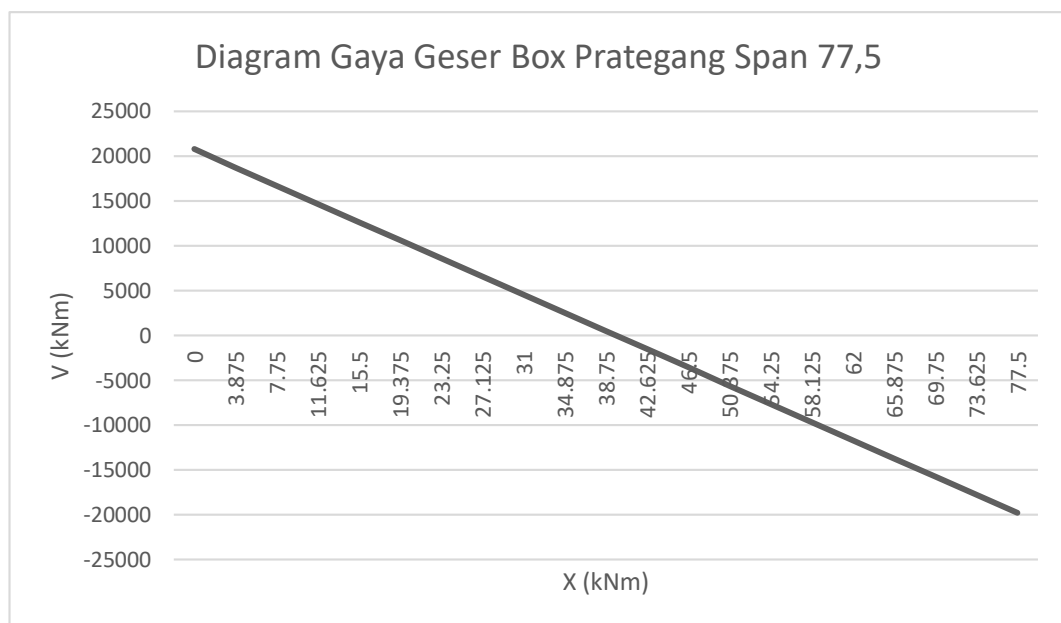
Jarak x (m)	Momen pada balok prategang akibat beban (M)						Momen Total (kNm)
	MS (kNm)	MA(kNm)	TD (kNm)	TB (kNm)	EW (kNm)	EQ (kNm)	
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3.875	51010.94	6922.30	14128.03	12.45	105.70	4356.34	76535.76
7.750	96652.30	13115.94	26967.14	24.90	200.28	8254.12	145214.69
11.625	136924.10	18580.91	38517.35	37.36	283.73	11693.34	206036.78
15.500	171826.32	23317.22	48778.64	49.81	356.05	14673.99	259002.03
19.375	201358.97	27324.87	57751.02	62.26	417.25	17196.08	304110.45
23.250	225522.04	30603.86	65434.49	74.71	467.32	19259.61	341362.03
27.125	244315.55	33154.18	71829.05	87.16	506.26	20864.58	370756.78
31.000	257739.48	34975.84	76934.70	99.62	534.08	22010.98	392294.69
34.875	265793.84	36068.83	80751.44	112.07	550.77	22698.83	405975.77
38.750	268478.62	36433.16	83279.26	124.52	556.33	22928.11	411800.01



Gambar 4. 11 Diagram Momen Box Prategang Span 77.5

Tabel 4. 11 Resume Gaya Geser pada Box Girder Span 77,5

Jarak x (m)	Gaya geser pada balok prategang akibat beban (V)						Gaya Geser Total (kN)
	MS (kN)	MA(kN)	TD (kN)	TB (kN)	EW (kN)	EQ (kN)	
0.000	13856.96	1880.42	3812.25	3.21	28.71	1183.39	20764.95
3.875	12471.27	1692.38	3479.63	3.21	25.84	1065.05	18737.38
7.750	11085.57	1504.34	3147.01	3.21	22.97	946.71	16709.81
11.625	9699.87	1316.29	2814.39	3.21	20.10	828.37	14682.24
15.500	8314.18	1128.25	2481.76	3.21	17.23	710.03	12654.67
19.375	6928.48	940.21	2149.14	3.21	14.36	591.69	10627.10
23.250	5542.78	752.17	1816.52	3.21	11.49	473.35	8599.53
27.125	4157.09	564.13	1483.90	3.21	8.61	355.02	6571.96
31.000	2771.39	376.08	1151.28	3.21	5.74	236.68	4544.39
34.875	1385.70	188.04	818.65	3.21	2.87	118.34	2516.81
38.750	0.00	0.00	486.03	3.21	0.00	0.00	489.24



Gambar 4. 12 Diagram Gaya Geser Box Prategang Span 77,5

4.4 Perhitungan Gaya Prategang dan Jumlah Tendon

Pada perhitungan tendon ini digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untaian “*strands cable*” standar VSL, dengan data sebagai berikut:

Jenis strands Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270

Tegangan Leleh, f_{py}	= 1581 MPa
Kuat Tarik strand, f_{pu}	= 1860 MPa
Diameter nominal strands	= 15,2 mm
Luas tampang nominal satu strands	= 181,46 mm ²
Beban putus minimal satu strands, P_{bs}	= 260,7 kN
Jumlah kawat untaian (strands cable)	= 17
Diameter selubung ideal	= 99 mm
Luas tampang strands	= 2380 mm ²
Beban putus satu tendon, P_{b1}	= 4431,9 kN
Modulus Elastisitas strands, E_s	= 190000 MPa
Tipe dongkrak	= VSL E 19

Pada saat transfer, kekuatan beton baru mencapai 80%, maka:

$$f'_{ci} = 80\% \cdot f'_c = 80\% \times 40 \text{ MPa} = 32 \text{ MPa} = 32000 \text{ kPa}$$

4.4.1. Penentuan Tendon *Bottom*

Penentuan berdasarkan segmen terakhir pada balance cantilever.

Tendon diposisikan dari segment pada tengah bentang pada bagian *bottom box girder*.

- a. Digunakan segmen box dengan $h = 3$ m panjang segment 2 m pada span 120 meter

$$M_{balok} = 0.5 \times 357.599 \times (120 \times 2 - 2^2) = 42196.68 \text{ kNm}$$

Ditetapkan jarak pusat berat *bottom* tendon terhadap sisi bawah box girder

$$(Z_0) = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon, } e_s = C_b - Z_0 = 2.098 - 0,2 = 1,898 \text{ m}$$

- Tegangan serat atas (Tarik) :

$$P_t = M_{balok} / (e_s - W_a / A) = 53815,37 \text{ kN}$$

- Tegangan serat bawah (Tekan) :

$$P_t = [0.60 * f_{ci}' * W_b + M_{balok}] / (W_b / A + e_s) = 56913.52 \text{ kN}$$

Gaya prategang diambil, $P_t = 53815,37 \text{ kNm}$

Jumlah tendon *bottom* yang diperlukan

$$n_t = \frac{P_t}{0,85 \times 0,8 \times P_{b1}} = \frac{53815,37}{0,85 \times 0,8 \times 4431,9} = 17,85 \text{ tendon}$$

Jumlah tendon *bottom* aktual = 18 tendon

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% jacking force):

$$P_o = \frac{P_t}{0,85 \times n_s \times P_{bs}} = \frac{53815,37}{0,85 \times 323 \times 260,7} = 75.18\% < 80\% \text{ OK}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking

$$P_j = P_o \times n_t \times P_{b1} = 75.18\% \times 19 \times 4431,9 = 63306.15 \text{ kN}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (loss of prestress) = 30%

$$P_{eff} = 70\% \times P_j = 44314.305 \text{ kN}$$

- b. Digunakan segmen box dengan $h = 3 \text{ m}$ panjang segment $1,9 \text{ m}$ pada span $77,5 \text{ meter}$

$$M_{balok} = 0.5 \times 357.599 \times (77,5 \times 1,9 - 1,9^2) = 25682.76 \text{ kNm}$$

Ditetapkan jarak pusat berat *bottom* tendon terhadap sisi bawah box girder

$$(Z_0) = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon, } e_s = C_b - Z_0 = 2.098 - 0,2 = 1,898 \text{ m}$$

- Tegangan serat atas (Tarik) :

$$P_t = M_{balok} / (e_s - W_a / A) = 32754.40 \text{ kN}$$

- Tegangan serat bawah (Tekan) :

$$P_t = [0.60 \times f_{ci}' \times W_b + M_{balok}] / (W_b / A + e_s) = 49965,87 \text{ kN}$$

Gaya prategang diambil, $P_t = 32754.40 \text{ kNm}$

Jumlah tendon *bottom* yang diperlukan

$$n_t = \frac{P_t}{0,85 \times 0,8 \times P_{b1}} = \frac{32754.40}{0,85 \times 0,8 \times 4431,9} = 10,86 \text{ tendon}$$

Jumlah tendon *bottom* aktual = 12 tendon

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% jacking force):

$$P_o = \frac{P_t}{0,85 \times n_s \times P_{bs}} = \frac{32754.40}{0,85 \times 204 \times 260,7} = 72,46\% < 80\% \text{ OK}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking

$$P_j = P_o \times n_t \times P_{b1} = 72,46\% \times 12 \times 4431,9 = 38536.26 \text{ kN}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (loss of prestress) = 30%

$$P_{eff} = 70\% \times P_j = 26975.382 \text{ kN}$$

4.4.2. Penentuan Tendon Kantilever

Tendon kantilever dipasang dari tengah pier hingga segment sebelum closure.

Jumlah tendon berdasarkan Jumlah Segmen

$$= (\text{jumlah segment} + 2) \times 2 = (17 + 2) \times 2 = 38 \text{ tendon}$$

Digunakan contoh pada segmen tengah bentang box $h = 3 \text{ m}$ panjang segment 3.5 m .

Posisi jarak pusat berat tendon *bottom* terhadap sisi bawah box girder

$$(Z_0) = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon, } e_s = C_a - Z_0 = 2.098 - 0,2 = 1.898 \text{ m}$$

$$M_{balok} = 0.5 \times 357.599 \times (120 \times 3.5 - 3.5^2) = 72905.5 \text{ kNm}$$

- Tegangan serat atas (Tarik) :

$$P_t = M_{balok} / (e_s - W_a / A) = 92979.74 \text{ kN}$$

- Tegangan serat bawah (Tekan) :

$$P_t = [0.60 \times f_{ci}' \times W_b + M_{balok}] / (W_b / A + e_s) = 69833.16 \text{ kN}$$

Gaya prategang diambil, $P_t = 92979.74 \text{ kNm}$

Jumlah tendon yang diperlukan

$$n_t = \frac{P_t}{0,85 \times 0,8 \times P_{b1}} = \frac{92979.74}{0,85 \times 0,8 \times 4431,9} = 30.85 \text{ tendon}$$

Jumlah tendon kantilever aktual = 38 tendon

4.5 Layout Tendon

Digunakan bantuan software CSIBridge v22 dalam penggambaran layout tendon *bottom* dan kantilever. Berikut koordinat dan layout tendon bottom:

Tendon Anchors and Ducts Template

Template Name: Bottom tendon

Axis Orientation:

Working Point Origin: Bottom Left Corner

Units: kN, mm, C

Anchor Coordinates (Origin at Working Point):

	X	Y
1	2850	700
2	2450	700

Duct Coordinates (Origin at Working Point):

	X	Y
1	2781	200
2	2556	200
3	2331	200
4	2106	200
5	1881	200
6	1656	200

Tendon Horizontal Slope Limit: Delta X : Length = 1 : 10

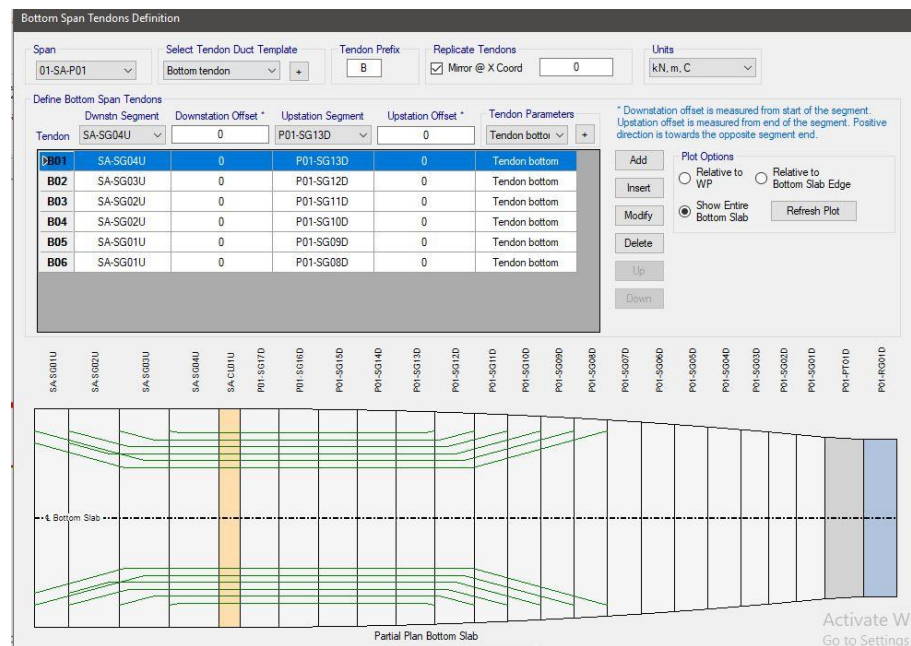
Duct No Bend Zone Length: 198,12

Distance along bridge between anchor point and point defined by duct coordinates (DP). Also used to offset DP from segment joint.

Anchors and Duct Layout:

Section outline is shown for illustrative purposes only. It does not reflect the exact cross section shape.

Gambar 4. 13 Koordinat Anchor dan Duct Tendon Bottom Span 77.5 m



Gambar 4. 14 Layout Tendon Bottom Span 77.5 m

Tendon Anchors and Ducts Template

Template Name: BSpanDTemp1

Axis Orientation:

Working Point Origin: Insertion Line at Soffit

Units: kN, mm, C

Anchor Coordinates (Origin at Working Point)

	X	Y
1	2850	700
2	2450	700

Add, Insert, Modify, Delete, Up, Down

Duct Coordinates (Origin at Working Point)

	X	Y
2	2556	200
3	2331	200
4	2106	200
5	1881	200
6	1656	200
7	1431	200
8	1206	200
9	981	200

Add, Insert, Modify, Delete, Up, Down

Tendon Horizontal Slope Limit
Delta X : Length
1 : 10

Duct No Bend Zone Length
198,12

Distance along bridge between anchor point and point defined by duct coordinates (DP). Also used to offset DP from segment joint.

Anchors and Duct Layout

Section outline is shown for illustrative purposes only. It does not reflect the exact cross section shape.

Gambar 4. 15 Koordinat Anchor dan Duct Tendon Bottom Span 120 m

Bottom Span Tendons Definition

Span: 02-P01-P02

Select Tendon Duct Template: Bottom Span 120

Tendon Prefix: B

Replicate Tendons: ☒ Mirror @ X Coord 0

Units: kN, mm, C

Define Bottom Span Tendons

Tendon	Dwnstn Segment	Downstation Offset *	Upstation Segment	Upstation Offset *	Tendon Parameters
B02	P01-SG13U	0	P02-SG13D	0	Tendon bottom
B03	P01-SG12U	0	P02-SG12D	0	Tendon bottom
B04	P01-SG11U	0	P02-SG11D	0	Tendon bottom
B05	P01-SG10U	0	P02-SG10D	0	Tendon bottom
B06	P01-SG09U	0	P02-SG09D	0	Tendon bottom
B07	P01-SG08U	0	P02-SG08D	0	Tendon bottom
B08	P01-SG07U	0	P02-SG07D	0	Tendon bottom
B09	P01-SG06U	0	P02-SG06D	0	Tendon bottom

Add, Insert, Modify, Delete, Up, Down

Plot Options
☐ Relative to WP
☐ Relative to Bottom Slab Edge
☒ Show Entire Bottom Slab
 Refresh Plot

Partial Plan Bottom Slab

Activate W
Go to Settings

Gambar 4. 16 Layout Tendon Bottom Span 120 m

Berikut koordinat dan layout tendon kantilever:

Tendon Anchors and Ducts Template

Template Name: Cantilever1

Axis Orientation:

Working Point Coordinates (Origin at Working Point): X: -2743.2, Y: 0

Units: kN, mm, C

Tendon Horizontal Slope Limit: Delta X : Length: 1 : 10

Duct No Bend Zone Length: 198,12

Distance along bridge between anchor point and point defined by duct coordinates (DP). Also used to offset DP from segment joint.

Section outline is shown for illustrative purposes only. It does not reflect the exact cross section shape.

Anchor Coordinates (Origin at Working Point)

	X	Y
1	0	-270
2	500	-450

Duct Coordinates (Origin at Working Point)

	X	Y
1	450	-150
2	-450	-150
3	750	-150
4	-750	-150
5	975	-150
6	-975	-150
7	1200	-150
8	-1200	-150

Anchors and Duct Layout

Gambar 4. 18 Koordinat Anchor dan Duct Tendon Cantilever

Cantilever Tendons Definition

Balanced Cantilever Pier: P02

Select Tendon Duct Template: Cantilever1

Tendon Prefix: C

Replicate Tendons: ☒ Mirror @ X Coord: 0

Units: kN, mm, C

Downstation Cantilever

Segment	Type	No of Anchors	Tendon Parameters
P02-RG01D	Rigid	0	Tendon Cant
P02-PT01D	Pier Table	2	Tendon Cant
P02-SG01D	CIP Segment	1	Tendon Cant
P02-SG02D	CIP Segment	1	Tendon Cant
P02-SG03D	CIP Segment	1	Tendon Cant
P02-SG04D	CIP Segment	1	Tendon Cant
P02-SG05D	CIP Segment	1	Tendon Cant
P02-SG06D	CIP Segment	1	Tendon Cant
P02-SG07D	CIP Segment	1	Tendon Cant
P02-SG08D	CIP Segment	1	Tendon Cant

Upstation Cantilever

Segment	Type	No of Anchors
P02-RG01U	Rigid	0
P02-PT01U	Pier Table	2
P02-SG01U	CIP Segment	1
P02-SG02U	CIP Segment	1
P02-SG03U	CIP Segment	1
P02-SG04U	CIP Segment	1
P02-SG05U	CIP Segment	1
P02-SG06U	CIP Segment	1
P02-SG07U	CIP Segment	1
P02-SG08U	CIP Segment	1

Tendon Count Verification

Sum of Tendon Anchorages: Downstation = 19, Upstation = 19

Total tendon count is 19; number of defined ducts in template is 20 (includes anchors).

Plot Options

☐ Hide WP ☐ Show WP ☒ Show Mirrored Tendons

Partial Plan Top Slab

Partial Section Top Slab

Gambar 4. 17 Layout Tendon Cantilever

4.6 Kehilangan tegangan (Loss of Prestress)

- Span 120 meter

Gaya prategang yang terjadi (akibat jacking) :

$$P_j = P_t / 0,85 = 53815.37 / 0.85 = 63312.2 \text{ kN}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (loss of prestress) = 30%

$$P_{eff} = 70\% \times P_j = 44318.54 \text{ kN}$$

- Span 77.5 meter

Gaya prategang yang terjadi (akibat jacking) :

$$P_j = P_t / 0,85 = 32754.4 / 0.85 = 38534.59 \text{ kN}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (loss of prestress) = 30%

$$P_{eff} = 70\% \times P_j = 26974.21 \text{ kN}$$

4.6.1. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur (*Anchorage Friction*)

Kehilangan gaya akibat gesekan angkur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya akibat jacking (jacking force), sehingga :

$$P_o = 97\% \times P_j$$

$$P_o \text{ Span 120 m} = 97\% \times 63312.2 = 61412.83 \text{ kN}$$

$$P_o \text{ Span 77.5 m} = 97\% \times 38534.59 = 37378.55 \text{ kN}$$

4.6.2. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Cable (*Jack Friction*)

Sudut lintasan tendon

$$\alpha_{AB} = 0,089 \text{ rad}$$

$$\alpha_{BC} = 0,089 \text{ rad}$$

$$\alpha = \alpha_{AB} + \alpha_{BC} = 0,177 \text{ rad}$$

koefisien gesek, $\mu = 0,20$

koefisien wobble $\beta = 0,012$

bilangan natural $e = 2,7183$

$$P_o \text{ Span 120 m} = 61412.83 \text{ kN}$$

Px pada Lx = 60 m

$$\begin{aligned} P_x &= P_o \times e^{-\mu(\alpha + \beta \cdot L_x)} \\ &= 61412.83 \times 2,7183^{-0,20(0,177 + 0,012 \cdot 60)} \\ &= 51327.03 \text{ kN} \end{aligned}$$

Px pada Lx = 120 m

$$\begin{aligned} P_x &= 61412.83 \times 2,7183^{-0,20(0,177 + 0,012 \cdot 120)} \\ &= 44443.41 \text{ kN} \end{aligned}$$

Po Span 77.5 m = 37378.55 kN

Px pada Lx = 38.75 m

$$\begin{aligned} P_x &= P_o \times e^{-\mu(\alpha + \beta \cdot L_x)} \\ &= 37378.55 \times 2,7183^{-0,20(0,177 + 0,012 \cdot 38.75)} \\ &= 32874.46 \text{ kN} \end{aligned}$$

Px pada Lx = 77.5 m

$$\begin{aligned} P_x &= 37378.55 \times 2,7183^{-0,20(0,177 + 0,012 \cdot 77.5)} \\ &= 29954.98 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.6.3. Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis (*Elastic Shortening*)

Jarak titik berat tendon terhadap titik berat tampang box, es = 1,898 m

Momen inersia tampang box, Ix = 10.171 m⁴

Luas tampang box beton, A = 10.123 m²

Modulus elastis box beton, Ebox = 0,043 x (25.5)^{1,5} x $\sqrt{40}$ = 35018.4 MPa

Modulus elastis baja prategang, Es = 190000 MPa

Jumlah total strands, $n_s \text{ span } 120 = 323$

$n_s \text{ span } 77.5 = 204$

Luas tampang nominal satu strands, $A_{st} = 0.0002 \text{ m}^2$

Beban putus satu strands, $P_{bs} = 260,7 \text{ kN}$

Momen akibat berat sendiri balok, $M_{\text{balok sp } 120} = 42196.68 \text{ kNm}$

$M_{\text{balok sp } 77.5} = 25682.76 \text{ kNm}$

Luas tampang tendon baja prategang $A_t = n_s \times A_{st}$

$A_t \text{ span } 120 = 323 \times 0.0002 = 0.0646 \text{ m}^2$

$A_t \text{ span } 77.5 = 204 \times 0.0002 = 0.0408 \text{ m}^2$

Modulus ratio antara baja prategang dengan balok beton,

$$n = \frac{E_s}{E_{\text{box}}} = 5.42$$

Jari – jari inersia penampang balok beton,

$$i = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 1.002 \text{ m}$$

$$K_e = \frac{A_t}{A} \times \left(1 + \frac{es^3}{i^2} \right)$$

$K_e \text{ span } 120 = 0.05$

$K_e \text{ span } 77.5 = 0.032$

a. Pemendekan Elastis Span 120

Tegangan baja pra-tegang sebelum loss of prestress di tengah bentang:

$$\delta P_i = n_s \times \frac{P_{bs}}{A_t} = 323 \times \frac{260,7}{0.0646} = 1303500 \text{ kPa}$$

Kehilangan tegangan pada baja akibat regangan elastik dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri:

$$\Delta\delta Pe' = \delta Pi \times n \times \frac{Ke}{(1+n \times Ke)} = 277929.58 \text{ kPa}$$

Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaruh gaya prategang

$$\delta bt = \frac{\delta Pe}{n} - \frac{Mbalok \times es}{Ix} = 43404.24 \text{ kPa}$$

Kehilangan tegangan pada baja oleh tegangan elastik tanpa pengaruh berat sendiri:

$$\Delta\delta Pe = 1/2 \times n \times \delta bt = 117625.49 \text{ kPa}$$

Loss of prestress akibat pemendekan elastis :

$$\Delta Pe = \Delta\delta Pe \times At = 7598.61 \text{ kN}$$

b. Pemendekan Elastis Span 77.5

Tegangan baja pra-tegang sebelum loss of prestress di tengah bentang:

$$\delta Pi = ns \times \frac{Pbs}{At} = 204 \times \frac{260.7}{0.0408} = 1303500 \text{ kPa}$$

Kehilangan tegangan pada baja akibat regangan elastik dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri:

$$\Delta\delta Pe' = \delta Pi \times n \times \frac{Ke}{(1 + n \times Ke)} = 192663.48 \text{ kPa}$$

Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaruh gaya prategang

$$\delta bt = \frac{\delta Pe}{n} - \frac{Mbalok \times es}{Ix} = 30754.13 \text{ kPa}$$

Kehilangan tegangan pada baja oleh tegangan elastik tanpa pengaruh berat sendiri:

$$\Delta\delta Pe = 1/2 \times n \times \delta bt = 83343.69 \text{ kPa}$$

Loss of prestress akibat pemendekan elastis :

$$\Delta P_e = \Delta \delta P_e \times A_t = 3400.42 \text{ kN}$$

4.6.4. Kehilangan Tegangan Jangka Panjang

1) Pengaruh susut (*shrinkage*)

$$t = 30 \text{ hari}$$

Modulus elastisitas baja prategang (strand), $E_s = 190000 \text{ MPa}$

Regangan susut ultimate $E_{SHu} = 800 \times 10^{-6}$

$$E_{SH,t} = \frac{t}{(t + 35)} \times E_{SHu} = \frac{30}{(30 + 35)} \times 800 \cdot 10^{-6} = 3,69 \cdot 10^{-4}$$

Kehilangan prategang akibat pengaruh susut:

$$\delta sh = E_{SH,t} \times E_s = 3,69 \cdot 10^{-4} \times 190000000 = 70110 \text{ kPa}$$

2) Pengaruh Rayapan (*Creep*)

P initial (keadaan saat transfer) di tengah bentang :

$$P_i \text{ span } 120 = P_x - \Delta P_e = 51327.03 - 7598.61 = 43728.42 \text{ kN}$$

$$P_i \text{ span } 77.5 = P_x - \Delta P_e = 32874.46 - 3400.42 = 29474.04 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok sp } 120} = 42196.68 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{balok sp } 77.5} = 25682.76 \text{ kNm}$$

$$W_a = 11.276 \text{ m}^3$$

$$W_b = 4.848 \text{ m}^3$$

$$E_{\text{box}} = 35018.4 \text{ MPa}$$

$$e_s = 1.898 \text{ m}$$

$$A = 10.123 \text{ m}^2$$

Tegangan beton di serat atas:

$$f_a = -\frac{P_i}{A} - \frac{P_i \times e_s}{W_a} + \frac{M_{balok}}{W_a}$$

$$f_{a \text{ span } 120} = -\frac{43728.42}{10.123} - \frac{43728.42 \times 1.898}{11.276} + \frac{42196.68}{11.276}$$

$$= -7938 \text{ kPa}$$

$$f_{a \text{ span } 77.5} = -\frac{29474.04}{10.123} - \frac{29474.04 \times 1.898}{11.276} + \frac{25682.76}{11.276}$$

$$= -5595.07 \text{ kPa}$$

Tegangan beton di serat bawah:

$$f_b = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i \times e_s}{W_b} - \frac{M_{balok}}{W_b}$$

$$f_{b \text{ span } 120} = -\frac{43728.42}{10.123} + \frac{43728.42 \times 1.898}{4.848} - \frac{42196.68}{4.848}$$

$$= 4096.1 \text{ kPa}$$

$$f_{b \text{ span } 77.5} = -\frac{29474.04}{10.123} + \frac{29474.04 \times 1.898}{4.848} - \frac{25682.76}{4.848}$$

$$= 3329.94 \text{ kPa}$$

Regangan akibat creep,

$$\varepsilon_{cr} = \left(\frac{f_c}{E_{balok}} \right) \times k_b \times k_c \times k_d \times k_e \times k_{tn}$$

k_b = koefisien yang tergantung pada pemakaian air semen (water cement ratio) untuk beton mutu tinggi dengan faktor :

air semen, $w = 0,40$ cement content = 4,5 kN/m³

$k_b = 0,905$

k_c = koefisien kering udaran < 50% sehingga, $k_c = 3$

Untuk semen tipe I, $k_d = 0,938$

$k_e = 0,734$

$$k_{tn} = 0,2$$

$$f_c \text{ diambil } \quad \text{span 120} = 4096.1 \text{ kPa}$$

$$\text{span 77.5} = 3329.94 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cr \text{ span 120}} &= \left(\frac{4096.1}{35018.4} \right) \times 0,905 \times 3 \times 0,938 \times 0,734 \times 0,2 \\ &= 0.000043 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cr \text{ span 77.5}} &= \left(\frac{3329.94}{35018.4} \right) \times 0,905 \times 3 \times 0,938 \times 0,734 \times 0,2 \\ &= 0.000035 \end{aligned}$$

Tegangan akibat creep:

$$\delta_{cr} = \varepsilon_{cr} \times E_s$$

$$\delta_{cr \text{ span 120}} = 0.000043 \times 1900000000 = 8170 \text{ kPa}$$

$$\delta_{cr \text{ span 77.5}} = 0.000035 \times 1900000000 = 6650 \text{ kPa}$$

3) Kehilangan Tegangan Akibat Relaksasi Tendon (Relaxation of Tendon)

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

$$\text{Kuat leleh tendon, } f_{py} = 0,85 \times f_{pu} = 0,85 \times 1860 = 1581 \text{ MPa}$$

$$A_t \text{ span 120} = 323 \times 0.0002 = 0.0646 \text{ m}^2 = 64600 \text{ mm}^2$$

$$A_t \text{ span 77.5} = 204 \times 0.0002 = 0.0408 \text{ m}^2 = 40800 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tegangan baja prategang setelah transfer, } f_{ps} = P_i / A_t$$

$$f_{ps \text{ span 120}} = 43728.42 / 0.0646 = 676910.52 \text{ kPa} = 676.91 \text{ MPa}$$

$$f_{ps \text{ span 77.5}} = 29474.04 / 0.0408 = 722402.94 \text{ kPa} = 722.4 \text{ MPa}$$

Diperhitungkan tegangan tendon 3 bulan setelah transfer

$$t_1 = 1 \text{ hari}$$

$$t_2 = 1 \text{ bulan} = 30 \text{ hari} = 720 \text{ jam}$$

Kehilangan prategang akibat relaxation of tendon:

$$\Delta f_{pR} = f_{ps} \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{45} \right) \left(\frac{f_{ps}}{f_{py}} - 0.55 \right)$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pR} \text{ span } 120 &= 676.91 \left(\frac{\log 720 - \log 1}{45} \right) \left(\frac{676.91}{1581} - 0.55 \right) \\ &= -5.237 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pR} \text{ span } 77.5 &= 722.4 \left(\frac{\log 720 - \log 1}{45} \right) \left(\frac{722.4}{1581} - 0.55 \right) \\ &= -4.269 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4.6.5. Total Kehilangan Gaya Prategang

Span 120 meter Gaya prategang yang terjadi (akibat jacking) :

$$P_j = P_t / 0.85 = 53815.37 / 0.85 = 63312.2 \text{ kN}$$

Span 77.5 meter Gaya prategang yang terjadi (akibat jacking):

$$P_j = P_t / 0.85 = 32754.4 / 0.85 = 38534.59 \text{ kN}$$

$$\delta_{sh} = 70110 \text{ kPa}$$

$$\delta_{cr} \text{ span } 120 = 8170 \text{ kPa}$$

$$\delta_{cr} \text{ span } 77.5 = 6650 \text{ kPa}$$

$$\Delta f_{pR} \text{ span } 120 = 5.237 \text{ MPa} = 5237 \text{ kPa}$$

$$\Delta f_{pR} \text{ span } 77.5 = 4.269 \text{ MPa} = 4269 \text{ kPa}$$

$$\text{Loss of prestress jangka panjang} = \delta_{sh} + \delta_{cr} + \Delta f_{pR}$$

$$\text{Span } 120 = 70110 + 8170 + 5237 = 83517 \text{ kPa}$$

$$\text{Span } 77.5 = 70110 + 6650 + 4269 = 81029 \text{ kPa}$$

$$\text{Span } 120 = 83517 \times 0.0646 = 5395.19 \text{ kN}$$

$$\text{Span 77.5} = 81029 \times 0.0408 = 3305.98 \text{ kN}$$

$$P_i \text{ span 120} = 43728.42 \text{ kN}$$

$$P_i \text{ span 77.5} = 29474.04 \text{ kN}$$

$$P_{eff} = P_i - \text{Loss of prestress jangka panjang}$$

$$P_{eff} \text{ Span 120} = 43728.42 - 5395.19 = 38333.23 \text{ kN}$$

$$P_{eff} \text{ Span 77.5} = 29474.04 - 3305.98 = 26168.06 \text{ kN}$$

$$\text{Kehilangan gaya prategang total : } 1 - \frac{P_{eff}}{P_j} \times 100\%$$

$$\text{Span 120} = 1 - \frac{38333.23}{63312.2} \times 100\% = 39.4\%$$

$$\text{Span 77.5} = 1 - \frac{26168.06}{38534.59} \times 100\% = 32.1\%$$

Kontrol tegangan pada tendon baja pasca tarik segera setelah penyaluran gaya prategang :

Tegangan ijin pada tendon baja pasca Tarik

$$0,70 \times f_{pu} = 0,70 \times 1860 = 1302000 \text{ kPa}$$

Tegangan yang terjadi pada tendon baja pasca tarik:

$$f_p \text{ span 120} = \frac{P_{eff}}{A_t} = \frac{38333.23}{0.0646} = 593393.65 \text{ kPa}$$

$$f_p \text{ span 77.5} = \frac{P_{eff}}{A_t} = \frac{26168.06}{0.0408} = 641374.02 \text{ kPa}$$

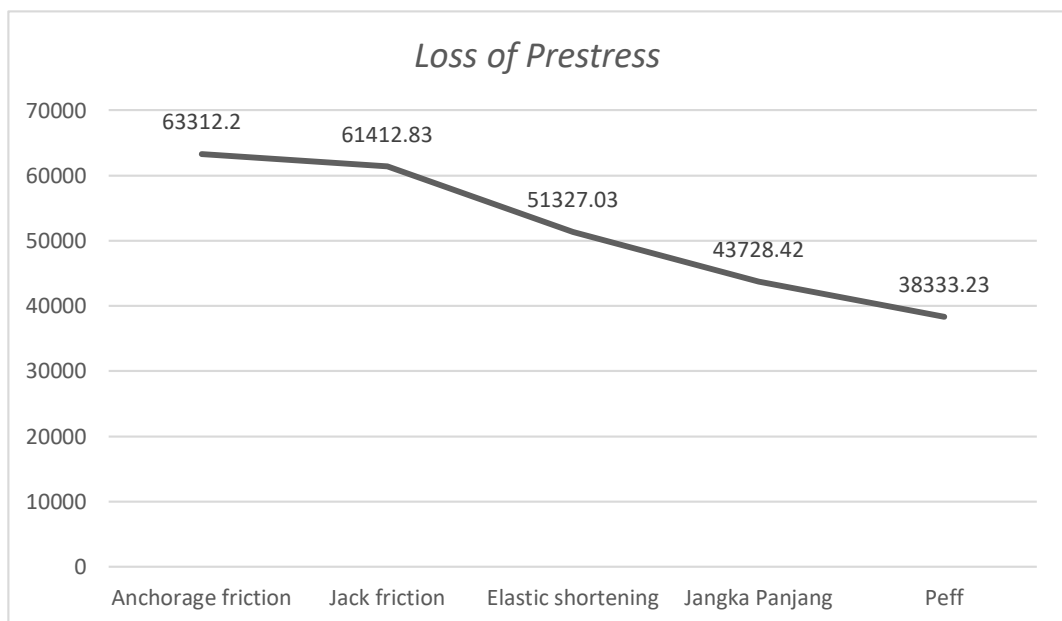
Jadi, $f_p < 0,70 \cdot f_{pu}$

$$593393.65 \text{ kPa} < 1302000 \text{ kPa (OK)}$$

$$641374.02 \text{ kPa} < 1302000 \text{ kPa (OK)}$$

Tabel 4. 12 Total Kehilangan Gaya Prategang Box Girder Span 120

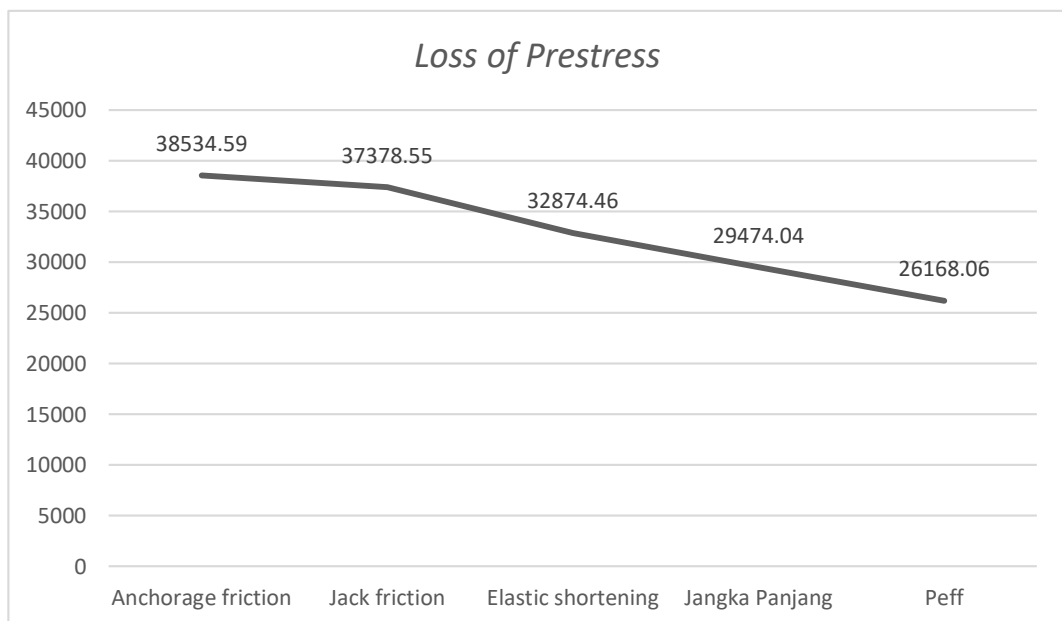
<i>Prestress</i>	Gaya Prategang (kN)	<i>Persentase (%)</i>
Gaya prategang (<i>Jack</i>)	63312.2	100%
<i>Loss of Prestress</i>		
Anchorage friction	1899.37	3%
Jack friction	10085.8	16%
Elastic shortening	7598.61	12%
Jangka Panjang	5395.19	8.5%
Gaya Prategang efektif	38333.23	60.5%
Total <i>Loss of Prestress</i>	24978.97	39.5%



Gambar 4. 19 Grafik *Loss of Prestress* Box Girder Span 120

Tabel 4. 13 Total Kehilangan Gaya Prategang Box Girder Span 77.5

<i>Prestress</i>	Gaya Prategang (kN)	<i>Persentase (%)</i>
Gaya prategang (<i>Jack</i>)	38534.59	100%
<i>Loss of Prestress</i>		
Anchorage friction	1156.04	3%
Jack friction	4504.09	11.7%
Elastic shortening	3400.42	8.8%
Jangka Panjang	3305.98	8.6%
Gaya Prategang efektif	26168.06	67.9%
Total <i>Loss of Prestress</i>	12366.53	32.1%



Gambar 4. 20 Grafik Loss of Prestress Box Girder Span 77.5

4.7 Tegangan Yang Terjadi Akibat Gaya Prategang

Tegangan beton pada kondisi saat transfer dan kondisi layan (setelah memperhitungkan semua kehilangan tegangan) tidak boleh melebihi nilai tegangan ijin beton sebagai berikut:

$$f_{ci}' = 0,80 \times 40 = 32 \text{ MPa}$$

Saat transfer

$$\text{Serat tekan (bawah): } f_{ci} = 0,60 \times f_{ci}' = 0,60 \times 32 = 19,2 \text{ MPa}$$

$$\text{Serat tarik (atas) : } f_{ti} = 0,25 \times \sqrt{f_{ci}'} = 0,25 \times \sqrt{32} = 1,414 \text{ MPa}$$

Saat layan,

$$\text{Serat tekan (atas) : } f_{cs} = 0,45 \times f_c' = 0,45 \times 40 = 18 \text{ MPa}$$

$$\text{Serat Tarik (bawah): } f_{ts} = 0,50 \times \sqrt{f_{ci}'} = 0,50 \times \sqrt{40} = 3,162 \text{ MPa}$$

4.7.1. Pada Keadaan Awal (Saat Transfer)

a. Span 120

$$P_t = 53815,37 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 42196,68 \text{ kNm}$$

$$W_a = 11,276 \text{ m}^3$$

$$W_b = 4,848 \text{ m}^3$$

$$A = 10,123 \text{ m}^2$$

$$e_s = 1,898 \text{ m}$$

Tegangan pada serat atas:

$$f_a = -\frac{P_t}{A} + \frac{P_t \times e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a}$$

$$f_a = -\frac{53815.37}{10.123} + \frac{53815.37 \times 1.898}{11.276} - \frac{42196.68}{11.276} = 0.00028 \text{ kPa}$$

$$= 2.8 \times 10^{-7} \text{ MPa} < 1.414 \text{ MPa (OK)}$$

Tegangan pada serat bawah:

$$f_b = -\frac{Pt}{A} - \frac{Pt \times es}{W_b} + \frac{M_{balok}}{W_b}$$

$$f_b = -\frac{53815.37}{10.123} - \frac{53815.37 \times 1.898}{4.848} + \frac{42196.68}{4.848}$$

$$= -17681.02 \text{ kPa} = -17.68 \text{ MPa} < 19.2 \text{ MPa (OK)}$$

b. Span 77.5

$$Pt = 32754.4 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 25682.76 \text{ kNm}$$

$$W_a = 11.276 \text{ m}^3$$

$$W_b = 4.848 \text{ m}^3$$

$$A = 10.123 \text{ m}^2$$

$$es = 1.898 \text{ m}$$

Tegangan pada serat atas:

$$f_a = -\frac{Pt}{A} + \frac{Pt \times es}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a}$$

$$f_a = -\frac{32754.4}{10.123} + \frac{32754.4 \times 1.898}{11.276} - \frac{25682.76}{11.276} = -0.00032 \text{ kPa}$$

$$= -3.2 \times 10^{-7} \text{ MPa} < 1.414 \text{ MPa (OK)}$$

Tegangan pada serat bawah:

$$f_b = -\frac{Pt}{A} - \frac{Pt \times es}{W_b} + \frac{M_{balok}}{W_b}$$

$$f_b = -\frac{32754.4}{10.123} - \frac{32754.4 \times 1.898}{4.848} + \frac{25682.76}{4.848} = -10761.44 \text{ kPa}$$

$$= -10.76 \text{ MPa} < 19.2 \text{ MPa (OK)}$$

4.7.2. Pada Keadaan Setelah (*Loss Of Prestress*)

a. Span 120

$$P_{eff} = 38333.23 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 42196.68 \text{ kNm}$$

$$W_a = 11.276 \text{ m}^3$$

$$W_b = 4.848 \text{ m}^3$$

$$A = 10.123 \text{ m}^2$$

$$e_s = 1.898 \text{ m}$$

Tegangan pada serat atas:

$$f_a = -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \times e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a}$$

$$f_a = -\frac{38333.23}{10.123} + \frac{38333.23 \times 1.898}{11.276} - \frac{42196.68}{11.276}$$

$$= -1076.58 \text{ kPa} = -1.08 \text{ MPa} < 18 \text{ MPa (OK)}$$

Tegangan pada serat bawah:

$$f_b = -\frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \times e_s}{W_b} + \frac{M_{balok}}{W_b}$$

$$f_b = -\frac{38333.23}{10.123} - \frac{38333.23 \times 1.898}{4.848} + \frac{42196.68}{4.848}$$

$$= -10090.33 \text{ kPa} = -10.09 \text{ MPa}$$

$$< 3,162 \text{ MPa (OK)}$$

b. Span 77.5

$$P_{eff} = 26168.06 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 25682.76 \text{ kNm}$$

$$W_a = 11.276 \text{ m}^3$$

$$W_b = 4.848 \text{ m}^3$$

$$A = 10.123 \text{ m}^2$$

$$e_s = 1.898 \text{ m}$$

Tegangan pada serat atas:

$$f_a = -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \times e_s}{W_a} - \frac{M_{balok}}{W_a}$$

$$\begin{aligned} f_a &= -\frac{26168.06}{10.123} + \frac{26168.06 \times 1.898}{11.276} - \frac{25682.76}{11.276} = -457.99 \text{ kPa} \\ &= -0.46 \text{ MPa} < 18 \text{ MPa (OK)} \end{aligned}$$

Tegangan pada serat bawah:

$$f_b = -\frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \times e_s}{W_b} + \frac{M_{balok}}{W_b}$$

$$\begin{aligned} f_b &= -\frac{26168.06}{10.123} - \frac{26168.06 \times 1.898}{4.848} + \frac{25682.76}{4.848} \\ &= -7532.25 \text{ kPa} = -7.53 \text{ MPa} < 3,162 \text{ MPa (OK)} \end{aligned}$$

4.8 Lendutan Pada Box girder Prategang

4.8.1. Lendutan Pada Keadaan Awal (Transfer)

$$e_s = 1.898 \text{ m}$$

$$E_{box} = 35018.4 \text{ MPa}$$

$$I_x = 10.171 \text{ m}^4$$

a. Cantilever

$$P_t = 53815.37 \text{ kN}$$

Lendutan ke atas/lawan lendut (*chamber*)

$$\begin{aligned}\delta_c &= -\frac{5}{48} \frac{P_t \times e_s \times 60^2}{E_c \times I_x} = -\frac{5}{48} \cdot \frac{53815.37 \times 1.898 \times 60^2}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= -0.107 \text{ m (}\uparrow\text{) keatas}\end{aligned}$$

Lendutan ke bawah (*deflection*)

$$Q_{bs} = 335,577 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}\delta_d &= \frac{5}{384} \frac{Q_{bs} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{335,577 \times 60^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= +0.158 \text{ m (}\downarrow\text{) kebawah}\end{aligned}$$

Total lendutan saat transfer,

$$\delta_T = \delta_c + \delta_d = -0.107 + 0.158 = +0.051 \text{ m (}\downarrow\text{) ke bawah}$$

$$+0.051 \text{ m (}\downarrow\text{)} < L/240 = 0.25 \text{ m}$$

b. End Abutment

$$P_t = 32754.4 \text{ kN}$$

Lendutan ke atas/lawan lendut (*chamber*)

$$\begin{aligned}\delta_c &= -\frac{5}{48} \frac{P_t \times e_s \times L^2}{E_c \times I_x} = -\frac{5}{48} \cdot \frac{32754.4 \times 1.898 \times 16.5^2}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= -0.005 \text{ m (}\uparrow\text{) keatas}\end{aligned}$$

Lendutan ke bawah (*deflection*)

$$Q_{bs} = 335,577 \text{ kN/m}$$

$$\delta_d = \frac{5}{384} \frac{Q_{bs} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{335,577 \times 16.5^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171}$$

$$= +0.0009 \text{ m } (\downarrow) \text{ kebawah}$$

Total lendutan saat transfer,

$$\delta_T = \delta_c + \delta_d = -0.005 + 0.0009 = -0.0041 \text{ m } (\downarrow) \text{ ke bawah}$$

$$+0.051 \text{ m } (\downarrow) < L/240 = 0.06875 \text{ m}$$

4.8.2. Lendutan Setelah *Loss of Prestress* (Service)

a. Cantilever

$$P_{eff} = 38333.23 \text{ kN}$$

- Lendutan ke atas/lawan lendut (*chamber*)

$$\delta_c = -\frac{5}{48} \frac{P_{eff} \times e_s \times L^2}{E_c \times I_x} = -\frac{5}{48} \cdot \frac{38333.23 \times 1.898 \times 60^2}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171}$$

$$= -0.076 \text{ m } (\uparrow) \text{ keatas}$$

- Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS) (*deflection*)

$$Q_{ms} = 357,599 \text{ kN/m}$$

$$\delta_d = \frac{5}{384} \frac{Q_{bs} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{357,599 \times 60^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171}$$

$$= +0.169 \text{ m } (\downarrow) \text{ kebawah}$$

- Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA) (*deflection*)

$$Q_{ma} = 48,527 \text{ kN/m}$$

$$\delta_d = \frac{5}{384} \frac{Q_{bs} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{48,527 \times 60^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171}$$

$$= +0.022 \text{ m } (\downarrow) \text{ kebawah}$$

- Lendutan Akibat Beban Lajur “D” (TD) (*deflection*)

$$Q_{TD} = 85,838 \text{ kN/m}$$

$$P_{TD} = 972,062 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\delta_d &= \frac{1}{48} \frac{P_{TD} \times L^3}{E_c \times I_x} + \frac{5}{384} \frac{Q_{TD} \times L^4}{E_c \times I_x} \\ &= \frac{1}{48} \frac{972,062 \times 60^3}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} + \frac{5}{384} \frac{85,838 \times 60^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= 0.012 + 0.04 = +0.052 \text{ m (↓) kebawah}\end{aligned}$$

- Lendutan Akibat Beban Rem (TB) (*deflection*)

$$M_{TB} = 249,04 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\delta_d &= 0.0642 \frac{M_{TD} \times L^2}{E_c \times I_x} = 0.0642 \frac{249,04 \times 60^2}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= +0.00016 \text{ m (↓) kebawah}\end{aligned}$$

- Lendutan Akibat Beban Angin (EW) (*deflection*)

$$Q_{ew} = 0,741 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}\delta_d &= \frac{5}{384} \frac{Q_{ew} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,741 \times 60^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= +0.00035 \text{ m (↓) kebawah}\end{aligned}$$

- Lendutan Akibat Beban Gempa (EQ)) (*deflection*)

$$Q_{eq} = 30,539 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}\delta_d &= \frac{5}{384} \frac{Q_{eq} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{30,539 \times 60^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= +0.014 \text{ m (↓) kebawah}\end{aligned}$$

Total lendutan saat service,

$$\delta_T = \delta_c + \delta_d = -0.076 + 0.169 + 0.022 + 0.052 + 0.00016 + 0.00035 + 0.014$$

$$= +0.18 \text{ m } (\downarrow) \text{ ke bawah}$$

$$+0.18 \text{ m } (\downarrow) < L/240 = 0.25 \text{ m}$$

b. End Abutment

$$P_{eff} = 26168.06 \text{ kN}$$

- Lendutan ke atas/lawan lendut (*chamber*)

$$\begin{aligned} \delta_c &= -\frac{5}{48} \frac{P_{eff} \times e_s \times L^2}{E_c \times I_x} = -\frac{5}{48} \cdot \frac{26168.06 \times 1.898 \times 16.5^2}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= -0.004 \text{ m } (\uparrow) \text{ keatas} \end{aligned}$$

- Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS) (*deflection*)

$$Q_{ms} = 357,599 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \delta_d &= \frac{5}{384} \frac{Q_{bs} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{357,599 \times 16.5^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= +0.0009 \text{ m } (\downarrow) \text{ kebawah} \end{aligned}$$

- Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA) (*deflection*)

$$Q_{ma} = 48,527 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \delta_d &= \frac{5}{384} \frac{Q_{bs} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{48,527 \times 16.5^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} \\ &= +0.00013 \text{ m } (\downarrow) \text{ kebawah} \end{aligned}$$

- Lendutan Akibat Beban Lajur “D” (TD) (*deflection*)

$$Q_{TD} = 85,838 \text{ kN/m}$$

$$P_{TD} = 972,062 \text{ kN}$$

$$\delta_d = \frac{1}{48} \frac{P_{TD} \times L^3}{E_c \times I_x} + \frac{5}{384} \frac{Q_{TD} \times L^4}{E_c \times I_x}$$

$$= \frac{1}{48} \frac{972,062 \times 16.5^3}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171} + \frac{5}{384} \frac{85,838 \times 120^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171}$$

$$= 0.0003 + 0.0002 = +0.0005 \text{ m (↓) kebawah}$$

- Lendutan Akibat Beban Rem (TB) (*deflection*)

$$M_{TB} = 249,04 \text{ kNm}$$

$$\delta_d = 0.0642 \frac{M_{TD} \times L^2}{E_c \times I_x} = 0.0642 \frac{249,04 \times 16.5^2}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171}$$

$$= +0.00001 \text{ m (↓) kebawah}$$

- Lendutan Akibat Beban Angin (EW) (*deflection*)

$$Q_{ew} = 0,741 \text{ kN/m}$$

$$\delta_d = \frac{5}{384} \frac{Q_{ew} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,741 \times 16.5^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171}$$

$$= +0.000002 \text{ m (↓) kebawah}$$

- Lendutan Akibat Beban Gempa (EQ)) (*deflection*)

$$Q_{eq} = 30,539 \text{ kN/m}$$

$$\delta_d = \frac{5}{384} \frac{Q_{eq} \times L^4}{E_c \times I_x} = \frac{5}{384} \cdot \frac{30,539 \times 16.5^4}{35018.4 \times 10^3 \times 10.171}$$

$$= +0.00008 \text{ m (↓) kebawah}$$

Total lendutan saat service,

$$\delta_T = \delta_c + \delta_d =$$

$$-0.004 + 0.0009 + 0.00013 + 0.0005 + 0.00001 + 0.000002 + 0.00008$$

$$= -0.0024 \text{ m (↑) ke atas}$$

$$-0.0024 \text{ m (↑)} < L/240 = 0.06875 \text{ m}$$

4.9 Perencanaan Struktur Plat Lantai

4.9.1. Perhitungan *End Block Bottom*

Jumlah strand 1 tendon = 17

Beban putus 1 strands, $P_{bs} = 260.7 \text{ kN}$

% jacking force span 120 = 75.18%

% jacking force span 77.5 = 72,46%

Beban putus 1 tendon span 120 = $260.7 \times 17 \times 75.18\% = 3331.9 \text{ kN}$

Beban putus 1 tendon span 77.5 = $260.7 \times 17 \times 72,46\% = 3211.36 \text{ kN}$

Ambil terbesar, $P_{b1} = 3331.9 \text{ kN}$

Lebar angkur, $a = 320 \text{ mm}$

$b = 1000 \text{ mm}$

$h \text{ balok} = 3 \text{ m}$

Gaya tarik angkur,

$$\begin{aligned} T &= 0.25 \times P_{b1} \times \left(1 - \frac{a}{h}\right) = 0.25 \times 3331.9 \times \left(1 - \frac{320}{3000}\right) \\ &= 744.1243 \text{ kN} = 744124 \text{ N} \end{aligned}$$

f_y baja untuk *bursting steel* yang digunakan = 400 MPa

Tegangan ijin baja untuk *bursting steel* = $0,6 \times 400 = 240 \text{ MPa}$

Luas tulangan yang dibutuhkan,

$$A_s \text{ perlu} = \frac{T}{0.6 f_y} = \frac{744124}{240} = 3100.517 \text{ mm}^2$$

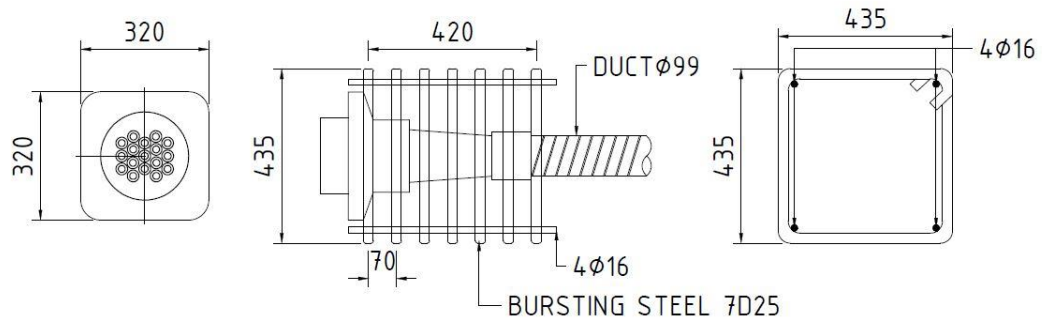
Diameter tulangan yang digunakan, $D = 25 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan, } A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.874 \text{ mm}^2$$

Tulangan angkur yang digunakan,

$$\frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ D19}} = \frac{3100.517}{490.874} = 6.31$$

digunakan tulangan **7 D25**



Gambar 4. 21 Detail Bursting Steel End Block Tendon Bottom

Sumber: Dokumen Pribadi

4.9.2. Perhitungan *End Block Cantilever*

Jumlah strand 1 tendon = 17

Beban putus 1 strands, $P_{bs} = 260.7 \text{ kN}$

Beban putus 1 tendon, $P_{b1} = 260.7 \times 17 = 4431.9 \text{ kN}$

Lebar angkur, $a = 290 \text{ mm}$

$b = 1000 \text{ mm}$

$h \text{ balok} = 3 \text{ m}$

Gaya tarik angkur,

$$\begin{aligned} T &= 0.25 \times P_{b1} \times \left(1 - \frac{a}{h}\right) = 0.25 \times 4431.9 \times \left(1 - \frac{290}{3000}\right) \\ &= 1000.871 \text{ kN} = 1000871 \text{ N} \end{aligned}$$

f_y baja untuk *bursting steel* yang digunakan = 400 MPa

Tegangan ijin baja untuk *bursting steel* = $0,6 \times 400 = 240 \text{ MPa}$

Luas tulangan yang dibutuhkan,

$$A_s \text{ perlu} = \frac{T}{0.6 f_y} = \frac{1000871}{240} = 4170.293 \text{ mm}^2$$

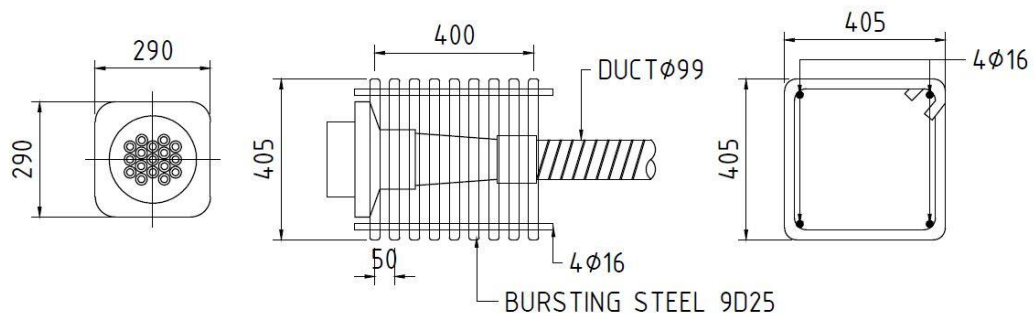
Diameter tulangan yang digunakan, $D = 25 \text{ mm}$

$$\text{Luas tulangan, } A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 = 490.874 \text{ mm}^2$$

Tulangan angkur yang digunakan,

$$\frac{A_s \text{ perlu}}{A_s D25} = \frac{4170.293}{490.874} = 8.49$$

digunakan tulangan **9 D25**



Gambar 4. 22 Detail Bursting Steel End Block Tendon Cantilever

Sumber: Dokumen Pribadi

4.9.3. Perhitungan Penulangan Melintang Box Girder

Pembebanan

$$\text{Berat Slab Atas} = 4.075 \times 25.5 \times 1.3 = 135.09 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat Slab Bawah} = 3.105 \times 25.5 \times 1.3 = 102.93 \text{ kN/m}$$

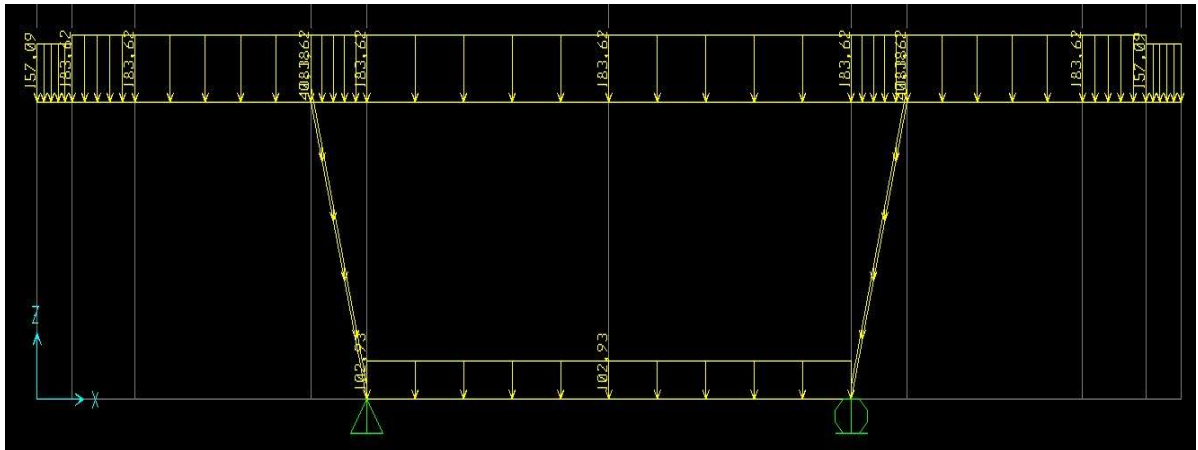
$$\text{Berat Web} = 1.212 \times 25.5 \times 1.3 = 40.18 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat Parapet} = 22 \text{ kN/m}$$

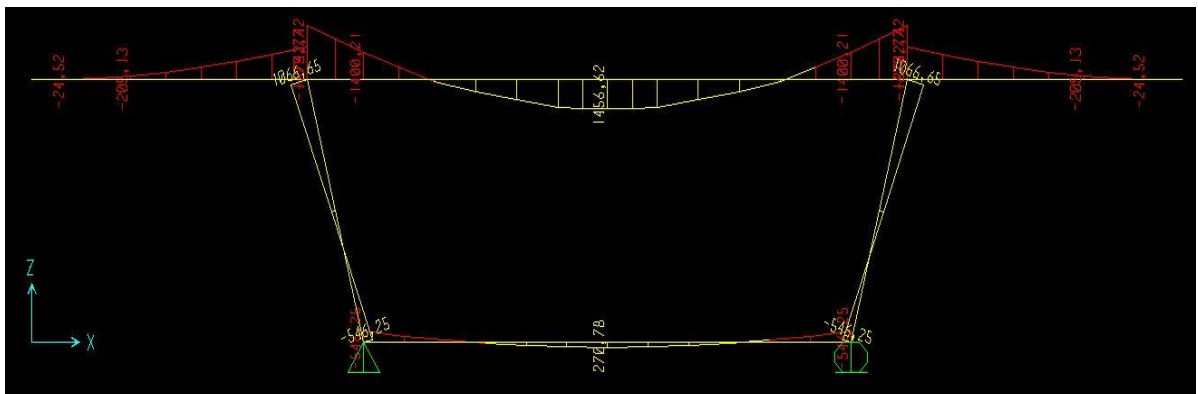
$$\text{Berat M. Tambahan} = 48,527 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban Truk} = 500 \text{ kN (antar as roda 1.75 m)}$$

Digunakan kondisi pembebanan diatas untuk mendapatkan gaya dan momen terbesar yang terjadi pada slab penampang melintang untuk analisis menggunakan program SAP 2000.



Gambar 4. 24 Kondisi Pembebanan Penampang Melintang Box Girder



Gambar 4. 23 Momen Penampang Melintang Box Girder

Hasil :

Slab Atas	Momen Tumpuan	= 2742.41	kNm
	Momen Lapangan	= 1456.62	kNm
Slab Bawah	Momen Tumpuan	= 546.25	kNm
	Momen Lapangan	= 270.78	kNm
Web	Momen	= 1066.65	kNm

1) Penulangan Slab Atas

- **Penulangan Melintang Daerah Tumpuan (Tulangan arah Y)**

Momen Tumpuan = 2742.41 kNm

Tebal slab (h) = 250 mm

Fy (BJTD) = 400 MPa

f'c = 40 MPa

b = 1000 mm

Tebal selimut (p) = 40 mm

Tulangan (D) = 19 mm

Tebal efektif (d) = h – p – 1/2D
= 250 – 40 – 1/2 19
= 200.5 mm

Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = \phi \times \rho \times f_y \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\frac{2742.41 \times 10^6}{1000 \times 200.5^2} = 0.8 \times \rho \times 400 \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{400}{40} \right)$$

$$\frac{2742410000}{40200250} = 320\rho \times (1 - 5.88\rho)$$

$$68.21 = 320\rho - 1881.6\rho^2$$

$$1881.6\rho^2 - 320\rho + 68.21$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a \times c}}{2a}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \times 1881.6 \times 68.21}}{2 \times 1881.6}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{102400 - 513375.7}}{3763.2}$$

$$\rho = \frac{321.07}{3763.2}$$

$$\rho = 0.085$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{min}):

$$\rho_{min} = \frac{0.15\sqrt{f'_c}}{0.9 \times f_y} = \frac{0.15\sqrt{40}}{0.9 \times 400} = \frac{0.949}{360} = 0.003$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{max}) :

$$\rho_{max} = 75\% \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai f'_c diatas 28 Mpa ditentukan (SNI 2847-2013)

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (f'_c - 28) \right]$$

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (40 - 28) \right]$$

$$\beta = 0.76$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 40 \times 0.76}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{25.84}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0.039$$

$$\rho_{max} = 75\% \times 0.039 = 0.02925$$

$$\text{Cek : } \rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0.003 < 0.085 < 0.02925$$

ρ yang digunakan adalah $\rho_{\min} = 0.003$

Luas Tulangan perlu (As perlu): $As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$

$$As_{\text{perlu}} = 0.003 \times 1000 \times 200.5 = 601.5 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D19:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 = 283.5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As_{\text{perlu}}} As D = \frac{1000}{601.5} 283.5 = 471 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D19 - 150 mm**

Cek As ada > As perlu

$$\left(\frac{1000}{150}\right) \times 283.5 > 601.5$$

$$1890 \text{ mm}^2 > 601.5 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- **Perhitungan Tulangan Bagi Daerah Tumpuan (Tulangan Memanjang arah X)**

$$As_{\text{bagi}} = 50\% As_{\text{ada}} = 50\% \times 1890 = 945 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As_{\text{perlu}}} As D = \frac{1000}{945} 201.06 = 212 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D16 - 150 mm**

Cek As ada > As perlu

$$\left(\frac{1000}{150}\right) \times 201.06 > 945$$

$$1340.4 \text{ mm}^2 > 945 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- **Penulangan Melintang Daerah Lapangan (Tulangan arah Y)**

Momen Lapangan = 1456.62 kNm

Tebal slab (h) = 250 mm

Fy (BJTD) = 400 MPa

f'c = 40 MPa

b = 1000 mm

Tebal selimut (p) = 40 mm

Tulangan (D) = 16 mm

Tebal efektif (d) = h – p – 1/2D
 = 250 – 40 – ½ 16
 = 202 mm

Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = \phi \times \rho \times f_y \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\frac{1456.62 \times 10^6}{1000 \times 202^2} = 0.8 \times \rho \times 400 \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{400}{40} \right)$$

$$\frac{1456620000}{40804000} = 320\rho \times (1 - 5.88\rho)$$

$$35.69 = 320\rho - 1881.6\rho^2$$

$$1881.6\rho^2 - 320\rho + 35.69$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a \times c}}{2a}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \times 1881.6 \times 35.69}}{2 \times 1881.6}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{102400 - 268617.22}}{3763.2}$$

$$\rho = \frac{87.69}{3763.2}$$

$$\rho = 0.023$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{min}):

$$\rho_{min} = \frac{0.15\sqrt{f'c}}{0.9 \times f_y} = \frac{0.15\sqrt{40}}{0.9 \times 400} = \frac{0.949}{360} = 0.003$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{max}):

$$\rho_{max} = 75\% \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai $f'c$ diatas 28 Mpa ditentukan (SNI 2847-2013)

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (f'c - 28) \right]$$

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (40 - 28) \right]$$

$$\beta = 0.76$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 40 \times 0.76}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{25.84}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0.039$$

$$\rho_{max} = 75\% \times 0.039 = 0.02925$$

$$\text{Cek : } \rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0.003 < 0.023 < 0.02925$$

ρ yang digunakan adalah $\rho_{min} = 0.003$

Luas Tulangan perlu (As perlu): $As_{perlu} = \rho \times b \times d$

$$As \text{ perlu} = 0.003 \times 1000 \times 202 = 606 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As \text{ perlu}} As D = \frac{1000}{606} 201.06 = 331 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D16 - 150 mm**

Cek As ada > As perlu

$$\left(\frac{1000}{150}\right) \times 201.06 > 606$$

$$1344 \text{ mm}^2 > 606 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- **Perhitungan Tulangan Bagi Daerah Lapangan (Tulangan Memanjang arah X)**

$$As \text{ bagi} = 50\% As \text{ ada} = 50\% \times 1344 = 672 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 132.73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As \text{ perlu}} As D = \frac{1000}{672} 132.73 = 197 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D13 - 150 mm**

Cek As ada > As perlu

$$\left(\frac{1000}{150}\right) \times 132.73 > 672$$

$$884.87 \text{ mm}^2 > 672 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka, tulangan yang digunakan pada slab atas box girder adalah:

Daerah Tumpuan	Tul. Pokok (arah Y) = D19 - 150 mm
	Tul. Bagi (arah X) = D16 - 150 mm
Daerah Lapangan	Tul. Pokok (arah Y) = D16 - 150 mm
	Tul. Bagi (arah X) = D13 - 150 mm

2) Penulangan Slab Bawah

- Penulangan Melintang Daerah Tumpuan (Tulangan arah Y)**

Momen Tumpuan = 546.25 kNm

Tebal slab (h) = 450 mm

Fy (BJTD) = 400 MPa

f'c = 40 MPa

b = 1000 mm

Tebal selimut (p) = 40 mm

Tulangan (D) = 16 mm

Tebal efektif (d) = $h - p - \frac{1}{2}D$
 $= 450 - 40 - \frac{1}{2} 16$
 $= 402 \text{ mm}$

Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = \phi \times \rho \times f_y \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\frac{546.25 \times 10^6}{1000 \times 402^2} = 0.8 \times \rho \times 400 \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{400}{40} \right)$$

$$\frac{546250000}{161604000} = 320\rho \times (1 - 5.88\rho)$$

$$3.38 = 320\rho - 1881.6\rho^2$$

$$1881.6\rho^2 - 320\rho + 3.38$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc:

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a \times c}}{2a}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \times 1881.6 \times 3.38}}{2 \times 1881.6}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{102400 - 25439.232}}{3763.2}$$

$$\rho = \frac{42.58}{3763.2}$$

$$\rho = 0.011$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{min}):

$$\rho_{min} = \frac{0.15\sqrt{f'c}}{0.9 \times f_y} = \frac{0.15\sqrt{40}}{0.9 \times 400} = \frac{0.949}{360} = 0.003$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{max}):

$$\rho_{max} = 75\% \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai $f'c$ diatas 28 Mpa ditentukan (SNI 2847-2013)

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (f'c - 28) \right]$$

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (40 - 28) \right]$$

$$\beta = 0.76$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 40 \times 0.76}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{25.84}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0.039$$

$$\rho_{\max} = 75\% \times 0.039 = 0.02925$$

$$\text{Cek : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0.003 < 0.011 < 0.02925$$

ρ yang digunakan adalah $\rho_{\min} = 0.003$

Luas Tulangan perlu (As perlu): $As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$

$$As_{\text{perlu}} = 0.003 \times 1000 \times 402 = 1206 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As_{\text{perlu}}} As D = \frac{1000}{1206} 201.06 = 166 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D16 - 150 mm**

As ada > As perlu

$$\left(\frac{1000}{150} \right) \times 201.06 > 1206$$

$$1340.4 \text{ mm}^2 > 1206 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- **Perhitungan Tulangan Bagi Daerah Tumpuan (Tulangan**

Memanjang arah X)

$$As_{\text{bagi}} = 50\% As_{\text{ada}} = 50\% \times 1340.4 = 670.2 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132.73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As_{\text{perlu}}} As D = \frac{1000}{670.2} 132.73 = 198 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D13 - 150 mm**

As ada > As perlu

$$\left(\frac{1000}{150}\right) \times 132.73 > 670.2$$

$$884.88 \text{ mm}^2 > 670.2 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- **Penulangan Melintang Daerah Lapangan (Tulangan arah Y)**

Momen Lapangan = 270.78 kNm

Tebal slab (h) = 450 mm

Fy (BJTD) = 400 MPa

f'c = 40 MPa

b = 1000 mm

Tebal selimut (p) = 40 mm

Tulangan (D) = 16 mm

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif (d)} &= h - p - 1/2D \\ &= 450 - 40 - \frac{1}{2} 16 \\ &= 402 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = \phi \times \rho \times f_y \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{f_y}{f'_c}\right)$$

$$\frac{270.78 \times 10^6}{1000 \times 402^2} = 0.8 \times \rho \times 400 \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{400}{40}\right)$$

$$\frac{270780000}{161604000} = 320\rho \times (1 - 5.88\rho)$$

$$1.67 = 320\rho - 1881.6\rho^2$$

$$1881.6\rho^2 - 320\rho + 1.67$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a \times c}}{2a}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \times 1881.6 \times 1.67}}{2 \times 1881.6}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{102400 - 12569.088}}{3763.2}$$

$$\rho = \frac{20.28}{3763.2}$$

$$\rho = 0.0052$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{min}):

$$\rho_{min} = \frac{0.15\sqrt{f'c}}{0.9 \times f_y} = \frac{0.15\sqrt{40}}{0.9 \times 400} = \frac{0.949}{360} = 0.003$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{max}):

$$\rho_{max} = 75\% \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai $f'c$ diatas 28 Mpa ditentukan (SNI 2847-2013)

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (f'c - 28) \right]$$

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (40 - 28) \right]$$

$$\beta = 0.76$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 40 \times 0.76}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{25.84}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0.039$$

$$\rho_{\max} = 75\% \times 0.039 = 0.02925$$

$$\text{Cek : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0.003 < 0.005 < 0.02925$$

$$\rho \text{ yang digunakan adalah } \rho_{\min} = 0.003$$

$$\text{Luas Tulangan perlu (As perlu): } As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$As_{\text{perlu}} = 0.003 \times 1000 \times 402 = 1206 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As_{\text{perlu}}} As D = \frac{1000}{1206} 201.06 = 166 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D16 - 150 mm**

$$As_{\text{ada}} > As_{\text{perlu}}$$

$$\left(\frac{1000}{150} \right) \times 201.06 > 1206$$

$$1340.4 \text{ mm}^2 > 1206 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- **Perhitungan Tulangan Bagi Daerah Lapangan (Tulangan Memanjang arah X)**

$$As_{\text{bagi}} = 50\% As_{\text{ada}} = 50\% \times 1340.4 = 670.2 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D13:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 = 132.73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As_{\text{perlu}}} As D = \frac{1000}{670.2} 132.73 = 198 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D13 - 150 mm**

$$As_{\text{ada}} > As_{\text{perlu}}$$

$$\left(\frac{1000}{150}\right) \times 132.73 > 670.2$$

$$884.88 \text{ mm}^2 > 670.2 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka, tulangan yang digunakan pada slab bawah box girder adalah:

Daerah Tumpuan	Tul. Pokok (arah Y) = D16 - 150 mm
	Tul. Bagi (arah X) = D13 - 150 mm
Daerah Lapangan	Tul. Pokok (arah Y) = D16 - 150 mm
	Tul. Bagi (arah X) = D13 - 150 mm

3) Penulangan Web

- Perhitungan Tulangan Pokok (Tulangan Melintang arah Y)**

$$\text{Momen} = 1066.65 \text{ kNm}$$

$$\text{Geser} = 544.88 \text{ kN}$$

$$\text{Tebal slab (h)} = 500 \text{ mm}$$

$$F_y \text{ (BJTD)} = 400 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 40 \text{ MPa}$$

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

$$\text{Tebal selimut (p)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (D)} = 16 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif (d)} &= h - p - 1/2 D \\ &= 500 - 40 - \frac{1}{2} 16 \\ &= 452 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = \phi \times \rho \times f_y \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\frac{1066.65 \times 10^6}{1000 \times 452^2} = 0.8 \times \rho \times 400 \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{400}{40} \right)$$

$$\frac{1066650000}{204304000} = 320\rho \times (1 - 5.88\rho)$$

$$5.22 = 320\rho - 1881.6\rho^2$$

$$1881.6\rho^2 - 320\rho + 5.22$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a \times c}}{2a}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \times 1881.6 \times 5.22}}{2 \times 1881.6}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{102400 - 39287.808}}{3763.2}$$

$$\rho = \frac{68.78}{3763.2}$$

$$\rho = 0.018$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{min}):

$$\rho_{min} = \frac{0.15\sqrt{f'_c}}{0.9 \times f_y} = \frac{0.15\sqrt{40}}{0.9 \times 400} = \frac{0.949}{360} = 0.003$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{max}):

$$\rho_{max} = 75\% \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'_c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai f'_c diatas 28 Mpa ditentukan (SNI 2847-2013)

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (f'c - 28) \right]$$

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (40 - 28) \right]$$

$$\beta = 0.76$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 40 \times 0.76}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{25.84}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0.039$$

$$\rho_{\max} = 75\% \times 0.039 = 0.02925$$

$$\text{Cek : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0.003 < 0.018 < 0.02925$$

$$\rho \text{ yang digunakan adalah } \rho_{\min} = 0.003$$

$$\text{Luas Tulangan perlu (As perlu): } As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$As_{\text{perlu}} = 0.003 \times 1000 \times 452 = 1356 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As_{\text{perlu}}} As D = \frac{1000}{1356} 201.06 = 148 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D16 - 100 mm**

As ada > As perlu

$$\left(\frac{1000}{100} \right) \times 201.06 > 1356$$

$$2010.6 \text{ mm}^2 > 1356 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- **Perhitungan Tulangan Bagi (Tulangan Memanjang arah X)**

$$A_s \text{ bagi} = 50\% A_s \text{ ada} = 50\% \times 2010.6 = 1005.3 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{A_s \text{ perlu}} A_s D = \frac{1000}{1005.3} 201.06 = 200 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D16 - 200 mm**

Cek $A_s \text{ ada} > A_s \text{ perlu}$

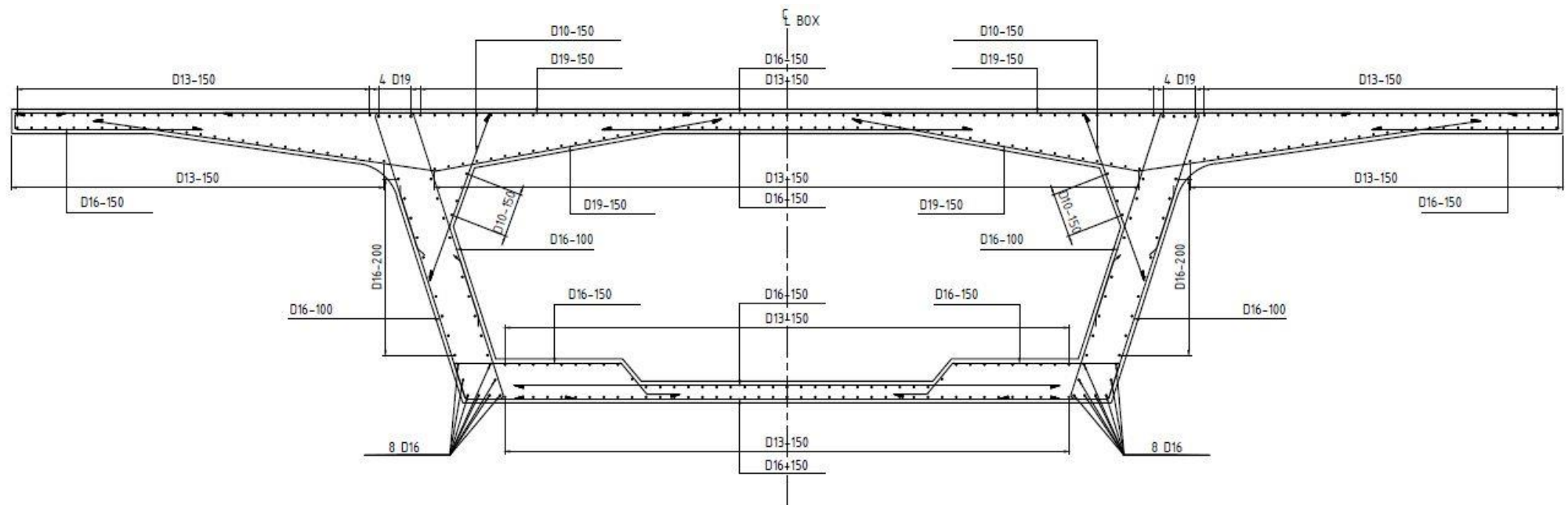
$$\left(\frac{1000}{200} \right) \times 201.06 > 1005.3$$

$$1005.3 \text{ mm}^2 > 1005.3 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka, tulangan yang digunakan pada Web box girder adalah:

Daerah Web Tul. Pokok (arah Y) = D16 - 100 mm

Tul. Bagi (arah X) = D16 - 200 mm



Gambar 4. 25 Detail Penulangan Box Girder

Sumber: Dokumen Pribadi

4.10 Perencanaan Struktur Plat Injak

Tebal = 0.3 m

Aspal + overlay = 0.05 m

Genangan air = 0.05 m

Lebar plat injak = 11.7 m

Lebar jembatan = 16.3 m

Berat tanah = 16.8 kN/m^3

Sudut gesek dalam $\Phi = 35^\circ$

Faktor reduksi untuk sudut gesek dalam = 0.7

Koefisien tekanan tanah aktif, $K_a = \tan^2 (45^\circ - \Phi' / 2) = 0.389$

Pembebanan

- Beban mati

Ditinjau selebar (b) = 1.00 m

Berat sendiri = $0.3 * 1 * 2400 = 720 \text{ kg/m}$

Berat aspal = $0.05 * 1 * 2240 = 112 \text{ kg/m}$

Berat air hujan = $0.05 * 1 * 1000 = 50 \text{ kg/m}$

Berat T. Timbunan = $0.3 * 1 * 1680 * 0.389 = 196.06 \text{ kg/m}$

Total beban mati = 1078.06 kg/m

- Beban hidup

Beban truck “T”

Faktor beban ultimit = 1.8

Beban roda ganda truck, $T = 112.5 \text{ kN}$

Faktor beban dinamis (DLA), untuk pembebanan truck diambil = 0.3

$$PTT = (1 + DLA) \times T = (1 + 0.3) \times 112.5 = 146.25 \text{ kN} = 14625 \text{ kg}$$

Lebar bidang kontak roda truck = 0.4 m

Kombinasi:

$$\text{Beban mati} = 1.2 \times 1078.06 = 1293.67 \text{ kg/m}$$

$$\text{Beban hidup} = 1.6 \times 14625 = 23400 \text{ kg}$$

$$RA = RB = \frac{1}{2} (23400 \times 0.4 + 1293.67 \times 11.7) = 12247.97 \text{ kgm}$$

$$M_{\max} = 12247.97 \text{ kgm} = 120.112 \text{ kNm}$$

- **Perhitungan Tulangan Pokok (Tulangan Melintang arah Y)**

Penulangan

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

$$\text{Tebal slab (h)} = 300 \text{ mm}$$

$$F_y (\text{BJTD}) = 400 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut (p)} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (D)} = 16 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tebal efektif (d)} &= h - p - \frac{1}{2}D \\ &= 300 - 40 - \frac{1}{2} 16 \\ &= 252 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = \phi \times \rho \times f_y \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\frac{120.112 \times 10^6}{1000 \times 252^2} = 0.8 \times \rho \times 400 \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{400}{30} \right)$$

$$\frac{120112000}{63504000} = 320\rho \times (1 - 7.84\rho)$$

$$1.89 = 320\rho - 2508.8\rho^2$$

$$2508.8\rho^2 - 320\rho + 1.89$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a \times c}}{2a}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \times 2508.8 \times 1.89}}{2 \times 2508.8}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{102400 - 18966.53}}{5017.6}$$

$$\rho = \frac{31.15}{5017.6}$$

$$\rho = 0.0062$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{min}):

$$\rho_{min} = \frac{0.15\sqrt{f'c}}{0.9 \times f_y} = \frac{0.15\sqrt{30}}{0.9 \times 400} = \frac{0.822}{360} = 0.0023$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{max}):

$$\rho_{max} = 75\% \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai f_c diatas 28 Mpa ditentukan (SNI 2847-2013)

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (f'c - 28) \right]$$

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (30 - 28) \right]$$

$$\beta = 0.12$$

β tidak boleh kurang dari 0.65, $\beta = 0.65$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 30 \times 0.65}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{16.575}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0.025$$

$$\rho_{\max} = 75\% \times 0.025 = 0.01875$$

$$\text{Cek : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0.0023 < 0.0062 < 0.01875$$

ρ yang digunakan adalah $\rho = 0.0062$

Luas Tulangan perlu (As perlu): $As_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d$

$$As_{\text{perlu}} = 0.0062 \times 1000 \times 252 = 1562.4 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{As_{\text{perlu}}} As D = \frac{1000}{1562.4} 201.06 = 128 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D16 - 100 mm**

Cek As ada > As perlu

$$\left(\frac{1000}{100} \right) \times 201.06 > 1864.8$$

$$2010.6 \text{ mm}^2 > 1864.8 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

- **Perhitungan Tulangan Bagi (Tulangan Memanjang arah X)**

$$As_{\text{bagi}} = 50\% As_{\text{ada}} = 50\% \times 2010.6 = 1005.3 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tul. maks. (s)} = \frac{b}{A_{s \text{ perlu}}} A_s D = \frac{1000}{1005.3} 201.06 = 200 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan = **D16 - 150 mm**

As ada > As perlu

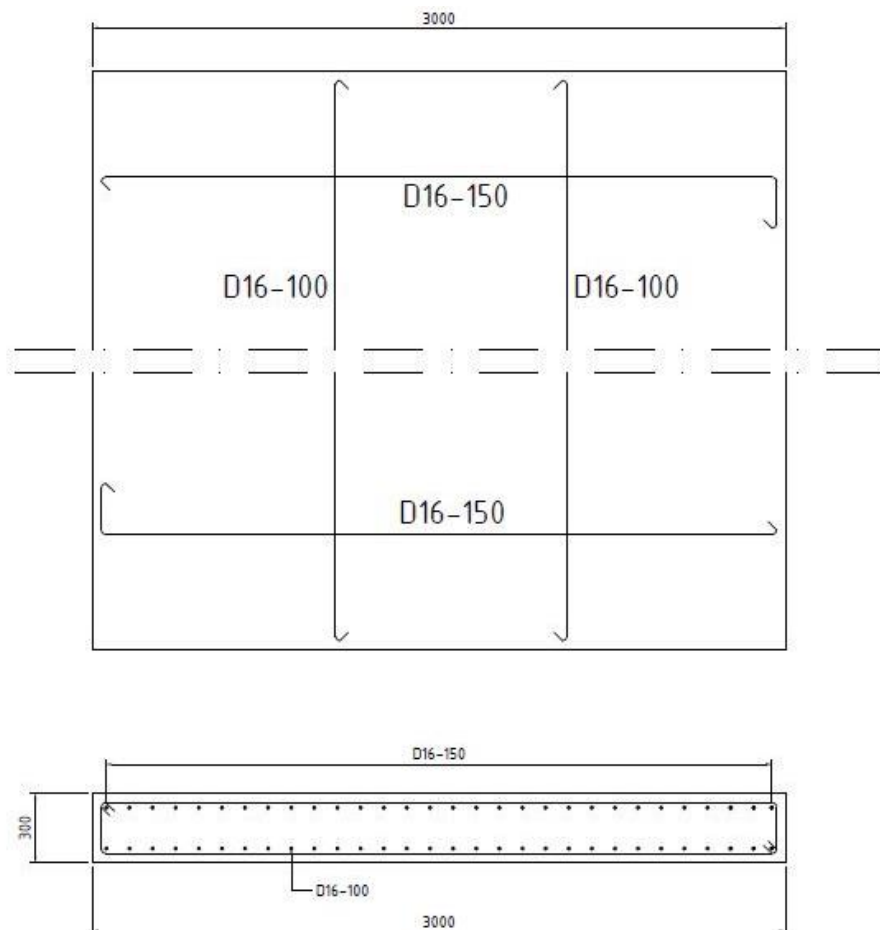
$$\left(\frac{1000}{150} \right) \times 201.06 > 1005.3$$

$$1340.4 \text{ mm}^2 > 1005.3 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka, tulangan yang digunakan pada plat injak adalah:

Plat Injak Tul. Pokok (arah Y) = D16 - 100 mm

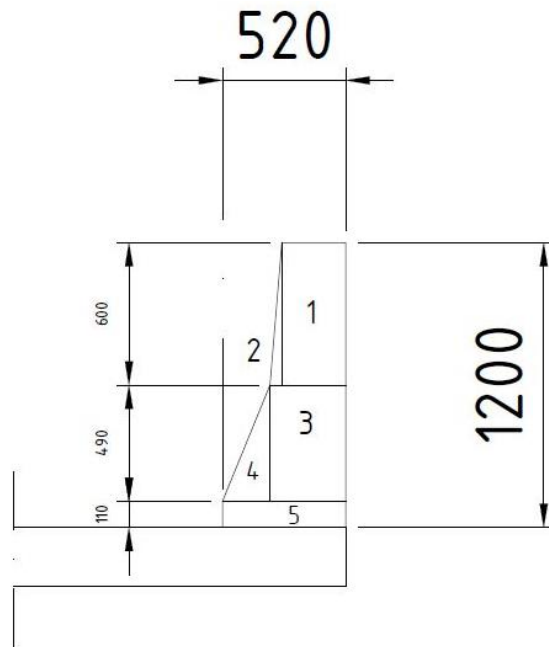
Tul. Bagi (arah X) = D16 - 150 mm



Gambar 4. 26 Detail Penulangan Plat Injak

Sumber: Dokumen Pribadi

4.11 Perencanaan Struktur Parapet



Gambar 4. 27 Dimensi Parapet

Sumber: PT.Waskita Karya Tbk.

$$\text{Luas 1} = 0,27 \times 0,6 = 0,162 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas 2} = \frac{1}{2} \times 0,6 \times 0,05 = 0,015 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas 3} = 0,32 \times 0,49 = 0,1568 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas 4} = \frac{1}{2} \times 0,2 \times 0,49 = 0,049 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas 5} = 0,11 \times 0,52 = 0,0572 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas total} = 0,44 \text{ m}^2$$

$$\text{Bj Beton Bertulang} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Berat parapet} = \text{Luas total} \times Wc$$

$$= 0,44 \times 25$$

$$= 11 \text{ kN/m}$$

Tabel 4. 14 Titik Berat Parapet

No	A (m ²)	Jarak thd Alas (Yb) (m)	Statis Momen (m ³)
1	0,162	0,9	0.1458
2	0,015	0.8	0.012
3	0,1568	0.355	0.055664
4	0,049	0.273	0.013377
5	0,0572	0,055	0.003146
	0,44		0.229987

Letak titik berat:

$$y_b = \frac{\sum \text{statis momen}}{\sum A} = \frac{0.229987}{0.44} = 0.523 \text{ m}$$

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

Momen akibat Berat Sendiri

$$M = 11 \times 1 \times 0.523 = 5.753 \text{ kNm}$$

Beban Tumbukan

$$P = 100 \text{ kN} \quad \text{untuk } h \leq 850 \text{ mm}$$

$$P = 100 \times \left(1 + \frac{h - 850}{450}\right) \quad \text{untuk } h > 850 \text{ mm}$$

Maka,

$$P = 100 \times \left(1 + \frac{1200 - 850}{450}\right) = 177.778 \text{ kN}$$

$$M \text{ Tumbukan} = P \times b = 177.778 \times 1 = 177.778 \text{ kNm}$$

Momen total = M sendiri + M Tumbukan

$$= 5.753 + 177.778$$

$$= 183.531 \text{ kNm}$$

Penulangan Parapet

$$\text{Momen} = 183.531 \text{ kNm}$$

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

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$F_y (\text{BJTD}) = 400 \text{ MPa}$$

$$f'_c = 30 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal selimut (p)} = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Tulangan (D)} = 13 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\text{Tebal efektif (d)} &= h - p - 1/2D \\ &= 1200 - 50 - \frac{1}{2} 16 \\ &= 1142 \text{ mm}\end{aligned}$$

Menghitung Rasio Tulangan (ρ) :

$$\frac{M_u}{b \times d^2} = \phi \times \rho \times f_y \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{f_y}{f'_c} \right)$$

$$\frac{183.531 \times 10^6}{1000 \times 1142^2} = 0.8 \times \rho \times 400 \left(1 - 0.588 \times \rho \frac{400}{30} \right)$$

$$\frac{183531000}{1304164000} = 320\rho \times (1 - 7.84\rho)$$

$$0.14 = 320\rho - 2508.8\rho^2$$

$$2508.8\rho^2 - 320\rho + 0.14$$

Untuk mencari angka ρ digunakan rumus abc :

$$\rho = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4a \times c}}{2a}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{320^2 - 4 \times 2508.8 \times 0.14}}{2 \times 2508.8}$$

$$\rho = \frac{320 - \sqrt{102400 - 1404.928}}{5017.6}$$

$$\rho = \frac{2.202}{5017.6}$$

$$\rho = 0.00044$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{min}):

$$\rho_{min} = \frac{0.15\sqrt{f'c}}{0.9 \times f_y} = \frac{0.15\sqrt{30}}{0.9 \times 400} = \frac{0.822}{360} = 0.0023$$

Rasio tulangan minimum (ρ_{max}):

$$\rho_{max} = 75\% \rho_b$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times f'c \times \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

Nilai β untuk nilai $f'c$ diatas 28 Mpa ditentukan (SNI 2847-2013)

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (f'c - 28) \right]$$

$$\beta = 0.85 - \left[\left(\frac{0.05}{0.7} \right) (30 - 28) \right]$$

$$\beta = 0.12$$

β tidak boleh kurang dari 0.65, $\beta = 0.65$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times 30 \times 0.65}{400} \times \frac{600}{600 + 400}$$

$$\rho_b = \frac{16.575}{400} \times \frac{600}{1000}$$

$$\rho_b = 0.025$$

$$\rho_{max} = 75\% \times 0.025 = 0.01875$$

$$\text{Cek : } \rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0.0023 < 0.00044 < 0.01875$$

ρ yang digunakan adalah $\rho = 0.0023$

Luas Tulangan perlu (As perlu): $As\ perlu = \rho \times b \times d$

$$As\ perlu = 0.0023 \times 1000 \times 1142 = 2626.6\ mm^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$As = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.062\ mm^2$$

$$n = \frac{As\ perlu}{As\ D16} = \frac{2626.6}{201.062} = 13.06$$

Jumlah tulangan = 14

$$s = \frac{b}{As\ perlu} As\ D16 = \frac{1000}{2626.6} 201.062 = 76.54\ mm$$

Agar jarak tulangan tidak terlalu rapat maka digunakan 2 tulangan

$$s = \frac{b}{As\ perlu} As\ D16 = \frac{1000}{2626.6} 201.062 \times 2 = 153.09\ mm$$

Jarak tulangan = 150 mm

$$n = \frac{As\ perlu}{As\ D16} = \frac{2626.6}{201.062 \times 2} = 6,53$$

Jumlah tulangan = 7

Dipakai tulangan = **2 x 7D16 - 150 mm**

As ada > As perlu

$$\left(\frac{1000}{100}\right) \times 201.06 \times 2 > 2626.6$$

$$2680.8\ mm^2 > 2626.6\ mm^2 \quad (OK)$$

Perhitungan Tulangan Bagi (Tulangan Memanjang)

$$As\ bagi = 50\% As\ ada = 50\% \times 2680.8 = 1340.4\ mm^2$$

Digunakan tulangan D16:

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2 = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ D16}} = \frac{1340.4}{201.062} = 6,66$$

Dipakai tulangan = **10 D16**

As ada > As perlu

$$10 \times 201.06 > 1340.4$$

$$2010.6 \text{ mm}^2 = 1340.4 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Maka, tulangan yang digunakan pada parapet adalah:

Parapet Tul. Pokok (arah Y) = 2 x 7D16 - 150 mm

Tul. Bagi (arah X) = 10 D16 mm

4.12 Pemodelan Software

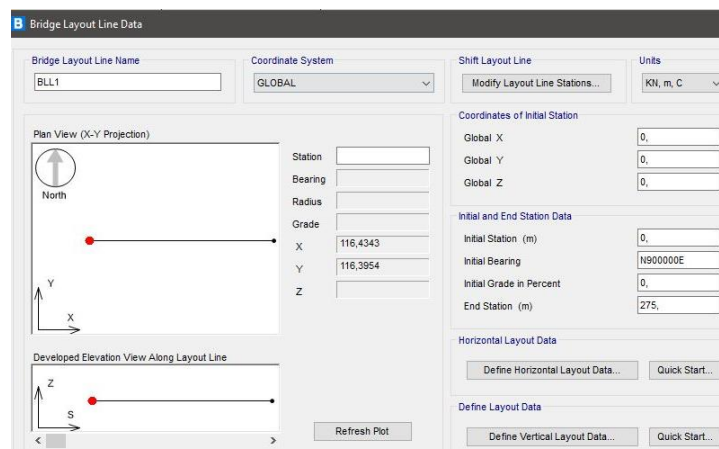
- 1) Define Material properties Concrete 40 MPa

Weight per unit volume = 25,5 kN/m³

Modulus of Elasticity, E = 35019.402 MPa = 35019402 kN/m²

Specified Concrete, f_c = 40 MPa = 40000 kN/m²

- 2) Define Bridge Layout, Total Spans = 275 m



Gambar 4. 28 Bridge Layout

3) Define Section properties Box Girder

Section Data

Item	Value
General Data	
Bridge Section Name	BSEC1
Material Property	40 MPa
Number of Interior Girders	0
Total Width	16.3
Total Depth	3.
Left Exterior Girder Bottom Offset (L3)	0.8
Right Exterior Girder Bottom Offset (L4)	0.8
Keep Girders Vertical When Superelevate? (Area & Solid Mode...)	No
Slab and Girder Thickness	
Top Slab Thickness (t1)	0.25
Bottom Slab Thickness (t2)	0.45
Exterior Girder Thickness (t3)	0.5
Fillet Horizontal Dimension Data	
f1 Horizontal Dimension	2.5
f2 Horizontal Dimension	2.5
f3 Horizontal Dimension	0.225
f4 Horizontal Dimension	2.
f5 Horizontal Dimension	2.

Girder Output

Modify/Show Girder Force Output Locations...

Modify/Show Properties

Materials... Frame Sects... Units: KN, m, C

Modify/Show Load Patterns

Load Patterns...

Convert To User Bridge Section

OK Cancel

Gambar 4. 29 Section Properties Box Girder

4) Define Parametric Variations untuk tiap span

Variation Definition

Variation Name: SPAN1

Units: KN, m, C

Variation Definition

Point ID	Segment Type and Point Type	Distance m	Dim. Change m	Slope m / m
1	Start of Variation	0.	0.	0.
2	Linear	18.5	0.	
3	Parabola End Point and Initial Slope	73.	3.	0.
4	Linear to End of Variation	77.5	3.	

Variation Sketch

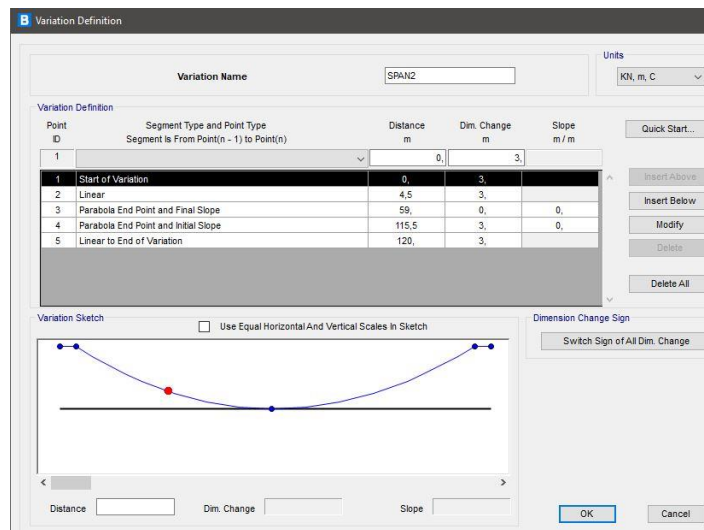
☐ Use Equal Horizontal And Vertical Scales in Sketch

Dimension Change Sign

Switch Sign of All Dim. Change

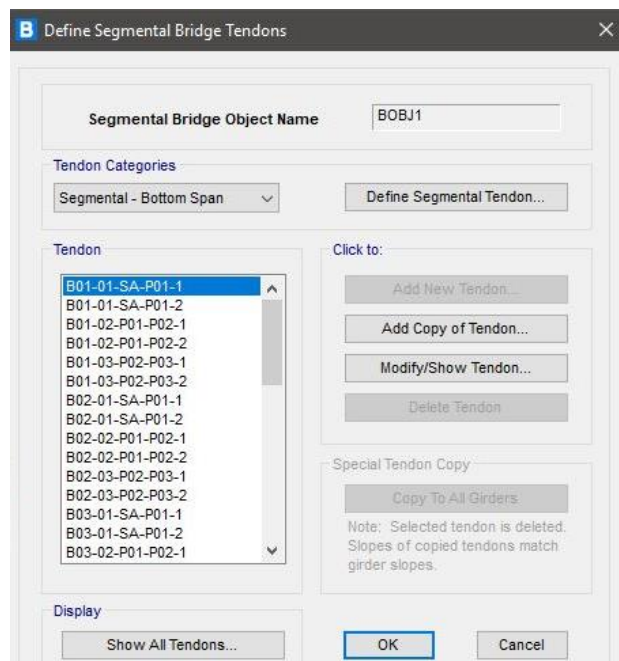
OK Cancel

Gambar 4. 30 Parametric Variations Span 77,5 m



Gambar 4. 31 Parametric Variations Span 120 m

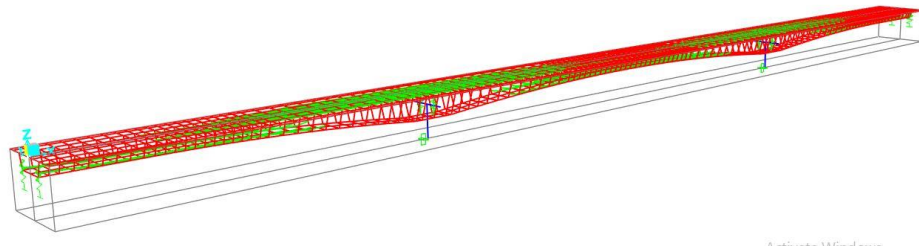
- 5) Define Layout Tendon Bottom dan Cantilever dan tendon properties sesuai ukurannya



Gambar 4. 32 Define Segmental Tendon

- 6) Assign Semua beban dan melakukan analisis dengan kombinasi beban sebagai berikut :

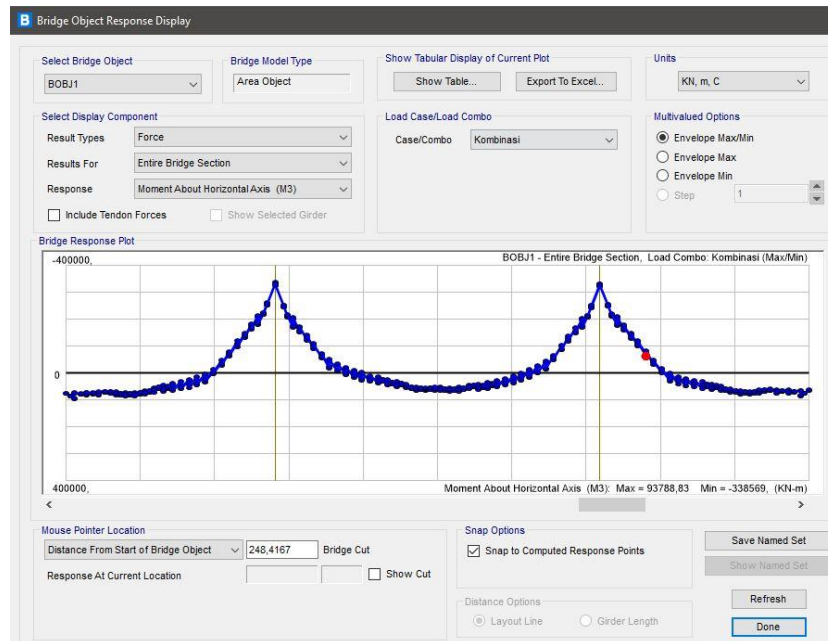
$$\text{Layan} = 1,2 \text{ DL} + 1,8 \text{ LL} + 0,4 \text{ EW} + \text{EQ}$$



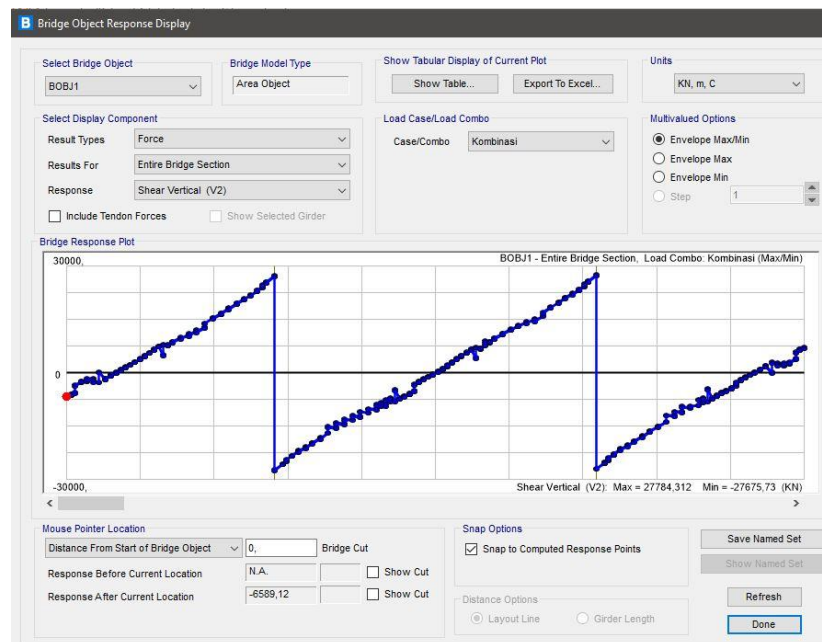
Gambar 4. 33 Jembatan Sebelum Deformasi



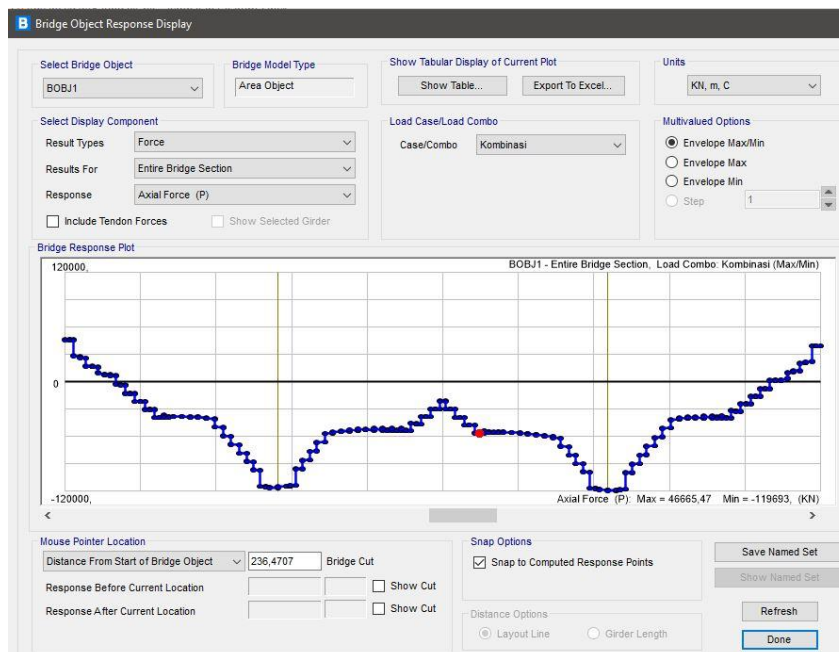
Gambar 4. 34 Jembatan Setelah Deformasi



Gambar 4. 35 Diagram Respon Momen Jembatan



Gambar 4. 36 Diagram Respon Gaya Geser Jembatan



Gambar 4. 37 Diagram Respon Gaya Normal Jembatan

Dari hasil penggunaan software CSI Bridge didapatkan nilai dari diagram respon jembatan sebagai berikut:

Tabel 4. 15 Tabel Nilai Gaya Respon Jembatan

Gaya	Nilai
Momen (kNm)	93788,83
Gaya Geser (kN)	27784,312
Gaya Normal (kN)	46665,47

4.13 Peninjauan Ultimate Box girder Prategang

Modulus elastis baja prategang (strands), $E_s = 190000 \text{ MPa}$

Jumlah total strands, $n_s \text{ span } 120 = 323$

$n_s \text{ span } 77.5 = 204$

Luas tampang nominal satu strand, $A_{st} = 0.0002 \text{ m}^2$

Tegangan leleh tendon baja prategang, $f_{py} = 1581 \text{ MPa}$

Luas tampang tendon baja prategang,

$A_{t \text{ span } 120} = 323 \times 0.0002 = 0.0646 \text{ m}^2$

$A_{t \text{ span } 77.5} = 204 \times 0.0002 = 0.0408 \text{ m}^2$

Kuat tekan beton $f_c = 40 \text{ MPa}$

Titik berat atas, $C_a = 0,902 \text{ m}$

Eksentrisitas tendon, $e_s = 1,898 \text{ m}$

Lebar box girder, $b = 16,3 \text{ m}$

Tinggi efektif box girder,

$d = C_a + e_s = 0,902 + 1,898 = 2,8 \text{ m}$

Rasio luas penampang baja prategang,

$$\rho_{p \text{ span } 120} = \frac{0.0646}{16,3 \times 2,8} = 0,0014$$

$$\rho_{p \text{ span } 77,5} = \frac{0.0408}{16,3 \times 2,8} = 0,0009$$

Untuk baja Low Relaxation, $\gamma_p = 0,4$

Untuk $f'_c = 40 \text{ MPa} > 30 \text{ MPa}$ maka nilai:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,08 \left(\frac{f'_c - 30}{10} \right) = 0,85 - 0,08 \left(\frac{40 - 30}{10} \right) = 0,77$$

Tegangan batas prategang (fps) pada keadaan ultimate

$$fps = f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_p \times \rho_p \times f_{pu}}{\beta_1 \times f'_c} \right]$$

$$fps \text{ span } 120 = 1860 \left[1 - \frac{0,4 \times 0,0014 \times 1860}{0,77 \times 40} \right] = 1797,1 \text{ MPa}$$

$$fps \text{ span } 77,5 = 1860 \left[1 - \frac{0,4 \times 0,0009 \times 1860}{0,77 \times 40} \right] = 1819,6 \text{ MPa}$$

$$fps > 0,65 f_{pu} = 1581 \text{ MPa}$$

Maka dipakai $fps = 1581 \text{ MPa}$

Cek daktilitas penampang

$$\omega_{p \text{ span } 120} = \frac{\rho_p \times fps}{f'_c} = \frac{0,0014 \times 1581}{40} = 0,055$$

$$\omega_{p \text{ span } 77,5} = \frac{\rho_p \times fps}{f'_c} = \frac{0,0009 \times 1581}{40} = 0,035$$

$$\omega_p < 0,36 \times \beta_1 = 0,2272 \quad (\text{OK})$$

Tinggi blok tekan,

$$a \text{ span } 120 = \frac{A_t \times fps}{(0,85 \times f'_c \times b)} = \frac{0.0646 \times 1581}{(0,85 \times 40 \times 16,3)} = 0,184 \text{ m}$$

$$a \text{ span } 77,5 = \frac{A_t \times f_{ps}}{(0,85 \times f_c \times b)} = \frac{0,0408 \times 1581}{(0,85 \times 40 \times 16,3)} = 0,116 \text{ m}$$

Momen nominal,

$$\begin{aligned} M_n \text{ span } 120 &= A_t \times f_{ps} \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,0646 \times 1581 \left(2,8 - \frac{0,184}{2} \right) \\ &= 276575,08 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ span } 77,5 &= A_t \times f_{ps} \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0,0408 \times 1581 \left(2,8 - \frac{0,116}{2} \right) \\ &= 176872,16 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\phi = 0,8$

Kapasitas momen ultimate box girder

$$M_u \text{ span } 120 = 0,8 \times 276575,08 = 221260,064 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ span } 77,5 = 0,8 \times 176872,16 = 141497,728 \text{ kNm}$$

Kontrol momen kapasitas,

$$M_u > 93788,83 \text{ kNm} \quad \textbf{(OK)}$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada akhir penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “*Peninjauan Ulang Struktur Atas (Segmental Box Girder Dengan Lebar 16.3 M) Jembatan Citarum Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek Ii Selatan Paket 3 Dengan Menggunakan Software Csi Bridge Dan Sap 2000 V14*”, penulis dapat menarik kesimpulan sebagai berikut :sebagai berikut:

1. Perhitungan struktur atas pada jembatan ini menggunakan referensi, yaitu:
 - a. Standar Nasional Indonesia (SNI 1725:2016)
 - b. Standar Nasional Indonesia (RSNI T-02-2005)
 - c. Standar Nasional Indonesia (RSNI T-12-2004)
 - d. Standar Nasional Indonesia (SNI 2833:2016)
 - e. Perencanaan Jembatan Direktorat Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga
 - f. Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga
 - g. Perencanaan Box Girder Prategang Struktur Atas Fly Over Simpang Air Hitam Samarinda oleh Muhammad Fadli Karramal.

- h. Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar karya Edward G. Nawy
 - i. Desain Struktur Prategang karya TY Lin dan Ned H. Burn.
 - j. Review DED Jembatan Citarum
2. Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis membatasi pada perhitungan pada Box Girder, Plat Injak, dan Parapet pada Jembatan Citarum.
 3. Mutu beton = K-500, mutu beton struktur sekunder = K-300. mutu baja = 400 Mpa
 4. Dimensi box girder direncanakan lebar:16,3 m, tinggi = 6 m, tebal: slab atas = 0,25 m, web = 0,5 m, slab bawah = 0,45 m.
 5. Digunakan 17 strands/tendon dengan tendon bottom berjumlah 18 tendon span 120 m dan 12 tendon span 77,5 m serta tendon kantilever berjumlah 38 tendon
 6. *Loss of prestress* span 120 m berjumlah 39,5% dan span 77,5 m berjumlah 32,1%
 7. Dipakai tulangan dengan 11 D19 mm untuk bursting force bottom dan tulangan dengan 9 D25 mm untuk bursting force cantilever.
 8. Digunakan tulangan box girder :

Tulangan yang digunakan pada slab atas adalah:

Daerah Tumpuan	Tul. Pokok (arah Y) = D19 - 150 mm
	Tul. Bagi (arah X) = D16 - 150 mm
Daerah Lapangan	Tul. Pokok (arah Y) = D16 - 150 mm
	Tul. Bagi (arah X) = D13 - 150 mm

Tulangan yang digunakan pada slab bawah adalah:

Daerah Tumpuan	Tul. Pokok (arah Y)	= D16 - 150 mm
	Tul. Bagi (arah X)	= D13 - 150 mm
Daerah Lapangan	Tul. Pokok (arah Y)	= D16 - 150 mm
	Tul. Bagi (arah X)	= D13 - 150 mm
Daerah Web	Tul. Pokok (arah Y)	= D16 - 100 mm
	Tul. Bagi (arah X)	= D16 - 200 mm

9. Tulangan yang digunakan pada plat injak adalah:

Plat Injak	Tul. Pokok (arah Y)	= D16 - 100 mm
	Tul. Bagi (arah X)	= D16 - 150 mm

10. Tulangan yang digunakan pada parapet adalah:

Parapet	Tul. Pokok (arah Y)	= 2 x 7D16 - 150 mm
	Tul. Bagi (arah X)	= 10 D16 mm

5.2 Saran

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis masih banyak kekurangan maka dari itu diperlukan adanya hal – hal yang perlu diperhatikan dalam penyusunan tugas akhir, seperti:

1. Dalam merencanakan bentuk penampang segmen perlu diperhatikan dimensi slab dan web, karena akan sangat berpengaruh terhadap beban yang bekerja, tata letak tendon, dan kapasitas penampang.
2. Perlu dilakukan kontrol yang teliti pada setiap segmen terhadap tegangan dan lendutan yang terjadi pada penampang terhadap tegangan dan lendutan yang diijinkan.

3. Dalam perhitungan Box Girder seharusnya diperlukan data-data lingkungan yang lebih lengkap.
4. Diperlukan software pembanding dalam perhitungan terhadap pembebanan yang terjadi, seperti menggunakan software MIDAS, ataupun yang lainnya.
5. Diperlukan referensi – referensi yang lain dalam perhitungan untuk mendukung keakuratan dalam perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asriyanto. 2005. Metode Konstruksi Jembatan Beton,. Jakarta. Universitas Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. Standar Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. Standar Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. Perencanaan jembatan terhadap beban gempa. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Direktorat Jembatan. Pengantar Perencanaan Jembatan. Jakarta. Direktorat Jenderal Bina Marga..
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2011, Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan untuk Jembatan. Jakarta. Direktorat Jenderal Bina Marga
- Karramal, M. Fadli. 2016. Perencanaan Box Girder Prategang Struktur Atas Fly Over Simpang Air Hitam Samarinda
- Lin, T.Y, dan Burns, H. 1982. Desain Struktur Beton Prategang, Jakarta. Erlangga.

- Mona, Ida Bagus Putra M. 2019. Perencanaan Struktur Atas Jembatan Box Girder Dengan Menggunakan Beton Pracetak Di Desa Pondoknongko Kabupaten Banyuwangi. Jember. Universitas Jember.
- Nawy, Edward G., Bambang Suryoatmono. 2000. Beton Prategnag Suatu Pendekatan Mendasar Edisi Ketiga Jilid I. Jakarta. Erlangga



PSD III TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS

TUGAS AKHIR

DIGAMBAR

MUHAMMAD RAHMATULLAH

DOSEN PEMBIMBING

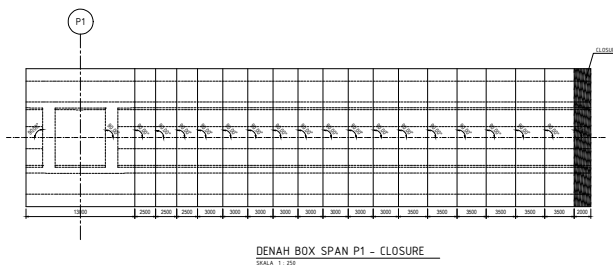
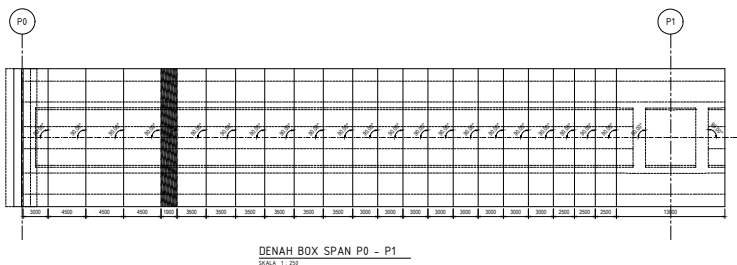
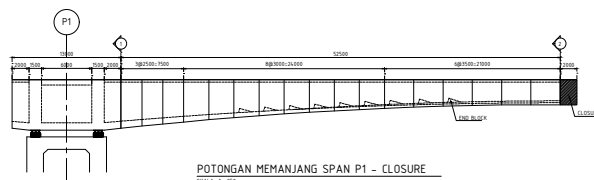
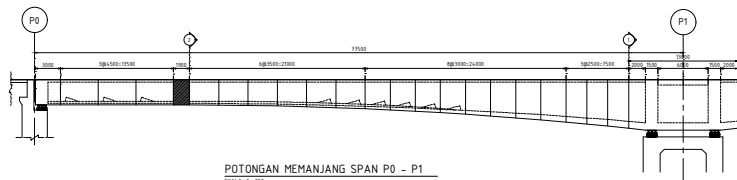
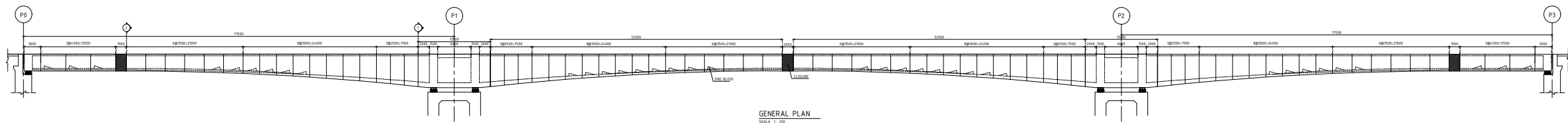
ASRI NURDIANA ST, MT.

GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG DAN DENAH BOX
GIRDER SPAN P1 - CLOSURE

SKALA

1 : 250





PSD III TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS

TUGAS AKHIR

DIGAMBAR

MUHAMMAD RAHMATULLAH

DOSEN PEMBIMBING

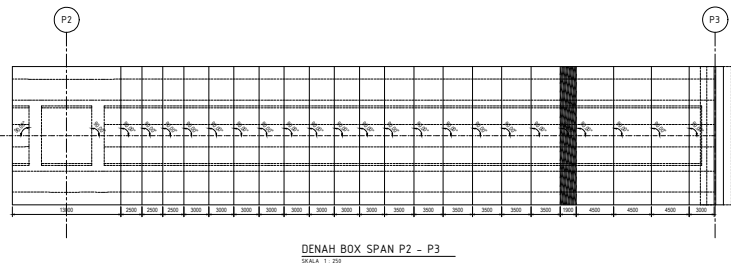
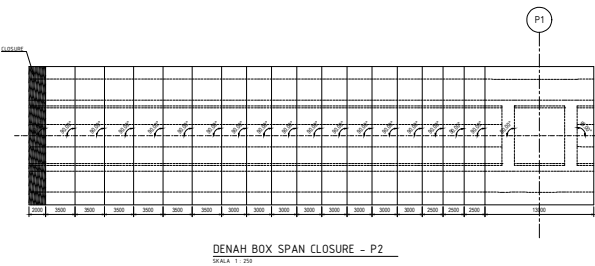
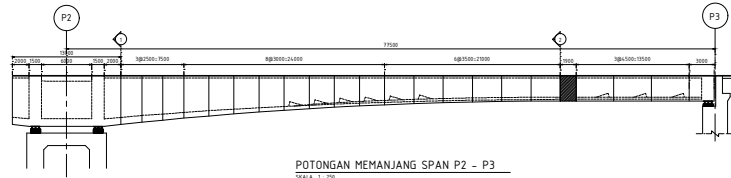
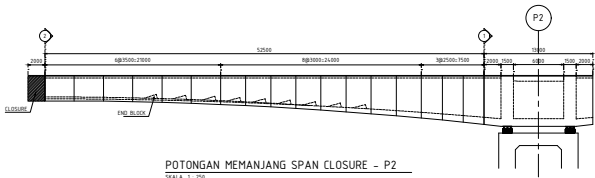
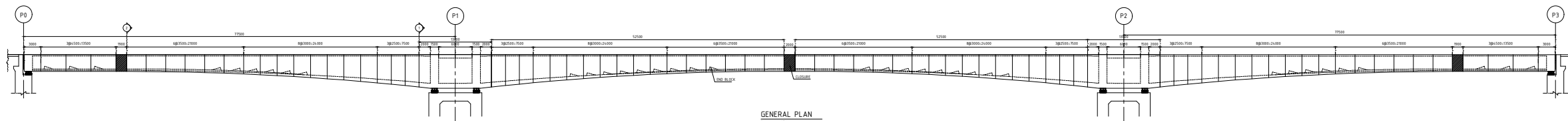
ASRI NURDIANA ST, MT.

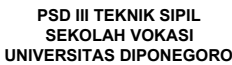
GAMBAR

POTONGAN MEMANJANG DAN DENAH BOX
GIRDER SPAN CLOSURE - P3

SKALA

1 : 250





Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS

DIGAMBAR

DOSEN PEMBIMBING

GAMBAR

SKALA

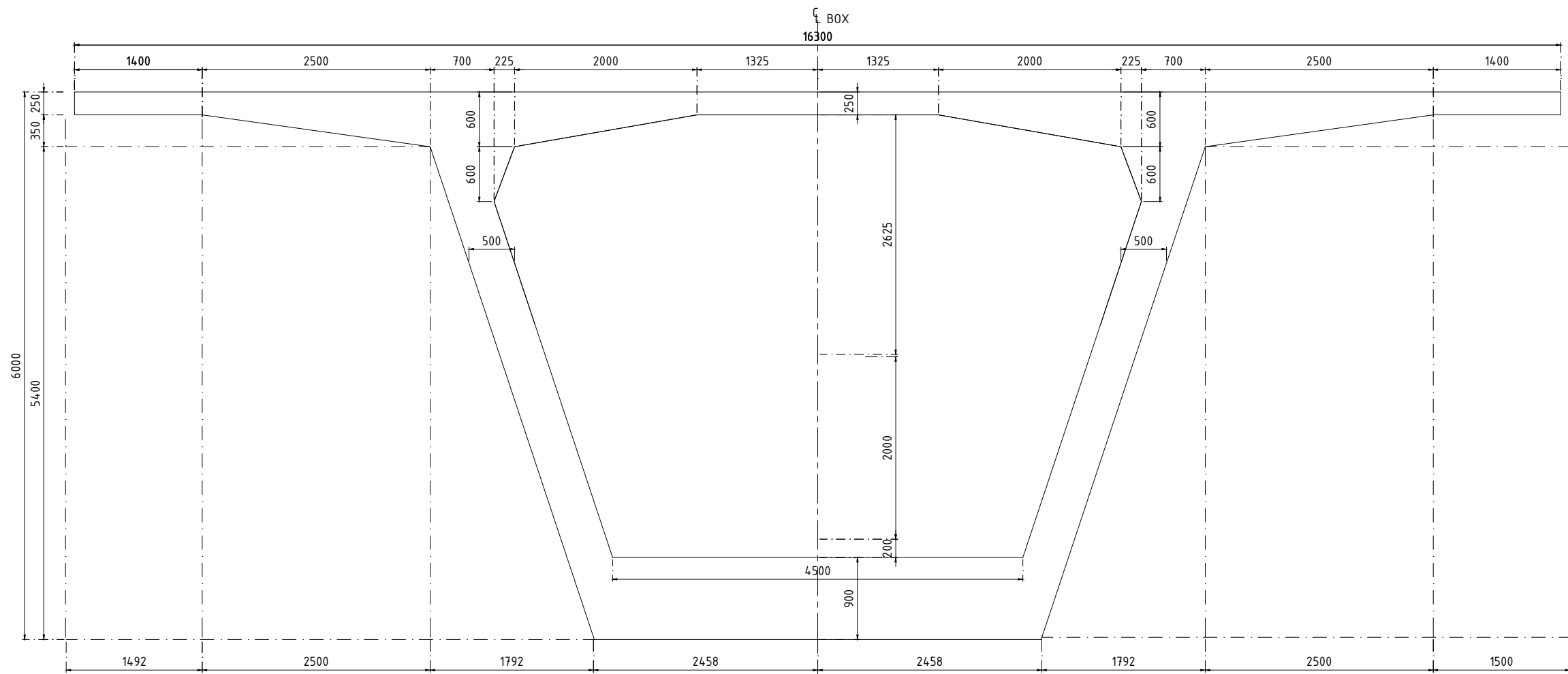
TUGAS AKHIR

MUHAMMAD RAHMATULLAH

ASRI NURDIANA ST, MT.

DETAIL DIMENSI BOX GIRDER

1 : 50



POTONGAN - 1

SKALA 1 : 50



PSD III TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS

DIGAMBAR

DOSEN PEMBIMBING

GAMBAR

SKALA

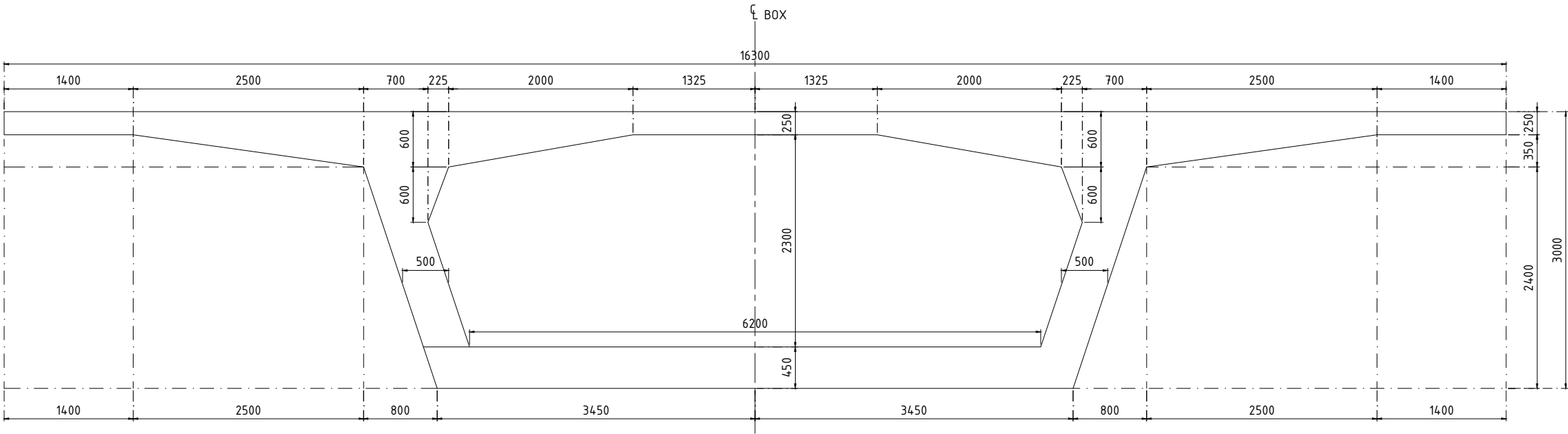
TUGAS AKHIR

MUHAMMAD RAHMATULLAH

ASRI NURDIANA ST, MT.

DETAIL DIMENSI BOX GIRDER

1 : 50



POTONGAN - 2

SKALA 1 : 50



PSD III TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS

DIGAMBAR

DOSEN PEMBIMBING

GAMBAR

SKALA

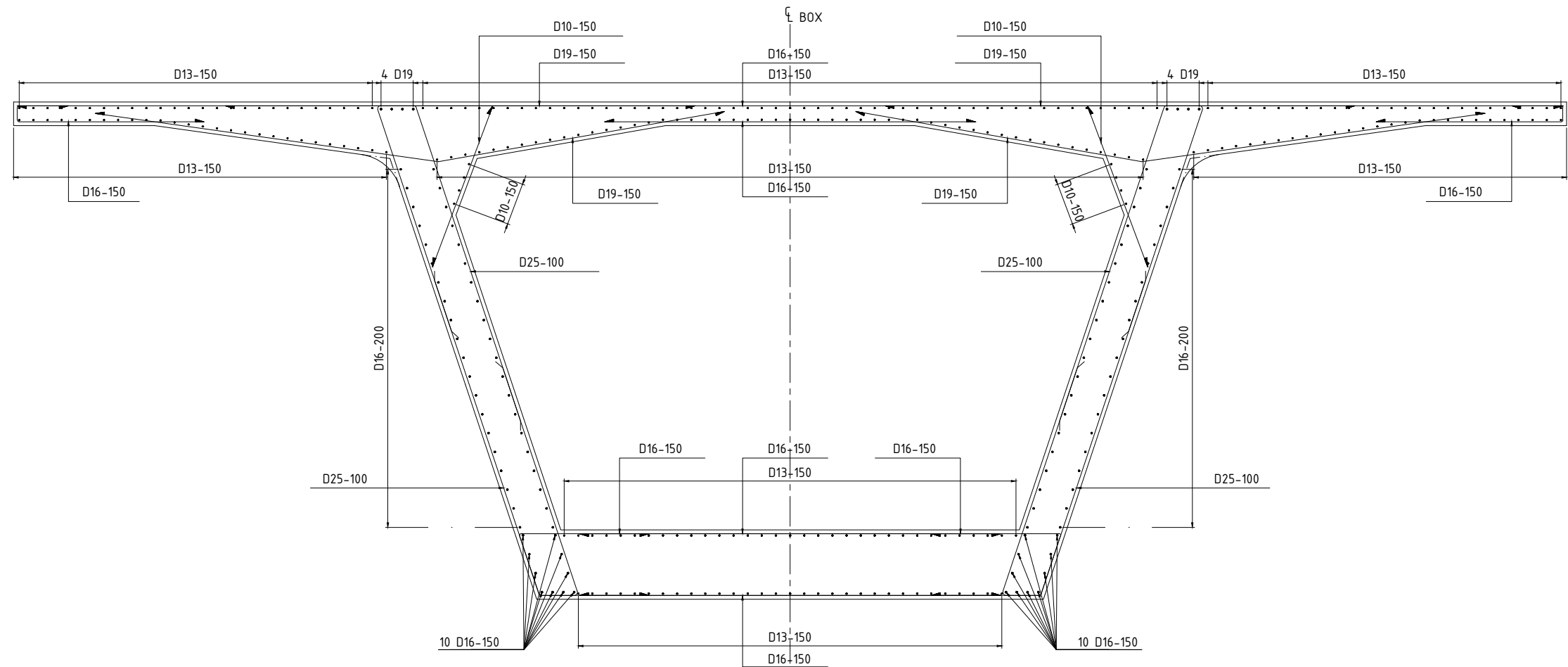
TUGAS AKHIR

MUHAMMAD RAHMATULLAH

ASRI NURDIANA ST, MT.

DETAIL PENULANGAN
SEGMENT BOX GIRDER

1 : 50



DETAIL PENULANGAN POTONGAN - 1

SKALA 1 : 50



PSD III TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS

DIGAMBAR

DOSEN PEMBIMBING

GAMBAR

SKALA

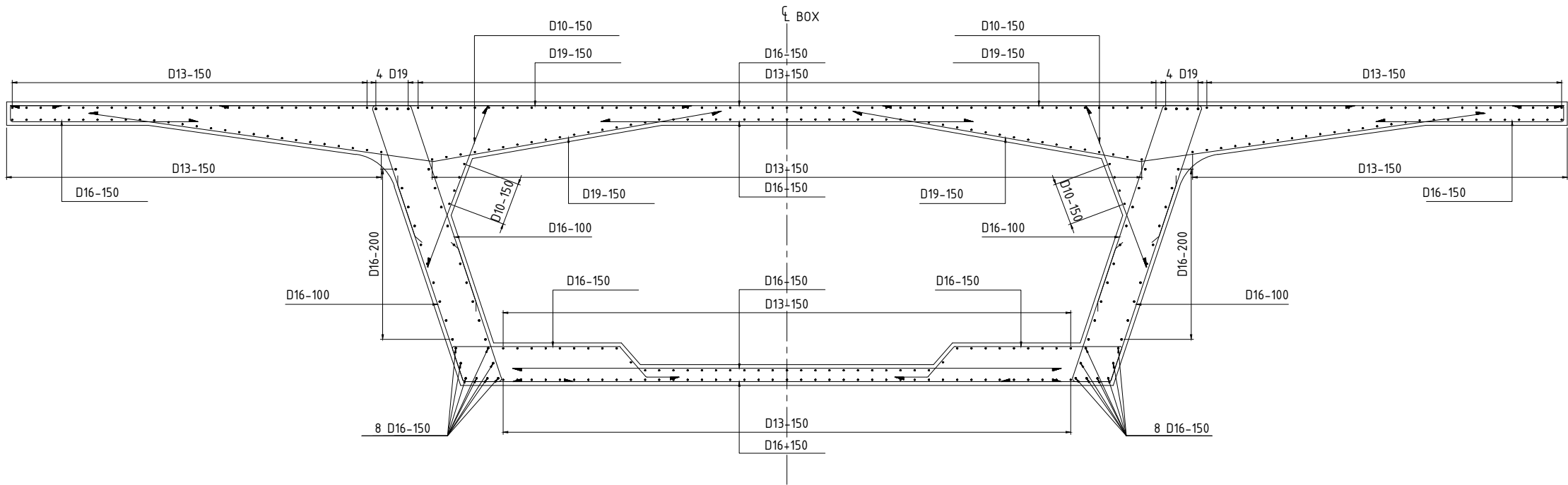
TUGAS AKHIR

MUHAMMAD RAHMATULLAH

ASRI NURDIANA ST, MT.

DETAIL PENULANGAN
SEGMENT BOX GIRDER

1 : 50



DETAIL PENULANGAN POTONGAN - 2

SKALA 1 : 50



Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS

DIGAMBAR

DOSEN PEMBIMBING

GAMBAR

SKALA

TUGAS AKHIR

MUHAMMAD RAHMATULLAH

ASRI NURDIANA ST, MT.

TENDON SECTION DAN DETAIL BURSTING STEEL

1 : 50



SKALA 1 : 50





Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS

DIGAMBAR

DOSEN PEMBIMBING

GAMBAR

SKALA

TUGAS AKHIR

MUHAMMAD RAHMATULLAH

ASRI NURDIANA ST, MT.

TENDON SECTION DAN DETAIL BURSTING STEEL

1 : 50



SKALA 1 : 50





PSD III TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS

DIGAMBAR

DOSEN PEMBIMBING

GAMBAR

SKALA

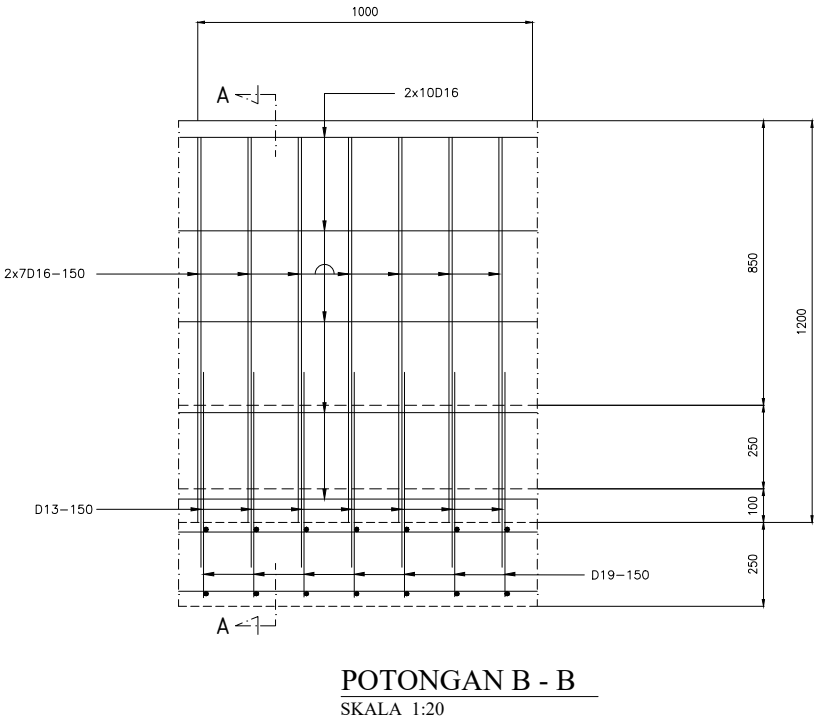
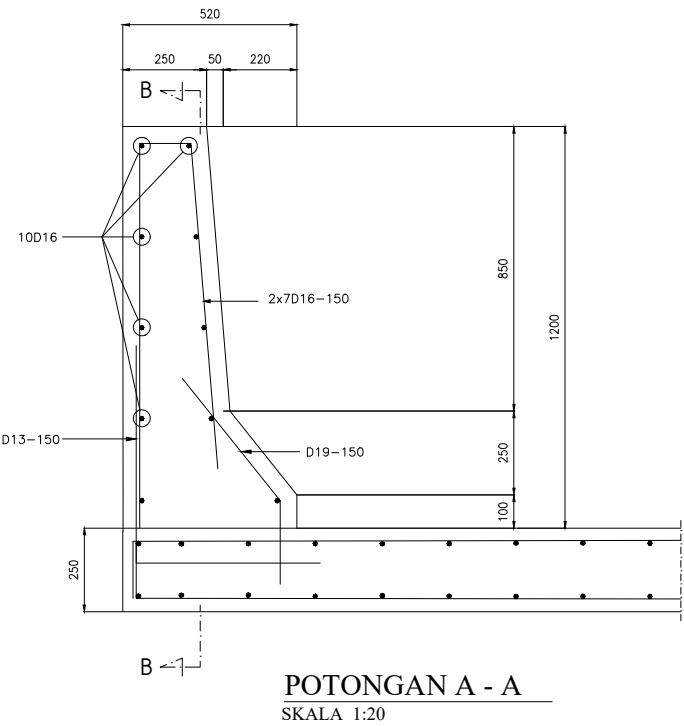
TUGAS AKHIR

MUHAMMAD RAHMATULLAH

ASRI NURDIANA ST, MT.

DETAIL PARAPET

1 : 20

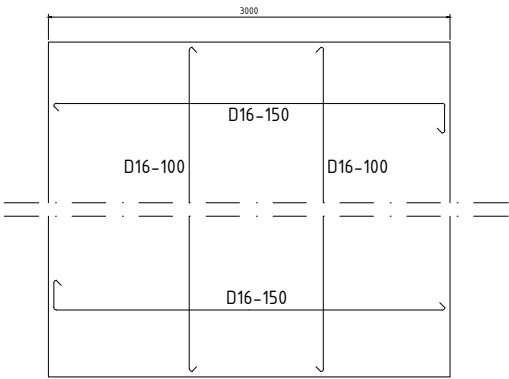




PSD III TEKNIK SIPIL
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO

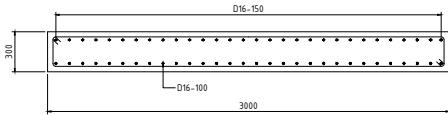
Peninjauan Ulang Struktur Atas Jembatan Citarum
Proyek Pembangunan Jalan Tol Jakarta-Cikampek II Selatan Paket 3

TUGAS	DIGAMBAR	DOSEN PEMBIMBING	GAMBAR	SKALA
TUGAS AKHIR	MUHAMMAD RAHMATULLAH	ASRI NURDIANA ST, MT.	DETAIL PLAT INJAK	1 : 50



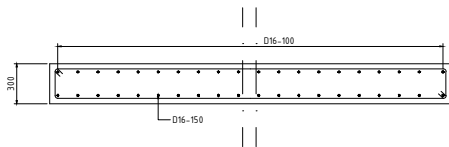
TAMPAK ATAS PLAT INJAK

SKALA 1 : 50



TAMPAK SAMPING PLAT INJAK

SKALA 1 : 50



TAMPAK DEPAN PLAT INJAK

SKALA 1 : 50