



TUGAS AKHIR
PENINJAUAN ULANG STRUKTUR ATAS RAMP 2.2
ELEVATED MM2100 PADA PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN TOL CIMANGGIS – CIBITUNG SEKSI II

Oleh:

ONGKO WITJAKTOMO ABIYOGA
40030118060073

Diajukan Sebagai
Salah Satu Syarat Menyelesaikan Studi Diploma III Teknik Sipil
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL

SEKLOLAH 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 : ONGKO WITJAKTOMO ABIYOGA

NIM : 40030118060073

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS

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

Nama : Ongko Witjaktomo Abiyoga
NIM : 40030118060073
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 Ramp 2.2 Elevated MM2100 pada Pembangunan Jalan Tol Cimanggis – Cibitung Seksi II”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti / non eksekutif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media / 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
Pada Tanggal

Yang menyatakan

(Ongko Witjaktomo Abiyoga)
NIM. 40030118060073

HALAMAN PENGESAHAN



TUGAS AKHIR

**“PENINJAUAN ULANG STRUKTUR ATAS RAMP 2.2 ELEVATED
MM2100 PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL CIMANGGIS –
CIBITUNG SEKSI II”**

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disahkan pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 3 November 2021

Disusun oleh:

Ongko Witjaktomo Abiyoga 40030118060073

Dosen Pembimbing

Riza Susanti, S.T., M.T.
NIP. 198905202019032021

Mengetahui,
Ketua Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro

Asri Nurdiana, ST, MT.
NIP. 198512092012122001

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya, Laporan Tugas Akhir: *“Peninjauan Ulang Struktur Atas Ramp 2.2 Elevated MM2100 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cimanggis – Cibitung Seksi II”* dapat terselesaikan dengan baik secara tepat waktu. Laporan ini penulis susun dalam rangka memenuhi salah satu mata kuliah Tugas Akhir Jurusan DIII Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Selama menjalani penulisan laporan ini, penulis telah menerima berbagai masukan dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan demikian, penulis mengucapkan banyak terima kasih pada:

1. Ibu Asri Nurdiana, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Sipil Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
2. Ibu Riza Susanti, ST. MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Keluarga yang tak henti-hentinya memanjatkan do’a, memberi masukan dan semangat selama ini.
4. Teman – teman D III Teknik Sipil Angkatan 2018 tercinta yang selalu mendoakan, menyemangati, membantu mengerjakan, dan menghibur dikala hampir putus asa.
5. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebut satu persatu yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

Penulis menyadari dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan tentu saja jauh dari sempurna, karena keterbatasan kemampuan penulis. Untuk itu, penulis selalu terbuka menerima saran dan kritik yang membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini dan juga untuk kebaikan dimasa yang akan datang sehingga dapat bermanfaat bagi semua pihak.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	I
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	II
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPERLUAN AKADEMIS.....	III
HALAMAN PENGESAHAN.....	IV
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI.....	VI
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.3 Ruang Lingkup Penulisan	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II.....	4
2.1 Uraian Umum	4
2.2.1 Jalan Tol.....	4
2.2.2 Definisi Jembatan.....	5
2.2.3 Bangunan Bawah (<i>Sub Structure</i>).....	5
2.2.4 Bangunan Atas (<i>Upper Structure</i>)	6
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Beban Primer.....	8
2.2.2 Beban Sekunder	12
2.2.3 Beban khusus	17
2.2.4 Penyebaran Gaya (Distribusi Beban).....	19
2.2.5 Kombinasi Pembebanan.....	22
2.2.6 Syarat Ruang Bebas	24
2.2.7 Penggunaan Beban Hidup Tidak Penuh.....	25
BAB III	26
3.1 Objek Penelitian	26
3.2 Data Umum Proyek.....	27

3.2.1	Data Proyek.....	27
3.2.2	Informasi Jembatan Ramp 2.2 MM2100	28
3.3	Metode Penelitian.....	28
3.3.1	Studi Literatur	30
BAB IV ANALISIS DAN PERENCANAAN STRUKTUR.....		31
4.1	Data Konstruksi.....	31
4.2	Peninjauan Ulang Analisis Girder pada Bentang 30,35 m.....	31
4.2.1	Data Jembatan	31
4.2.2	Mutu Beton	33
4.2.3	Baja Prategang	33
4.2.4	Section Properties PC-I Girder.....	34
4.3	Perhitungan Beban Konstruksi.....	37
4.3.1	Beban Mati	37
4.3.2	Beban Mati Tambahan	38
4.3.3	Beban Lalu Lintas	39
4.3.4	Gaya Rem (TB).....	41
4.3.5	Beban Angin (EW).....	43
4.3.6	Pengaruh Temperatur (ET)	44
4.3.7	Beban Gempa (EQ)	44
4.3.8	Resume Beban.....	46
4.4	Perhitungan Momen	47
4.4.1	Balok Precast.....	47
4.4.2	Plat Lantai dan Parapet.....	48
4.4.3	Beban Diafragma	50
4.4.4	Beban Aspal dan Air	51
4.4.5	Beban Lalu Lintas D	52
4.4.6	Beban Lalu Lintas T.....	53
4.4.7	Gaya Rem (TB).....	54
4.4.8	Pengaruh Temperatur (ET)	55
4.4.9	Beban Angin (EW).....	56
4.4.10	Beban Gempa (EQ).....	57

4.4.11	Resume Perhitungan Momen	58
4.4.12	Resume Perhitungan Gaya Lintang.....	59
4.5	Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon.....	60
4.5.1	Kondisi Awal (Saat Transfer)	60
4.5.2	Kondisi Akhir.....	61
4.5.3	Posisi Tendon	63
4.6	Lintasan Inti Tendon (Cable).....	65
4.6.1	Sudut Angkur	66
4.6.2	Letak Tendon	66
4.7	Kehilangan Tegangan (Loss of Prestress) pada Kabel	68
4.7.1	Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur (<i>Anchorage Friction</i>).....	68
4.7.2	Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Cable (Jack Friction)	68
4.7.3	Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis (Elastic Shortening).....	69
4.7.4	Kehilangan Tegangan Akibat Pengangkuran (Anchoring)	71
4.7.5	Kehilangan Tegangan Akibat Relaxation of Tendon.....	72
4.8	Tegangan yang Terjadi Pada Penampang Balok	77
4.8.1	Pada Keadaan Awal (Saat Transfer)	77
4.8.2	Keadaan setelah loss of prestress	78
4.8.3	Keadaan setelah plat lantai selesai dicor (beton muda)	79
4.8.4	Keadaan setelah plat dan balok menjadi komposit	80
4.9	Kontrol Lendutan Balok	81
4.9.1	Lendutan Pada Balok <i>Prestress</i> (Sebelum Komposit).....	81
4.9.2	Lendutan Pada Balok Komposit.....	83
4.9.3	Kontrol Lendutan Terhadap Kombinasi Beban	88
4.10	Perhitungan End Block.....	90
4.10.1	Perhitungan Sengkang Untuk Bursting Force.....	91
4.10.2	Jumlah Sengkang Yang Digunakan Untuk Bursting Force	93
4.11	Perhitungan Balok Diafragma	94
4.11.1	Diafragma Tengah.....	94

4.11.2	Diafragma Tepi	97
4.12	Perhitungan Shear Connector	101
4.12.1	Kekuatan 1 buah Studs <i>Shear Connector</i>	101
4.12.2	Menghitung Jarak dan Jumlah Angkur	101
4.13	Perhitungan Decks slab atau Plat Lantai Kendaraan	102
4.13.1	Perhitungan Beban Plat Lantai	102
4.13.2	Penulangan Plat	104
4.13.3	Kontrol Geser Pons	106
4.14	Perhitungan Parapet	108
4.14.1	Perhitungan Beban Parapet	108
4.14.2	Penulangan Parapet	110
BAB V	PENUTUP	112
5.1	Kesimpulan	112
5.2	Saran	113

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan jalan tol adalah salah satu upaya pemerintah untuk mengurangi kemacetan yang terjadi di Indonesia. Pembangunan jalan tol ini merupakan salah satu mega proyek yang dibangun Pemerintah Republik Indonesia di Jakarta dalam kerangka Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) periode 2011-2025. Pembangunan jalan tol sepanjang 26,47 km ini direncanakan dengan proses pembangunan yang dilaksanakan secara bertahap dan dibagi menjadi beberapa seksi pekerjaan. (Sumaryoto, 2010)

Konstruksi jembatan adalah suatu konstruksi bangunan pelengkap sarana transportasi jalan yang menghubungkan suatu tempat ke tempat lainnya, yang dapat dilintasi oleh sesuatu benda bergerak misalnya suatu lintas yang terputus akibat suatu rintangan atau sebab lainnya, dengan cara melewati rintangan tersebut tanpa menimbun/menutup rintangan itu dan apabila jembatan terputus maka lalu lintas akan terhenti. Lintas tersebut bisa merupakan jalan kendaraan, jalan kereta api atau jalan pejalan kaki, sedangkan rintangan tersebut dapat berupa jalan kendaraan, jalan kereta api, sungai, lintasan air, lembah atau jurang. (Saputra, 2017)

Jembatan adalah jenis bangunan yang apabila akan dilakukan perubahan konstruksi, tidak dapat dimodifikasi secara mudah, biaya yang diperlukan relatif mahal dan berpengaruh pada kelancaran lalu lintas pada saat pelaksanaan pekerjaan. Jembatan dibangun dengan umur rencana 100 tahun untuk jembatan besar, minimum jembatan dapat digunakan 50 tahun. Ini berarti, disamping kekuatan dan kemampuan untuk melayani beban lalu lintas, perlu diperhatikan juga bagaimana pemeliharaan jembatan yang baik. (Nailenda Retsanie, 2019)

Jembatan yang berfungsi sebagai fasilitas umum, maka dalam perencanaan harus memperhatikan faktor keamanannya. Dalam hal ini yaitu

ketelitian dalam pembebanan, kegunaan struktur dan letak atau lokasi jembatan yang akan didirikan. Pemilihan ukuran dari elemen struktur yang tepat sehingga beban-beban yang bekerja dapat dipikul secara aman dan masih dalam batas yang disyaratkan. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis membuat judul **“Peninjauan Ulang Struktur Atas Ramp 2.2 Elevated MM2100 Proyek Pembangunan Jalan Tol Cimanggis – Cibitung Seksi II”** Sebagai judul laporan Tugas Akhir.

1.2 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah meninjau ulang struktur atas Ramp 2.2 Elevated MM2100 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cimanggis – Cibitung Seksi II dengan bentang 30,35 m.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Meninjau ulang pembebanan pada struktur atas.
2. Meninjau ulang perhitungan girder.
3. Meninjau ulang perhitungan diafragma.
4. Meninjau ulang perhitungan deckslab.
5. Meninjau ulang perhitungan parapet.

1.3 Ruang Lingkup Penulisan

Ruang lingkup pada tugas akhir ini adalah peninjauan ulang struktur atas Ramp 2.2 Elevated MM2100 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cimanggis – Cibitung Seksi II bentang 30,35 m yang menggunakan perhitungan manual meliputi pembebanan pada struktur (beban mati, beban hidup, beban mati tambahan) yang mengacu pada pembebanan Standar Nasional Indonesia (SNI).

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan penyajian bentuk laporan Tugas Akhir ini adalah dengan gambar kerja yang dituangkan dalam membagi beberapa bagian yang terdiri dari:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar-dasar teori yang digunakan dalam penyusunan perhitungan pada Tugas Akhir.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang metode yang digunakan dalam pembuatan Tugas Akhir.

BAB IV ANALISA DAN PERENCANAAN STRUKTUR

Berisi perhitungan pembebanan, peninjauan ulang struktur atas.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uraian Umum

Jalan merupakan suatu prasarana perhubungan darat dalam bentuk apapun meliputi bagian jalan termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas. (UU No. 13 Tahun 1980). Klasifikasi jalan menurut fungsinya terbagi atas :

1. Jalan Arteri

Jalan utama yang melayani lalu lintas padat suatu daerah dengan ciri-ciri kecepatan rata-rata tinggi dan digunakan untuk perjalanan jarak jauh.

2. Jalan Kolektor

Jalan kolektor melayani transportasi darat pengumpul maupun pembagi dengan ciri-ciri kecepatan rata-rata sedang dan jarak perjalanan tidak terlalu jauh atau sedang.

3. Jalan Lokal

Jalan lokal melayani transportasi darat setempat dengan ciri khasnya kecepatan rata-rata rendah dan perjalanan jarak dekat.

2.2.1 Jalan Tol

Jalan Tol merupakan jalan khusus untuk kendaraan roda 4 yang penggunaannya dikenakan kewajiban membayar tol dan merupakan jalan alternatif menuju daerah perkotaan dengan kecepatan rata-rata yang tinggi. Tujuan pembuatan jalan tol adalah mempercepat, mempermudah, dan memperlancar pengguna jalan untuk menuju lokasi tertentu dan mempermudah dalam akses distribusi barang pada suatu daerah. Dalam mencapai tujuan tersebut, memberi pelayanan kemudahan berupa waktu pelayanan gardu tol yang singkat, waktu tempuh antar daerah yang efisien, fasilitas memadai, kualitas

kerataan jalan yang baik, dan mengurai kemacetan pada jalan utama. (UU No.38 Tahun 2004).

2.2.2 Definisi Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi atau struktur bangunan yang menghubungkan rute yang terpisah baik oleh rawa, danau, selat, jalan raya, jalan kereta api, dan perlintasan lainnya. Dengan tujuan menghubungkan jalur transportasi tersebut untuk peningkatan kesejahteraan dalam perekonomian, pendidikan, sosial, kesehatan hingga budaya, sehingga menyebabkan tingkat arus lalu lintas semakin meningkat dari desa ke kota maupun sebaliknya. Pembangunan ini diharapkan mampu mendorong pemerintah daerah maupun pusat dalam mengembangkan fasilitas yang menunjang kebutuhan rakyatnya, sehingga tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara masyarakat desa dengan masyarakat kota. (Asiyanto, 2008)

Pembangunan jembatan merupakan salah satu usaha untuk meningkatkan transportasi di suatu daerah, sehingga mempermudah mobilisasi warga masyarakat untuk semakin berkembang. Konstruksi jembatan terdiri dari *sub structure* (bangunan bawah) dan *upper structure* (bangunan atas).

2.2.3 Bangunan Bawah (*Sub Structure*)

Menurut Asiyanto, 2008, Sub Structure merupakan bagian vital dari jembatan salah satu bagian dari konstruksi jembatan yang berdiri diatas pondasi penyangga dari bangunan atas. Struktur bawah jembatan berfungsi menahan seluruh beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air, dan hanyutan, gesekan pada tumpuan dan sebagainya. Struktur bawah jembatan meliputi:

1. Pondasi

Pondasi adalah struktur paling bawah dari suatu bangunan. Pondasi suatu bangunan berfungsi untuk meneruskan beban-beban pada struktur atas ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya. Dasar pondasi harus diletakkan pada tanah keras, apabila tanah keras masih berada pada kedalaman 2 meter dapat digunakan pondasi dangkal. Untuk kedalaman 6-8 meter maka harus digunakan pondasi sumuran dan untuk kedalaman lebih dari 8 meter digunakan pondasi tiang pancang atau bor pile.

Dalam perencanaan pondasi ada 2 (dua) hal utama yang harus diperhatikan, yaitu :

- a. Daya dukung tanah, adalah kemampuan tanah dasar untuk menahan beban pondasi tanpa terjadi keruntuhan, geser, atau deformasi geser.
- b. Penurunan, yaitu penurunan yang disebabkan oleh beban bangunan, besar, dan lamanya penurunan tergantung dari macam kepadatan kompresibilitas tanah dan beban.

2. Abutment

Abutment adalah suatu bangunan yang didesain untuk meneruskan beban dari bangunan atas, baik beban mati atau beban hidup, berat sendiri dari abutment (beban mati) dan tekanan tanah ke tanah pondasi.

3. Pilar

Pilar adalah salah satu konstruksi bangunan bawah jembatan yang terletak diantara dua abutment yang juga berfungsi sebagai penahan beban bangunan atas dan meneruskannya ke pondasi.

2.2.4 Bangunan Atas (*Upper Structure*)

Struktur bangunan atas adalah konstruksi yang berhubungan langsung dengan beban-beban lalu lintas yang bekerja. Ditinjau dari konstruksinya, struktur bangunan atas jembatan terdiri dari:

a. Plat Lantai

Plat lantai adalah komponen struktur jembatan yang berfungsi mendistribusikan beban-beban sepanjang potongan melintang jembatan. Lantai jembatan dapat bertumpu atau merupakan bagian yang terintegrasi pada suatu rangka atau system struktural lainnya yang didesain untuk mendistribusikan beban-beban sepanjang bentang jembatan.

b. Gelagar

Gelagar jembatan memiliki fungsi yang penting, karena berfungsi untuk mendistribusikan atau membagi beban-beban secara longitudinal, dan membagi bentang lantai jembatan. Berdasarkan fungsinya gelagar jembatan dibagi menjadi dua, yaitu gelagar induk (girder) dan gelagar sekunder (diafragma). Berikut penjelasan dari jenis gelagar tersebut.

- Gelagar Induk

Gelagar ini memiliki fungsi yang penting, karena berfungsi untuk mendistribusikan atau membagi beban-beban longitudinal, dan membagi bentang lantai jembatan. Selain itu, gelagar induk biasanya didesain untuk mengurangi pengaruh lendutan pada lantai jembatan. Gelagar induk memiliki beberapa macam tipe yang dibagi berdasarkan bentuk, misalnya kotak, balok, bentuk U, bentuk I, dan lain-lain.

- Gelagar Sekunder

Gelagar sekunder merupakan pengikat antar gelagar induk yang didesain untuk menahan deformasi melintang dari rangka struktur atas dan membantu mendistribusikan bagian dari beban vertical antar gelagar utama. Gelagar sekunder dapat berupa diafragma, atau ikatan silang yang dipasang pada bagian atas dan bagian bawah gelagar utama, yang fungsinya untuk menahan deformasi lateral.

c. Bangunan Pelengkap

Bangunan Pelengkap pada jembatan adalah bangunan yang dibangun dengan maksud untuk menambah keamanan konstruksi jembatan. Bangunan pelengkap biasanya meliputi tiang sandaran (railing), saluran pembuangan (drainase), parapet, lampu jembatan dan lain-lain

2.2 Dasar Teori

Dasar teori merupakan 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 (RSNI T-02-2005) Tentang Pembebanan Untuk Jembatan
2. Standar Nasional Indonesia (SNI-1725-2016) Tentang Pembebanan Untuk Jembatan
3. Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR) Tahun 1987
4. Data Hasil Penyelidikan Tanah
5. Gambar Rencana

2.2.1 Beban Primer

Beban primer adalah beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Adapun yang termasuk beban primer adalah :

a. Beban Mati (M)

Beban mati adalah semua beban yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya. Dalam menentukan besarnya beabn mati,

harus digunakan nilai berat isi untuk bahan-bahan bangunan seperti tersebut di bawah ini:

Baja Tuang	7,85 t/m ³
Besi Tuang.....	7,25 t/m ³
Alumunium Paduan.....	2,80 t/m ³
Beton Bertulang/Pratekan.....	2,50 t/m ³
Beton Biasa, Tumbuk, Siklop.....	2,20 t/m ³
Pasangan Batu/Bata.....	2,00 t/m ³
Kayu	1,00 t/m ³
Tanah, Pasir, Kerikil.....	2,00 t/m ³
Perkerasan Jalan Beraspal	2,00 – 2,50 t/m ³
Air.....	1,00 t/m ³

Untuk bahan-bahan yang belum disebut diatas, harus diperhitungkan berat isi yang sesungguhnya.

Apabila bahan bangunan setempat memberikan nilai berat isi yang jauh menyimpang dari nilai-nilai yang tercantum di atas, maka berat ini harus ditentukan tersendiri dan nilai yang didapat, setelah disetujui oleh orang yang berwenang, selanjutnya digunakan dalam perhitungan.

b. Beban Hidup (H)

Beban hidup adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak/lalu lintas dan pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

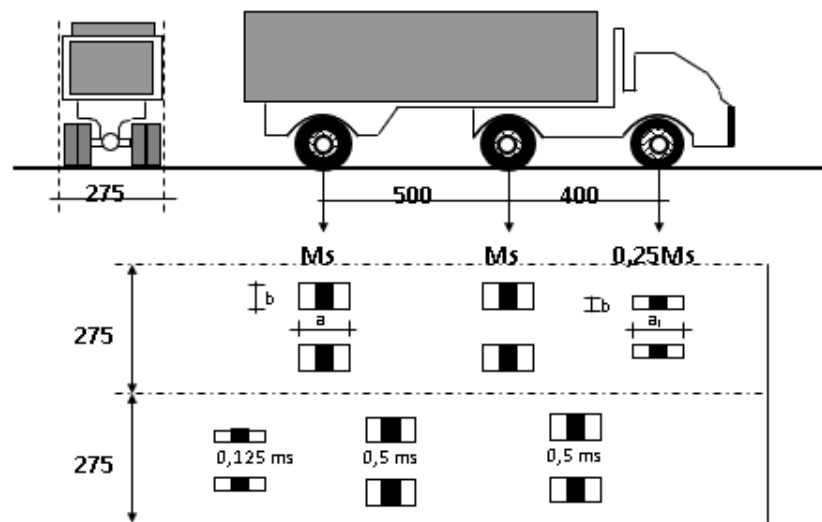
Tabel 2.1 Jumlah Jalur Lalu Lintas

Sumber : PPPJJR, 1987

Lebar lantai kendaraan	Jumlah Jalur Lalu Lintas
5,50 sampai dengan 8,25 m.	2
Lebih dari 8,25 m sampai dengan 11,25 m	3

Lebih dari 11,25 m sampai dengan 15,00 m	4
Lebih dari 15,00 m sampai dengan 18,75 m	5
Lebih dari 18,75 m sampai dengan 32,50 m	6

Untuk perhitungan kekuatan lantai kendaraan atau sistem lantai kendaraan jembatan, harus digunakan beban “T” seperti dijelaskan berikut ini. Beban “T” adalah beban yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai beban roda ganda (dual wheel road) sebesar 10 ton dengan ukuran-ukuran serta kedudukan seperti tertera pada gambar.



Gambar 2.1 Distribusi Beban Truk Menurut PPPJJR tahun 1987

Sumber : PPPJJR, 1987

Keterangan :

$$a_1 = a_2 = 30 \text{ cm}$$

$$b_1 = 12,50 \text{ cm}$$

$$b_2 = 50,00 \text{ cm}$$

$$M_s = \text{Muatan rencana sumbu} = 20 \text{ T}$$

c. Beban pada Trotoir, Kerb, dan Sandaran

Pembebanan pada trotoir, kerb, dan sandaran menurut Buku Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya, sebagai berikut:

- Konstruksi trotoir harus diperhitungkan terhadap beban hidup sebesar 500 kg/m^2 . Dalam perhitungan kekuatan gelagar karena pengaruh beban hidup pada trotoir, diperhitungkan beban sebesar 60% beban hidup trotoir.
- Kerb yang terdapat pada tepi-tepi lantai kendaraan harus diperhitungkan untuk dapat menahan satu beban horizontal ke arah melintang jembatan sebesar 500 kg/m yang bekerja pada puncak kerb yang bersangkutan atau pada tinggi 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan apabila kerb yang bersangkutan lebih tinggi dari 25 cm.
- Tiang-tiang sandaran pada tepi trotoir harus diperhitungkan untuk dapat menahan beban horizontal sebesar 100 kg/m , yang bekerja pada tinggi 90 cm di atas lantai trotoir.

d. Beban Kejut

Untuk memperhitungkan pengaruh getaran-getaran dan pengaruh dinamis lainnya, tegangan-tegangan yang akan memberikan hasil maksimum sedangkan beban merata “q” dan beban “T” tidak dikalikan dengan koefisien kejut.

Koefisien kejut ditentukan dengan rumus :

$$K = 1 + \frac{20}{50 + L}$$

Dimana,

K = Koefisien Kejut

L = Panjang bentang dalam keadaan meter, ditentukan oleh tipe konstruksi jembatan (keadaan statis) dan kedudukan muatan garis “P”

Koefisien kejut tidak diperhitungkan terhadap bangunan bawah apabila bangunan bawah dan bangunan atas merupakan satu kesatuan maka koefisien kejut diperhitungkan terhadap bangunan bawah.

e. Gaya akibat Tekanan Tanah

Bagian bangunan jembatan yang menahan tanah harus direncanakan dapat menahan tekanan tanah sesuai rumus-rumus yang ada. Beban kendaraan dibelakang bangunan penahan tanah diperhitungkan senilai muatan tanah setinggi 60 cm. Jika dinding turap bergerak ke luar dari tanah urugan di belakangnya, maka tanah urugan akan bergerak longsor ke bawah dan menekan dinding penahannya. Tekanan tanah seperti ini disebut tekanan tanah aktif (active earth pressure), sedangkan nilai banding antara tekanan tanah horizontal dan vertikal yang terjadi di definisikan sebagai koefisien tekanan tanah aktif (coefficient of active earth pressure) atau K_a . Nilai K_a ini dirumuskan $K_a = \tan^2 A = \pi^2 (45^\circ - \phi/2)$.

2.2.2 Beban Sekunder

Beban Sekunder adalah beban yang merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Yang termasuk beban sekunder antara lain :

a. Beban Angin

Pengaruh beban angin sebesar 150 kg/m² pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horizontal terbagi rata pada bidang vertikal jembatan, dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Jumlah luas bidang vertikal bangunan atas jembatan yang dianggap terkena oleh angin ditetapkan sebesar suatu prosentasi tertentu terhadap luas

bagian-bagian sisi jembatan dan luas bidang vertikal beban hidup.

Bidang vertikal beban hidup ditetapkan sebagai suatu permukaan bidang vertikal yang mempunyai tinggi menerus sebesar 2 meter di atas lantai kendaraan. Dalam menghitung jumlah luas bagian-bagian sisi jembatan yang terkena angin dapat digunakan ketentuan berikut :

- Ketentuan tanpa Beban Hidup
 - a. Untuk jembatan gelagar penuh diambil sebesar 100% luas bidang sisi jembatan yang langsung terkena angin, ditambah 50% luas bidang sisi lainnya.
 - b. Untuk jembatan rangka diambil sebesar 30% luas bidang sisi jembatan yang langsung terkena angin, ditambah 15% luas bidang sisi-sisi lainnya.
- Keadaan dengan Beban Hidup
 - a. Untuk jembatan diambil sebesar 50% terhadap luas bidang
 - b. Untuk beban hidup diambil sebesar 100% luas bidang sisi yang berlangsung terkena angin.
- Jembatan menerus diatas lebih dari 2 perletakan.

Untuk perletakan tetap perlu diperhitungkan beban angin dalam arah longitudinal jembatan yang terjadi bersamaan dengan beban angin yang sama besar dalam arah lateral jembatan, dengan beban angin masing-masing sebesar 40% terhadap luas bidang menurut keadaan.

Pada jembatan yang memerlukan perhitungan pengaruh angin yang teliti, harus diadakan penelitian khusus.

b. Gaya Akibat Perbedaan Suhu

Peninjauan diadakan terhadap timbulnya tegangan-tegangan structural karena adanya perubahan suhu akibat perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan baik yang

menggunakan bahan yang sama maupun dengan bahan yang berbeda. Perbedaan suhu ditetapkan sesuai dengan data perkembangan suhu setempat.

Pada umumnya pengaruh perbedaan suhu tersebut dapat dihitung dengan mengambil perbedaan suhu untuk :

➤ Bangunan Baja

Perbedaan suhu maksimum/minimum = 30°C
 Perbedaan suhu antara bagian jembatan = 15°C

➤ Bangunan Beton

Perbedaan suhu maksimum/minimum = 15°C
 Perbedaan suhu antara bagian jembatan = < 10°C

Untuk perhitungan tegangan-tegangan dan pergerakan pada jembatan/bagian-bagian jembatan/perletakan akibat perbedaan suhu dapat diambil nilai Modulus Young (E) dan koefisien muai panjang (ε).

Tabel 2.2 Modulus Young (E) dan koefisien muai panjang (ε).

*) Tergantung pada mutu bahan

Sumber : PPPJJR, 1987

Jenis Bahan	E (Kg/cm ² I)	ε per derajat Celcius
Baja	2,1 x 10 ⁶	12 x 10 ⁻⁶
Beton	2 sampai 4 x 10 ⁵	10 x 10 ⁻⁶
Kayu: Sejajar Serat	1,0 x 10 ⁵	5 x 10 ⁻⁶
Tegak Lurus Serat	1,0 x 10 ⁴	50 x 10 ⁻⁶

c. Gaya Rangkak dan Susut

Pengaruh rangkak dan susut bahan beton terhadap konstruksi, harus ditinjau besarnya pengaruh tersebut apabila tidak ada ketentuan lain, dapat dianggap senilai dengan gaya yang timbul akibat turunnya suhu sebesar 15°C.

d. Gaya Rem

Pengaruh gaya-gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem, harus ditinjau. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5% dari beban “D” tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua lajur lalu lintas yang ada, dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,80 meter diatas permukaan lantai kendaraan.

e. Gaya Akibat Gempa Bumi

Jembatan-jembatan yang akan dibangun pada daerah-daerah dimana diperkirakan terjadi pengaruh-pengaruh gempa bumi, harus direncanakan dengan menghitung pengaruh-pengaruh gempa bumi tersebut sesuai dengan “Buku Petunjuk Perencanaan Tahan Gempa untuk Jembatan Jalan Raya 1986”.

Pengaruh-pengaruh gempa bumi pada jembatan dihitung senilai dengan pengaruh suatu gaya-gaya horizontal pada konstruksi akibat beban mati konstruksi/bagian konstruksi yang ditinjau dan perlu ditinjau pula gaya-gaya lain yang berpengaruh seperti gaya gesek pada perletakan, tekanan hidrodinamik akibat gempa, tekanan tanah akibat gempat dan gaya angkat apabila pondasi yang direncanakan merupakan pondasi terapung/pondasi langsung.

$$G_h = E \times G$$

Dimana :

G_h = Gaya horizontal

E = Muatan mati pada konstruksi (kN)

G = Koefisien gempa

Nilai koefisien gempa (G) diambil dari peta pembagian daerah gempa yang ada di Indonesia.



Gambar 2.2 Lokasi Pembagian Daerah Gempa

Sumber : RSNI-T-02-2005

f. Gaya Akibat Gesekan pada Tumpuan Bergerak

Jembatan harus pula ditinjau terhadap gaya yang timbul akibat gesekan pada tumpuan bergerak, karena adanya pemuaian dan penyusutan dari jembatan akibat perbedaan suhu atau akibat-akibat lain.

Gaya gesek yang timbul hanya ditinjau akibat beban mati saja, sedang besarnya ditentukan berdasarkan koefisien gesek pada tumpuan yang bersangkutan dengan nilai sebagai berikut :

1. Tumpuan rol baja :
 - Dengan satu atau dua rol..... 0,01
 - Dengan tiga atau lebih rol..... 0,05
2. Tumpuan gesekan :
 - Antara baja dengan campuran tembaga keras & baja...0,15
 - Antara baja dengan baja atau besi tuang..... 0,25
 - Antara karet dengan baja/beton0,15 - 0,18

Tumpuan-tumpuan khusus harus disesuaikan dengan persyaratan spesifikasi dari pabrik material yang bersangkutan atau didasarkan atas hasil percobaan dan mendapatkan persetujuan pihak berwenang.

2.2.3 Beban khusus

a. Gaya Sentrifugal

Konstruksi jembatan yang ada pada tikungan harus diperhitungkan terhadap suatu gaya horizontal radial yang dianggap bekerja pada tinggi 1,80 meter diatas lantai kendaraan.

Gaya horizontal tersebut dinyatakan dalam proses terhadap beban “D” yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas tanpa dikalikan koefisien kejut. Besarnya prosentase tersebut dapat ditentukan dengan rumus :

$$K_s = 0,79 V^2 / R$$

Dimana :

K_s = Koefisien gaya sentrifugal (%)

V = Kecepatan rencana (km/jam)

R = Jari-jari tikungan (meter)

b. Gaya Tumbuk pada Jembatan Layang

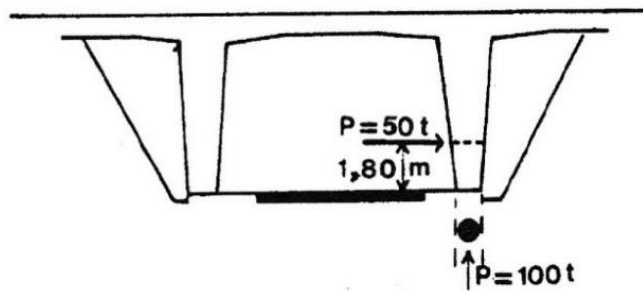
Gaya tumbuk antara kendaraan dan pilar dimaksudkan pada jembatan-jembatan layang dimana bagian di bawah jemabatan digunakan untuk lalu lintas.

Bagian pilar yang mungkin terkena tumbukan kendaraan perlu diberi tembok pengaman. Bila tidak terdapat antara pengaman, maka untuk menghitung gaya akiabt tumbukan antara kendaraan dan pilar dapat digunakan salah satu dari kedua gaya tumbuk horizontal yang paling menentukan :

Pada arah lalu lintas..... 100 ton

Pada arah tegak lurus lalu lintas 50 ton

Gaya-gaya tumbuk tersebut dianggap bekerja pada tinggi 1,80 meter diatas permukaan jalan raya.



Gambar 2.3 Gaya Tumbuk pada Jembatan Layang

Sumber : PPPJJR, 1987

c. Beban dan Gaya Selama Pelaksanaan

Gaya-gaya khusus yang mungkin timbul dalam masa pelaksanaan pembangunan jembatan, harus ditinjau dan besarnya dihitung dengan cara pelaksanaan pekerjaan yang digunakan.

d. Gaya Akibat Aliran Air dan Tumbukan Benda-Benda Hanyutan

Semua pilar dan bagian-bagian lain dari bangunan jembatan yang mengalami gaya-gaya aliran air, harus diperhitungkan dapat menahan tegangan-tegangan maksimum akibat gaya-gaya tersebut. Gaya tekanan aliran air adalah hasil perkalian tekanan air dengan luas bidang pengaruh pada satu pilar, yang dihitung dengan rumus berikut :

$$Ah = k \cdot Va^2$$

Dimana :

Ah = Tekanan aliran air (ton/m²)

Va = Kecepatan aliran air yang dihitung berdasarkan analisa hidrologi (m/detik), bila tidak ditentukan lain

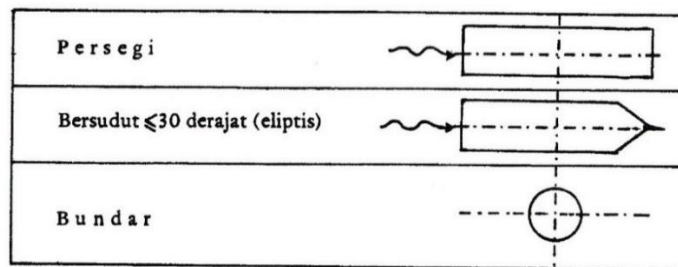
maka : Va = 3 m/detik.

K = Koefisien aliran tergantung bentuk pilar dan dapat diambil menurut tabel berikut

Tabel 2.3 Koefisien Aliran (K)

Sumber : PPPJJR, 1987

Bentuk depan pilar	k
Persegi (tidak disarankan)	0,075
Bersudut ≤ 30 derajat	0,025
Bundar	0,035



Gambar 2.4 Bentuk/Denah Pilar

Sumber : PPPJJR, 1987

Tegangan-tegangan akibat tumbukan benda-benda hanyutan (kayu, batu, dan lain-lain pada aliran sungai) pada bangunan bawah harus diperhitungkan dan besarnya ditetapkan berdasarkan hasil penyelidikan setempat.

Gaya tumbuk untuk lalu lintas sungai perlu diperhitungkan secara khusus. Perencanaan bangunan bawah agar memperhatikan buku “Pedoman Perencanaan Hidraulik dan Hidrologi untuk Bangunan di Sungai”

e. Gaya Angkat

Bagian-bagian dasar bangunan bawah pada rencana pondasi langsung atau pondasi terapung harus diperhitungkan terhadap gaya angkat yang mungkin terjadi.

2.2.4 Penyebaran Gaya (Distribusi Beban)

a. Beban Mati

- Beban Mati Primer

Beban mati yang digunakan dalam perhitungan kekuatan gelagar-gelagar (baik gelagar tengah maupun gelagar pinggir) adalah berat sendiri pelat dan sistem lainnya yang dipikul langsung oleh masing-masing gelagar tersebut.

- **Beban Mati Sekunder**

Beban Mati Sekunder yaitu kerb, trotoir, tiang sandaran, dan lain-lain yang dipasang setelah pelat di cor, dan dapat dianggap terbagi rata di semua gelagar.

b. Beban Hidup

- **Beban “T”**

Dalam menghitung kekuatan lantai akibat beban “T” dianggap bahwa beban tersebut menyebar ke bawah dengan arah 45° sampai ke tengah-tengah tebal lantai.

- **Beban “D”**

Dengan menghitung momen dan gaya lintang dianggap bahwa gelagar-gelagar mempunyai jarak dan kekuatan yang sama atau hampir sama, sehingga penyebaran beban “D” melalui lantai kendaraan ke gelagar-gelagar harus dihitung dengan cara sebagai berikut :

a. Perhitungan momen

Gelagar hidup yang diterima oleh tiap gelagar tengah adalah sebagai berikut :

$$\text{Beban merata} \quad : q^1 = q/2,75 \times \alpha \times s$$

$$\text{Beban garis} \quad : p^1 = P/2,75 \times \alpha \times s$$

Dimana :

s = Jarak gelagar yang berdekatan (yang ditinjau)
dalam

meter, diukur dari sumbu ke sumbu

α = Faktor distribusi

$\alpha = 0,75$ bila kekuatan gelagar melintang diperhitungkan

$\alpha = 1,00$ bila kekuatan gelagar melintang tidak diperhitungkan.

P dan q = adalah seperti pada BAB III, pasal 1 (2) 2.4

o Gelagar Pinggir

Beban hidup yang diterima oleh gelagar pinggir adalah r adalah beban hidup tanpa memperhitungkan faktor distribusi ($\alpha = 1,00$). Bagaimana pun juga gelagar pinggir harus direncanakan minimum sama kuat dengan gelagar tengah.

Dengan demikian beban hidup yang diterima oleh tiap gelagar pinggir tersebut adalah sebagai berikut :

$$\text{Beban merata} : q^1 = q/2,75 \times \alpha \times s^1$$

$$\text{Beban garis} : p^1 = P/2,75 \times \alpha \times s^1$$

Dimana :

s^1 = Lebar pengaruh beban hidup pada gelagar pinggir

b. Perhitungan Gaya Lintang

o Gelagar tengah

Beban hidup yang diterima oleh gelagar tengah adalah sebagai berikut :

$$\text{Beban merata} : q^1 = q/2,75 \times \alpha \times s$$

$$\text{Beban garis} : p^1 = P/2,75 \times \alpha \times s$$

Dimana :

s = Jarak gelagar yang berdekatan (yang ditinjau)

dalam meter, diukur dari sumbu ke sumbu

α = Faktor distribusi

$\alpha = 0,75$ bila kekuatan gelagar melintang diperhitungkan

$\alpha = 1,00$ bila kekuatan gelagar melintang tidak

diperhitungkan

P dan q = adalah seperti pada BAB III, pasal 1 (2) 2.4

o Gelagar pinggir

Beban hidup, baik beban merata maupun beban garis yang diterima oleh gelagar pinggir, adalah beban tanpa perhitungan faktor distribusi. Bagaimana pun juga gelagar pinggir harus direncanakan minimum sama kuat dengan gelagar-gelagar tengah.

Dengan demikian beban hidup yang diterima oleh gelagar pinggir adalah sebagai berikut :

$$\text{Beban merata} : q^1 = q/2,75 \times \alpha \times s^1$$

$$\text{Beban garis} : p^1 = P/2,75 \times \alpha \times s^1$$

Dimana :

s^1 = Lebar pengaruh beban hidup pada gelagar pinggir

P dan q = adalah seperti pada BAB III, pasal 1(2) 2.4

2.2.5 Kombinasi Pembebanan

Konstruksi jembatan beserta bagian-bagiannya harus ditinjau terhadap kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja. Sesuai dengan sifat-sifat serta kemungkinan-kemungkinan pada setiap beban, tegangan yang digunakan dalam pemeriksaan kekuatan konstruksi yang bersangkutan dinaikan terhadap tegangan yang diizinkan sesuai keadaan elastis.

Tegangan yang digunakan dinyatakan dalam prosen terhadap tegangan yang diizinkan sesuai kombinasi pembebanan dan gaya yang ada pada tabel berikut :

Tabel 2.4 Kombinasi Pembebanan dan Gaya

Sumber : PPPJRR, 1987

Kombinasi Pembebanan dan Gaya	Tegangan yang digunakan dalam prosen terhadap tegangan izin keadaan elastis.
I. $M + (H + K) + Ta + Tu$	100%
II. $M + Ta + Ah + Gg + A + SR + Tm$	125%
III. $Kombinasi (1) + Rm + Gg + A + SR + Tm + S$	140%
IV. $M + Gh + Tag + Gg + Ahg + Tu$	150%
V. $M + P1$	130%
VI. $M + (H + K) + Ta + S + Tb$	150%

Dimana :

A = Beban angin

Ah = Gaya akibat aliran dan hanyutan

AHg = Gaya akibat aliran dan hanyutan pada waktu gempa

Gg = Gaya gesek pada tumpukan bergerak

Gh = Gaya horizontal ekuivalen akibat gempa bumi

(H+K) = Beban hidup dengan kejut

M = Beban mati

P1 = Gaya-gaya pada waktu pelaksanaan

Rm = Gaya Rem

S = Gaya sentrifugal

SR = Gaya akibat susut dan rangkai

Tm = Gaya akibat perubahan suhu (selain susut dan rangkai)

Ta = Gaya tekanan tanah

Tag = Gaya tekanan tanah akibat gempa bumi

Tb = Gaya tumbuk

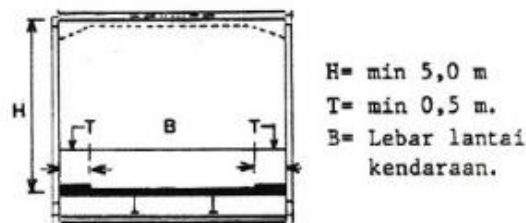
Tu = Gaya angkat (buoyancy)

2.2.6 Syarat Ruang Bebas

a. Profil Ruang Bebas Jembatan

Yang dimaksud dengan profil ruang bebas jembatan adalah tinggi dan lebar ruang bebas jembatan dengan ketentuan :

1. Tinggi minimum untuk jembatan tertutup adalah 5 m.
2. Lebar minimum untuk jembatan ditetapkan menurut jumlah jalur lalu lintas (B) ditambah dengan kebebasan samping minimum $2 \times 0,50$ meter.

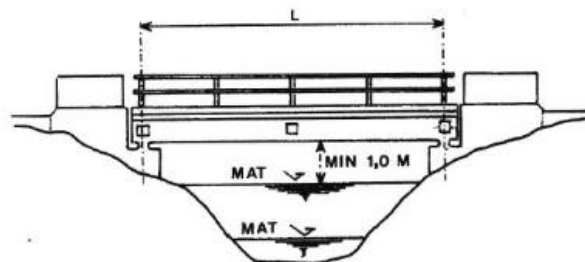


Gambar 2.5 Lebar Minimum Jembatan

Sumber : PPPJIR, 1987

b. Tinggi Bebas Minimum

Tinggi bebas minimum terhadap banjir 50 tahunan ditetapkan sebesar 1,00 meter. Untuk sungai-sungai yang mempunyai karakteristik khusus, tinggi bebas disesuaikan dengan keperluan berdasarkan penelitian lebih lanjut.



Gambar 2.6 Tinggi Bebas Maksimum terhadap Banjir 50 Tahunan

Sumber : PPPJIR, 1987

c. Ruang Bebas Untuk Lalu Lintas di Bawah Jembatan

1. Ruang bebas untuk lalu lintas jalan raya dan lalu lintas air di bawah jembatan disesuaikan dengan syarat ruang bebas untuk lalu lintas yang bersangkutan.
2. Ruang bebas untuk jalan kereta api di bawah jembatan adalah sebagai berikut :
 - a. Tinggi minimum 6,50 meter terhadap tepi atas kepala rel.
 - b. Lebar minimum 15,00 meter.

Selanjutnya disesuaikan dengan syarat ruang bebas jalan kereta api yang berlaku.

2.2.7 Penggunaan Beban Hidup Tidak Penuh

Didalam penggunaan beban hidup tidak penuh yang dikarenakan pertimbangan-pertimbangan khusus (misalnya jembatan semi permanen, jembatan di bawah standar, jembatan sementara), penggunaan beban hidup harus diperhitungkan seperti berikut :

1. Beban 70%
70% beban “T” dan 70% beban “D”
2. Beban 50%
50% beban “T” dan 50% beban “D”

Dimana peraturan penggunaan beban “T” dan “D” adalah seperti pada BAB III, pasal 1 (2) poin 2.3 dan 2.4 Buku Pedoman Perencana.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah Ramp 2.2 Elevated MM2100 pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cimanggis – Cibitung Seksi II, serta peninjauan ulang pada struktur atas meliputi peninjauan ulang Girder, Plat Lantai dan Parapet.



Gambar 3.1 Ramp 2.2 Elevated MM2100

Sumber : PT. Waskita Karya . Tbk, (2021)



Gambar 3.2 Ramp 2.2 Elevated MM2100

Sumber : PT. Waskita Karya . Tbk, (2021)

3.2 Data Umum Proyek

3.2.1 Data Proyek

a. Informasi Umum

Nama Ruas	: Tol Cimanggis – Cibitung
Investor (Pemilik/Owner)	: PT. Cimanggis Cibitung Tollway
Konsultan Perencana	: PT. Perentjana Djaja (Highway) dan PT. Delta Global Struktur (Struktur)
Kontraktor	: PT. Waskita Karya (Persero),Tbk.
Konsultan Pengawas	: PT. Virama Karya (Persero)
Pengendali Mutu Independen	: PT. Sarana Muli Daya
Jenis Kontrak	: Fixed Unit Price
Sifat Kontrak	: Turn Key
Masa Pelaksanaan	: 890 hari
Masa Pemeliharaan	: 1095 hari kalendar (berdasarkan dokumen)
Nilai Kontrak	: Rp. 3.429.975.269.647,48 (sudah termasuk PPN)

b. Informasi Teknis

Berikut adalah informasi teknis mengenai Proyek Jalan Tol
Cimanggis – Cibitung seksi 2:

Panjang Jalan Tol	: 26,47 km
Kecepatan Rencana	: 100 km/jam
Lajur Lalu-lintas	: 2x3 jalur (akhir)
Lebar Jalur	: 3,60 m
Leabr Bahu Jalan	: 3,00 m
Lebar Bahu Dalam	: 1,50 m
Tipe Perkerasan	: Rigid Pavement

Seksi :
Seksi 1 = STA. 23+900 – STA. 27+070
Seksi 2 = STA. 27+070 – STA. 50+370 (Zona 1 – Zona 2)
Zona 1 : STA. 27+070 – STA. 40+549
Zona 2 : STA. 40+549 – STA. 50+370
Jenis Struktur pada Tinjauan Jalan Layang Cimanggis Cibitung:
Balok Gelagar : PCI Girder Span 20,65 m hingga 37,85 m
Metode Erection : Crane

3.2.2 Informasi Jembatan Ramp 2.2 MM2100

Jenis Jembatan : Segmental PC-I Girder
Panjang Trase Ramp : 125 m (STA 0+150 – STA 0+275)
Jumlah Span : 4 span
Girder per span : 5 girder
Jalur Lalu-lintas : 1 Jalur, 1 Lajur



Gambar 3.3 Ramp 2.2 Elevated MM2100

Sumber : PT. Waskita Karya . Tbk, (2021)

3.3 Metode Penelitian

Secara umum untuk merencanakan suatu pekerjaan maka diperlukan suatu acuan. Berupa data, baik data teknis maupun non teknis. Data tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi dan perencanaan sehingga hasil yang dicapai setelah pelaksanaannya diharapkan sesuai dengan maksud dan tujuan

diadakannya pekerjaan tersebut. Berdasarkan fungsinya data-data yang diperoleh dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

a. Data Teknis

Data Teknis adalah data-data yang berhubungan langsung dengan analisa struktur atas jalan tol layang *elevated* seperti : *shop drawing*, *time schedule*, spesifikasi bahan, dll.

b. Data Non Teknis

Data Non Teknis adalah data yang bersifat sebagai penunjang untuk mempertimbangkan perkembangan lalu lintas di daerah tersebut, seperti arah perkembangan daerah, kondisi sosial ekonomi, tingkat kepemilikan kendaraan, dan sebagainya.

Menurut sifat data maka dibagi menjadi dua, yaitu :

a. Data Primer

Data Primer adalah data yang didapatkan dengan cara mengadakan survei lapangan. Untuk metode pengumpulan data tersebut dapat dilakukan dengan metode observasi, yaitu melakukan survei langsung ke lokasi. Hal ini mutlak diperlukan untuk mengetahui kondisi sebenarnya lokasi proyek.

b. Data Sekunder

Data Sekunder adalah data yang didapatkan dari beberapa instansi terkait, seperti *shop drawing*, spesifikasi bahan, dll.

Secara umum metode pengumpulan data dilakukan dengan cara :

1. Metode Literatur

Metode ini dilakukan dengan mengumpulkan, mengidentifikasi, mengolah data tertulis, dan metode kerja yang digunakan sebagai input proses perencanaan.

2. Metode Observasi

Metode ini dilakukan dengan pengamatan langsung ke lokasi untuk mengetahui kondisi sebenarnya di lapangan.

3. Metode Wawancara

Metode ini dilakukan dengan menanyakan langsung pada narasumber atau instansi yang terkait untuk mendapatkan data yang sebelumnya tidak didapatkan dari metode literatur maupun metode observasi.

3.3.1 Studi Literatur

Mempelajari berbagai sumber informasi yang mampu menunjang dalam pengerjaan Tugas Akhir yang dalam hal ini diantaranya:

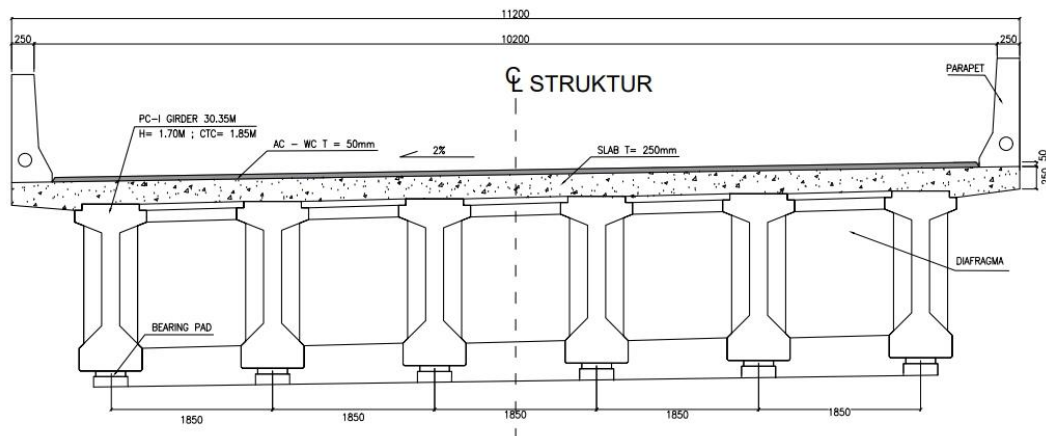
1. Analisis Pembebanan RSNI T-02-2005
2. Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya 1987

BAB IV ANALISIS DAN PERENCANAAN STRUKTUR

4.1 Data Konstruksi

Data Perencanaan kerja Ramp 2.2 Elevated MM2100 Proyek Pembangunan Jalan Tol Cimanggis – Cibitung Seksi II adalah sebagai berikut:

- Panjang Bentang antar Pilar : 29,55 m
- Panjang Balok Girder : 30,35 m
- Lalu lintas jalan : 1 jalur



Gambar 4.1 Dimensi Balok Prategang

Sumber: Shop Drawing Waskita Karya Tbk.

4.2 Peninjauan Ulang Analisis Girder pada Bentang 30,35 m

4.2.1 Data Jembatan

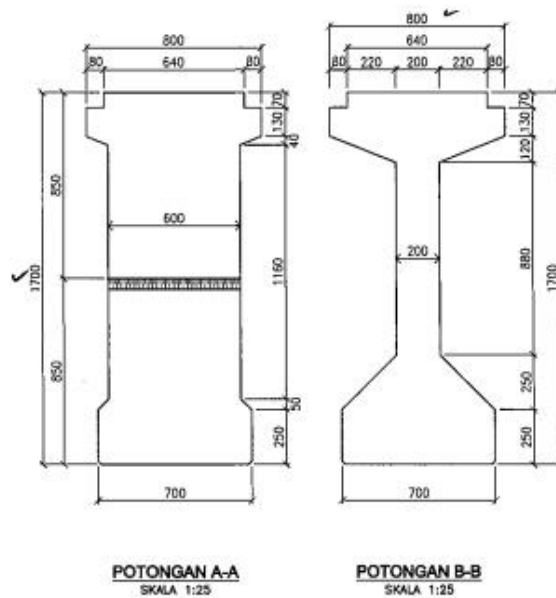
- Panjang bentang jembatan L = 29,55 m
- Tebal slab lantai jembatan ho = 25 cm
- Tebal lapisan aspal + overlay ha = 5 cm
- Tebal genangan air hujan th = 5 cm

- Jarak antara balok prategang $s = 1,85 \text{ m}$
- Lebar jalur lalu-lintas $b1 = 10,2 \text{ m}$
- Lebar parapet $b2 = 50 \text{ cm}$
- Lebar total jembatan $b = 11,2 \text{ m}$

Balok prategang yang digunakan untuk proyek Pembangunan Ramp 2.2 Elevated MM2100 Tol Cimanggis – Cibitung Seksi II adalah produk dari PT. Waskita Beton Precast dengan dimensi yang sudah ada dengan tinggi balok 170 cm. Adapun untuk spesifikasi dimensi yang sudah ada adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Ukuran Dimensi Girder

KODE	LEBAR		KODE	TINGGI (cm)
	BOTTOM	TOP		
6	0,64	0,64	b6	7,0
5	0,80	0,80	b5	13,0
4	0,20	0,80	b4	12,0
3	0,20	0,20	b3	88,0
2	0,70	0,20	b2	25,0
1	0,70	0,70	b1	25,0
JUMLAH				170,0



Gambar 4.2 Dimensi Balok Prategang

Sumber: Shop Drawing Waskita Karya Tbk.

4.2.2 Mutu Beton

- Mutu beton girder prestress K- 500
- Kuat tekan beton $f_c' = 42,3 \text{ Mpa}$
- Modulus elastik beton $E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'} = 30568,1 \text{ Mpa}$
- Angka Poisson $\mu = 0,2$
- Modulus geser $G = \frac{E_c}{2 \times (1 + \mu)} = 12736,71 \text{ Mpa}$

4.2.3 Baja Prategang

Data Strands Cable – Standar VSL

Jenis strands: Uncoated stress relieve seven wires strand (ASTM A416 Grade 270 Low Relaxation)

- Diameter nominal strand = 12,7 mm
- Tegangan leleh strand $f_{py} = 1674 \text{ Mpa}$

- Kuat tarik strand $f_{pu} = 1860 \text{ Mpa}$
- Modulus elastisitas strand $E_s = 19500 \text{ Mpa}$
- Luas tampang nominal satu strand $A_{st} = 98,71 \text{ mm}^2$
- Tipe dongkrak VSL E 19

4.2.4 Section Properties PC-I Girder

- Diambil lebar efektif plat lantai, $B_e = 1,85 \text{ m}$
- Kuat tekan beton plat, $f_c' (\text{plat}) = 28,6 \text{ Mpa}$
- Kuat tekan balok, $f_c' (\text{balok}) = 42,3 \text{ Mpa}$
- Modulus elastisitas plat beton,

$$E_{\text{plat}} = 4700 \times \sqrt{f_c'(\text{plat})} = 25135,11 \text{ Mpa}$$

- Modulus elastisitas balok beton prategang

$$E_{\text{balok}} = 0,043 \cdot (W_c)^{1,5} \cdot \sqrt{f_c'(\text{balok})} = 34958,17 \text{ Mpa}$$

- Nilai perbandingan modulus elastisitas plat dan balok

$$n = \frac{E_{\text{plat}}}{E_{\text{balok}}} = \frac{25135,11}{30568,07} = 0,822$$

- Jadi lebar pengganti beton plat lantai jembatan,

$$B_{\text{eff}} = n \times B_e = 1,521 \text{ m}$$

Untuk section properties balok prategang dapat dilihat dalam tabel berikut ini :

Tabel 4.2 *Section Properties* Balok Prategang (Satuan Dalam m)

BAG	TINGGI BAG	LEBAR		AREA (A)	Jarak thd Alas (Yb)	Statis Momen (A*Yb)	Inersia Momen (A*y ²)	Momen Inersia (I _o)
		BOT.	TOP					
6	0,05	0,64	0,64	0,0320	1,675	0,0536	0,08978	0,00001
5	0,15	0,80	0,80	0,1200	1,575	0,189	0,29768	0,00023
4	0,12	0,20	0,80	0,0600	1,452	0,08712	0,12650	0,00006
3	0,88	0,20	0,20	0,1760	0,904	0,16544	0,15551	0,01136
2	0,25	0,70	0,20	0,1125	0,352	0,0396	0,01394	0,00053
1	0,25	0,70	0,70	0,1750	0,125	0,021875	0,00273	0,00091
TOTAL	1,70			0,6755	0,824	0,5566	0,68614	0,01309

- Tinggi total balok prategang $h = 1,70 \text{ m}$

- Luas penampang balok prategang $A = 0,6755 \text{ m}^2$

- Letak titik berat:

$$y_b = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} = \frac{0,5566}{0,6755} = 0,824 \text{ m}$$

$$h_o = 0,25 \text{ m}$$

$$y_a = h - y_b = 0,876 \text{ m}$$

- Momen Inersia terhadap alas balok:

$$I_b = \sum A \cdot y^2 + \sum I_o = 0,6861 + 0,01309 = 0,69923 \text{ m}^4$$

- Momen Inersia terhadap titik berat balok:

$$I_x = I_b - A \cdot y_b^2 = 0,699 - 0,6755 \cdot 0,824^2 = 0,241$$

- Tahanan momen sisi atas:

$$W_a = \frac{I_x}{y_a} = 0,275 \text{ m}^3$$

- Tahanan momen sisi bawah:

$$W_b = \frac{I_x}{y_b} = 0,292 \text{ m}^3$$

BAG	TINGGI BAG	LEBAR		AREA (A)	Jarak thd Alas (Yb)	Statis Momen (A*Yb)	Inersia Momen (A*y ²)	Momen Inersia (Io)
		BOT.	TOP					
3	0,25	1,85	1,85	0,3799	1,825	0,6934	1,26545	0,00198
2	0,00	1,21	1,21	0,0000	0,000	0,0000	0,00000	0,00000
1	1,70	0,70	0,64	0,6755	0,850	0,5566	0,48805	0,24056
TOTAL	1,95			1,0554	1,184	1,2500	1,75350	0,24254

Tabel 4.3 Section Properties Balok Komposit (Satuan Dalam m)

- Tinggi total balok prategang $hc = 1,95 \text{ m}$
- Luas penampang balok prategang $Ac = 1,0554 \text{ m}^2$
- Letak titik berat:

$$y_{bc} = \frac{\sum A \times y}{\sum A} = \frac{1.2500}{1.0554} = 1,1184 \text{ m}$$

$$y_{ac} = hc - y_b = 0,766 \text{ m}$$

- Momen Inersia terhadap alas balok:

$$I_{bc} = \sum A \cdot y^2 + \sum I_o = 1,7535 + 0,24254 = 1,996 \text{ m}^4$$

- Momen Inersia terhadap titik berat balok:

$$I_{xc} = I_{bc} - A \cdot y_b^2 = 1,996 - 1,05545 \cdot 1,114^2 = 0,820 \text{ m}^4$$

- Tahanan momen sisi atas plat:

$$W_{ac} = \frac{I_{xc}}{y_{ac}} = 1,071 \text{ m}^3$$

- Tahanan momen sisi bawah:

$$W_{bc} = \frac{I_{xc}}{y_{bc}} = 0,693 \text{ m}^3$$

- Tahanan momen sisi atas balok:

$$W'_{ac} = \frac{I_{xc}}{y_{ac-ho}} = 1,591 \text{ m}^3$$

4.3 Perhitungan Beban Konstruksi

4.3.1 Beban Mati

a. Balok Prategang: $q_1 = 0,6755 \times 2,5 = 1,6888 \text{ t/m}^2$

b. - Plat Lantai = lebar plat x tebal plat x berat jenis

$$= 1,85 \times 0,25 \times 2,4$$

$$= 1,1100 \text{ t/m}^2$$

- Plat Deck = lebar plat x tebal plat x berat jenis

$$= 1,21 \times 0,05 \times 2,4$$

$$= 0,1452 \text{ t/m}^2$$

- Parapet = $0,852 \times 2 / 6$

$$= 0,2840 \text{ t/m}^2$$

Beban lantai, $q_2 = \text{Plat lantai} + \text{Plat deck} + \text{Parapet}$

$$= 1,1100 + 0,1452 + 0,2840$$

$$= 1,5392 \text{ t/m}^2$$

- c. Beban Diafragma

$$\text{Tengah} = \frac{\text{tinggi diafragma} \times \text{tebal} \times s \times W_c'}{L} \times nd$$

$$= \frac{1,25 \times 0,2 \times 1,65 \times 2,4}{30,35} \times 3$$

$$= 0,0979 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Tepi} = \frac{\text{tinggi diafragma} \times \text{tebal} \times s \times Wc'}{L} \times nd$$

$$= \frac{0,71 \times 0,3 \times 0,88 \times 2,4}{30,35} \times 2$$

$$= 0,0297 \text{ t/m}^2$$

$$q_3 = 0,0979 + 0,0297$$

$$= 0,1276 \text{ t/m}^2$$

4.3.2 Beban Mati Tambahan

$$\text{a. Beban Aspal: } q_a = s \times h_a \times W_{\text{aspal}}$$

$$= 1,85 \times 0,05 \times 2,2$$

$$= 0,2035 \text{ t/m}^2$$

$$\text{b. Beban Air: } q_w = s \times h_w \times W_{\text{air}}$$

$$= 1,85 \times 0,05 \times 0,98$$

$$= 0,09065 \text{ t/m}^2$$

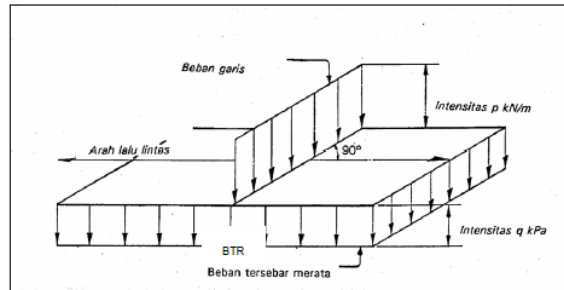
$$\text{Beban aspal dan air, } q_4 = q_a + q_w$$

$$= 0,1980 + 0,0882$$

$$= 0,2942 \text{ t/m}^2$$

4.3.3 Beban Lalu Lintas

a. Beban Lajur "D" (TD)



Gambar 4.3 Beban Lajur "TD"

Sumber : RSNI T-02-2005

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

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

(Pasal 6.3.1.2. RSNI T-02-2005)

untuk panjang bentang $L = 29,55 \text{ m}$, maka nilai q adalah:

$$q = 9,0 \text{ kPa}$$

KEL mempunyai intensitas, $p = 49 \text{ kN/m}$

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

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

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

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

Jarak antara girder, $s = 1,85 \text{ m}$

Untuk panjang bentang, $L = 29,55 \text{ m}$ maka $DLA = 0,4$

Beban lajur pada Girder:

- Beban merata pada balok

$$\begin{aligned}
 Q_{TD} &= q \times s \\
 &= 9 \times 1,85 \\
 &= 16,65 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

- Beban terpusat pada balok

$$\begin{aligned}
 P_{TD} &= (1 + DLA) \times p \times s \\
 &= (1 + 0,4) \times 49 \times 1,85 \\
 &= 126,91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

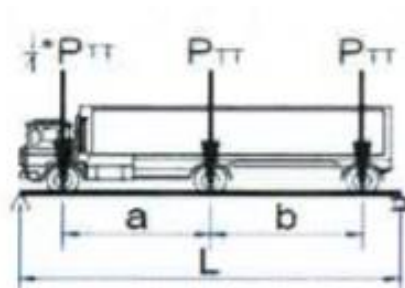
b. Beban Truk (TT)

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh truk (beban T) yang besarnya, $T = 225 \text{ kN}$

Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk diambil, $DLA = 0,40$

Beban truk "T":

$$\begin{aligned}
 P_{TT} &= (1 + DLA) \times T \\
 &= (1 + 0,4) \times 225 \\
 &= 315 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.4 Beban Truk

Sumber : Google Picture

$$a = 5 \text{ m}; b = 5 \text{ m}$$

Panjang bentang girder, $L = 29,55 \text{ m}$

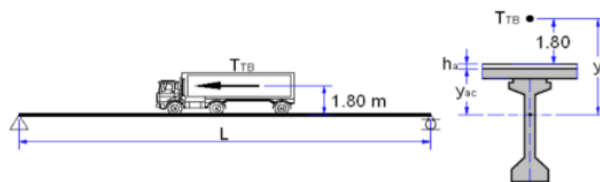
Gaya geser dan momen pada T-Girder akibat beban truk "T":

$$\begin{aligned} - V_{TT} &= [9/8 \times L - 1/4 \times a + b] / L \times P_{TT} \\ &= [9/8 \times 29,55 - 1/4 \times 5 + 5] / 29,55 \times 315 \\ &= 394,35 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - M_{TT} &= (V_{TT} \times L/2) - (P_{TT} \times b) \\ &= 394,35 \times 29,55/2 - 315 \times 5 \\ &= 4251,5156 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.3.4 Gaya Rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada jarak 1,80 m di atas lantai jembatan. rem arah memanjang jembatan tergantung panjang total jembatan (L_t) sebagai berikut:



Gambar 4.5 Gaya Rem

Sumber : Google Picture

Gaya rem, $H_{TB} = 250 \text{ kN}$ untuk $L_t \leq 80 \text{ m}$

Gaya rem, $H_{TB} = 250 + 2.5 \times (L_t - 80) \text{ kN}$ untuk $80 < L < 180 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Gaya rem, } H_{TB} &= 500 \text{ kN} && \text{untuk } L \geq 180 \text{ m} \\ \text{Panjang bentang Girder, } L &= 29,55 \text{ m} \\ \text{Jumlah girder, } n_{\text{girder}} &= 6 \text{ bh} \\ \text{Gaya rem, } H_{TB} &= 250 \text{ Kn} \\ \text{Gaya rem untuk } L_t \leq 80 \text{ m : } T_{TB} &= H_{TB} / n_{\text{girder}} = 250 / 6 \\ &= 41,667 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya rem juga dapat diperhitungkan sebesar 5% beban lajur “D” tanpa faktor beban dinamis.

Gaya rem, $T_{TB} = 5\%$ beban lajur “D” tanpa faktor beban dinamis (Pasal 6.7 RSNI T-02-2005)

$$\begin{aligned} - \quad Q_{TD} &= q \times s \\ &= 9 \times 1,85 \\ &= 16,65 \text{ kN/m} \\ - \quad P_{TD} &= p \times s \\ &= 49 \times 1,85 \\ &= 90,65 \text{ kN/m} \\ - \quad T_{TB} &= 0,05 \times (Q_{TD} \times L + P_{TD}) \\ &= 0,05 \times (16,65 \times 29,55 + 90,65) \\ &= 29,13 \text{ kN} < 50 \text{ kN (maka diambil } T_{TB} = 50 \text{ kN)} \end{aligned}$$

Lengan terhadap titik berat balok,

$$\begin{aligned} y &= 1,8 + h_o + h_a + y_{ac} \\ y &= 1,8 + 0,25 + 0,05 + 0,7656 \end{aligned}$$

$$y = 2,87 \text{ m}$$

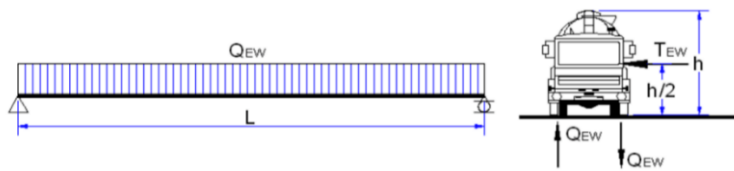
Beban momen akibat gaya rem

$$M = T_{TB} \times y$$

$$M = 50 \times 2,87$$

$$M = 143,28 \text{ kNm}$$

4.3.5 Beban Angin (EW)



Gambar 4.6 Beban Angin

Sumber : Google Picture

$$T_{EW} = 0.0012 \cdot C_w \cdot V_w^2 \text{ kN/m}^2 \text{ dengan, } C_w = 1.2$$

$$\text{Kecepatan angin rencana, } V_w = 35 \text{ m/det}$$

Beban angin tambahan yang meniup bidang samping kendaraan:

$$T_{EW} = 0.0012 \cdot C_w \cdot V_w^2$$

$$T_{EW} = 0.0012 \cdot 1.2 \cdot 35^2$$

$$T_{EW} = 1.764 \text{ kN/m}$$

Transfer beban angin ke lantai jembatan:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{h}{x} \cdot T_{EW}$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{1.75} \cdot 1.764$$

$$Q = 1.008 \text{ kN/m}$$

Ket: h (tinggi kendaraan) diambil = 2 m

$$x \text{ (jarak kendaraan) diambil} = 1.75 \text{ m}$$

4.3.6 Pengaruh Temperatur (ET)

$$DT = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Koefisien muai panjang untuk beton,} \quad \alpha = 0,00001$$

$$\text{Panjang bentang Girder,} \quad L = 29,95 \text{ m}$$

$$\text{Shear stiffness of elastomeric bearing,} \quad k = 15000 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Temperatur movement,} \quad d &= \alpha * DT * L \\ &= 0,073875 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya akibat temperatur movement,} \quad F_{ET} &= k * d \\ &= 110,81 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi Girder,} \quad h = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Eksintrisitas,} \quad y_b = e = 0,820 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen akibat pengaruh temperatur,} \quad M &= F_{ET} * e \\ &= 91,311 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4.3.7 Beban Gempa (EQ)

Koefisien beban gempa horisontal:

$$K_h = C \times S$$

K_h = Koefisien beban gempa horisontal,

C = Koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, waktu getar,
dan kondisi tanah setempat

S = Faktor tipe struktur yg berhubungan dengan kapasitas penyerapan energi gempa (daktilitas) dari struktur.

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{gK_p}}$$

T = waktu getar dalam detik untuk freebody pilar dengan derajat kebebasan tunggal pada jembatan bentang sederhana

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

W_{TP} = berat total nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat dari pilar (bila perlu dipertimbangkan) (kN)

K_p = kekakuan gabungan sebagai gaya horisontal yang Diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)

Berat total, W_t = Q_{MS} + Q_{MA} x L = 951,66075 kN

Kekakuan lentur Girder, $K_p = 48 \times E_c \times I / L^3$
 $= 48 \times 3057111,6 \times 0,4862 / 29,55^3$
 $= 2765 \text{ kN/m}$

Waktu getar, $T = 2 \pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{gK_p}}$
 $= 1,1769 \text{ detik}$

Kondisi tanah dasar termasuk sedang (medium),

Lokasi wilayah gempa, wilayah = 2

Koefisien geser dasar, $C = 0.5$

Untuk struktur jembatan dengan daerah sendi plastis beton bertulang, maka faktor tipe struktur dihitung dengan rumus,

$$S = 1,0 * F$$

dengan, $F = 1,25 - 0,025 * n$ dan F harus diambil ≥ 1

F = faktor perangkaan,

n = jumlah sendi plastis yang menahan deformasi struktur.

Untuk nilai $n = 1$, maka:

$$F = 1,25 - 0,025 * n$$

$$= 1,225$$

$$S = 1 * F$$

$$= 1,225$$

$$k_h = C * S$$

$$= 0,613$$

$$k_v = 50\% * k_h$$

$$= 0,306 > 0.1$$

$$\text{Gaya Gempa Vertikal, } T_{EQ} = k_v * W_t = 291,446 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Gempa Vertikal, } Q_{EQ} = T_{EQ} / L = 9,863 \text{ kN/m}$$

4.3.8 Resume Beban

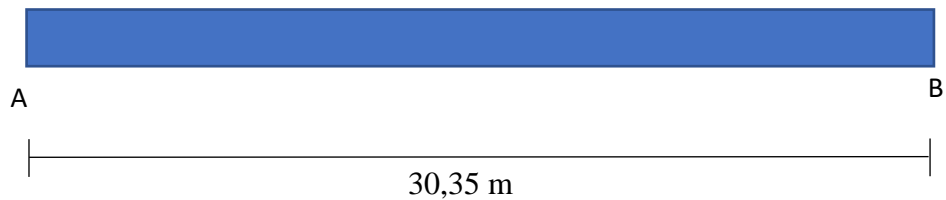
Tabel 4.4 Resume Beban

No	Tipe Beban	Faktor Ultimit	Kode Beban	Q	P	M
				Ton / Meter	Ton	Ton.Meter
1	Balok Precast	1,2	q1	1,69		
2	Plat Lantai dan Parapet	1,3	q2	1,54		
3	Beban Diafragma	1,3	q3	0,13		
4	Beban aspal dan air	2	q4	0,29		
5	Beban Lalu Lintas	1,8	TD	1,67	12,69	
6	Gaya Rem	1,8	TB			14,33
7	Pengaruh Temperatur	1,2	ET			9,13
8	Beban Angin	1,2	EW	0,10		
9	Beban Gempa	1	EQ	0,99		

4.4 Perhitungan Momen

4.4.1 Balok Precast

$$\begin{aligned}
 R_A &= \frac{1}{2} \times q_1 \times L \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,69 \times 29,55 \\
 &= 24,951 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$



a. Momen pada jarak x dari A

$$\begin{aligned}
 M_x &= R_A \cdot x - \frac{1}{2} q_1 \cdot x^2 \\
 &= 24,951 x - 0,845 x^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{0,4} &= 24,951 (0,4) - 0,845 (0,4)^2 &= 9,85 \text{ Tonm} \\
M_{1,4} &= 24,951 (1,4) - 0,845 (1,4)^2 &= 33,28 \text{ Tonm} \\
M_{2,4} &= 24,951 (2,4) - 0,845 (2,4)^2 &= 55,02 \text{ Tonm} \\
M_{5,73} &= 24,951 (5,73) - 0,845 (5,73)^2 &= 115,17 \text{ Tonm} \\
M_{7,73} &= 24,951 (7,73) - 0,845 (7,73)^2 &= 142,36 \text{ Tonm} \\
M_{11,73} &= 24,951 (11,73) - 0,845 (11,73)^2 &= 176,47 \text{ Tonm} \\
M_{15,175} &= 24,951 (15,175) - 0,845 (15,175)^2 &= 184,19 \text{ Tonm}
\end{aligned}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$\begin{aligned}
D_x &= R_A - q_1 * x \\
&= 24,951 - 1,69 x \\
D_{0,4} &= 24,951 - 1,69 (0,4) &= 24,28 \text{ Ton} \\
D_{1,4} &= 24,951 - 1,69 (1,4) &= 22,59 \text{ Ton} \\
D_{2,4} &= 24,951 - 1,69 (2,4) &= 20,90 \text{ Ton} \\
D_{5,73} &= 24,951 - 1,69 (5,73) &= 15,28 \text{ Ton} \\
D_{7,73} &= 24,951 - 1,69 (7,73) &= 11,91 \text{ Ton} \\
D_{11,73} &= 24,951 - 1,69 (11,73) &= 5,15 \text{ Ton} \\
D_{15,175} &= 24,951 - 1,69 (15,175) &= -0,68 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

4.4.2 Plat Lantai dan Parapet

$$\begin{aligned}
R_A &= \frac{1}{2} x q_2 x L \\
&= \frac{1}{2} x 1,54 x 29,55 \\
&= 22,742 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

a. Momen pada jarak x dari A

$$\begin{aligned}M_x &= R_A * x - \frac{1}{2} q_2 * x^2 \\ &= 22,742 x - 0,77 x^2\end{aligned}$$

$$M_{0,4} = 22,742 (0,4) - 0,77 (0,4)^2 = 8,97 \text{ Tonm}$$

$$M_{1,4} = 22,742 (1,4) - 0,77 (1,4)^2 = 30,33 \text{ Tonm}$$

$$M_{2,4} = 22,742 (2,4) - 0,77 (2,4)^2 = 50,15 \text{ Tonm}$$

$$M_{5,73} = 22,742 (5,73) - 0,77 (5,73)^2 = 104,97 \text{ Tonm}$$

$$M_{7,73} = 22,742 (7,73) - 0,77 (7,73)^2 = 129,75 \text{ Tonm}$$

$$M_{11,73} = 22,742 (11,73) - 0,77 (11,73)^2 = 160,84 \text{ Tonm}$$

$$M_{15,175} = 22,742 (15,175) - 0,77 (15,175)^2 = 167,88 \text{ Tonm}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$\begin{aligned}D_x &= R_A - q_2 * x \\ &= 24,742 - 1,54 x\end{aligned}$$

$$D_{0,4} = 24,742 - 1,54 (0,4) = 22,13 \text{ Ton}$$

$$D_{1,4} = 24,742 - 1,54 (1,4) = 20,59 \text{ Ton}$$

$$D_{2,4} = 24,742 - 1,54 (2,4) = 19,05 \text{ Ton}$$

$$D_{5,73} = 24,742 - 1,54 (5,73) = 13,93 \text{ Ton}$$

$$D_{7,73} = 24,742 - 1,54 (7,73) = 10,85 \text{ Ton}$$

$$D_{11,73} = 24,742 - 1,54 (11,73) = 4,69 \text{ Ton}$$

$$D_{15,175} = 24,742 - 1,54 (15,18) = -0,62 \text{ Ton}$$

4.4.3 Beban Diafragma

$$\begin{aligned}R_A &= \frac{1}{2} \times q_3 \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 0,13 \times 29,55 \\ &= 1,921 \text{ Ton}\end{aligned}$$

a. Momen pada jarak x dari A

$$\begin{aligned}M_x &= R_A * x - \frac{1}{2} q_3 * x^2 \\ &= 1,920 x - 0,065 x^2 \\ M_{0,4} &= 1,920 (0,4) - 0,065 (0,4)^2 &= 0,74 \text{ Tonm} \\ M_{1,4} &= 1,920 (1,4) - 0,065 (1,4)^2 &= 2,51 \text{ Tonm} \\ M_{2,4} &= 1,920 (2,4) - 0,065 (2,4)^2 &= 4,16 \text{ Tonm} \\ M_{5,73} &= 1,920 (5,73) - 0,065 (5,73)^2 &= 8,70 \text{ Tonm} \\ M_{7,73} &= 1,920 (7,73) - 0,065 (7,73)^2 &= 10,76 \text{ Tonm} \\ M_{11,73} &= 1,920 (11,73) - 0,065 (11,73)^2 &= 13,34 \text{ Tonm} \\ M_{15,175} &= 1,920 (15,175) - 0,065 (15,175)^2 &= 13,92 \text{ Tonm}\end{aligned}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$\begin{aligned}D_x &= R_A - q_3 * x \\ &= 1,920 - 0,13 x \\ D_{0,4} &= 1,920 - 0,13 (0,4) &= 1,83 \text{ Ton} \\ D_{1,4} &= 1,920 - 0,13 (1,4) &= 1,71 \text{ Ton} \\ D_{2,4} &= 1,920 - 0,13 (2,4) &= 1,58 \text{ Ton} \\ D_{5,73} &= 1,920 - 0,13 (5,73) &= 1,15 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$D_{7,73} = 1,920 - 0,13 (7,73) = 0,90 \text{ Ton}$$

$$D_{11,73} = 1,920 - 0,13 (11,73) = 0,39 \text{ Ton}$$

$$D_{15,175} = 1,920 - 0,13 (15,175) = -0,05 \text{ Ton}$$

4.4.4 Beban Aspal dan Air

$$\begin{aligned} R_A &= \frac{1}{2} \times q_4 \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 0,29 \times 29,55 \\ &= 4,285 \text{ Ton} \end{aligned}$$

a. Momen pada jarak x dari A

$$\begin{aligned} M_x &= R_A \cdot x - \frac{1}{2} q_4 \cdot x^2 \\ &= 4,285 x - 0,145 x^2 \\ M_{0,4} &= 4,285 (0,4) - 0,145 (0,4)^2 = 1,71 \text{ Tonm} \\ M_{1,4} &= 4,285 (1,4) - 0,145 (1,4)^2 = 5,80 \text{ Tonm} \\ M_{2,4} &= 4,285 (2,4) - 0,145 (2,4)^2 = 9,58 \text{ Tonm} \\ M_{5,73} &= 4,285 (5,73) - 0,145 (5,73)^2 = 20,06 \text{ Tonm} \\ M_{7,73} &= 4,285 (7,73) - 0,145 (7,73)^2 = 24,80 \text{ Tonm} \\ M_{11,73} &= 4,285 (11,73) - 0,145 (11,73)^2 = 30,74 \text{ Tonm} \\ M_{15,175} &= 4,285 (15,175) - 0,145 (15,175)^2 = 32,08 \text{ Tonm} \end{aligned}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$\begin{aligned} D_x &= R_A - q_4 \cdot x \\ &= 4,285 - 0,29 x \\ D_{0,4} &= 4,285 - 0,29 (0,4) = 4,23 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_{1,4} &= 4,285 - 0,29 (1,4) &= 3,93 \text{ Ton} \\
D_{2,4} &= 4,285 - 0,29 (2,4) &= 3,64 \text{ Ton} \\
D_{5,73} &= 4,285 - 0,29 (5,73) &= 2,66 \text{ Ton} \\
D_{7,73} &= 4,285 - 0,29 (7,73) &= 2,07 \text{ Ton} \\
D_{11,73} &= 4,285 - 0,29 (11,73) &= 0,90 \text{ Ton} \\
D_{15,175} &= 4,285 - 0,29 (15,175) &= -0,12 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

4.4.5 Beban Lalu Lintas D

$$\begin{aligned}
R_A &= \frac{1}{2} \times Q_{TD} \times L \\
&= \frac{1}{2} \times 1,67 \times 29,55 \\
&= 24,674 \text{ Ton}
\end{aligned}$$

a. Momen pada jarak x dari A

$$\begin{aligned}
M_x &= R_A \cdot x - \frac{1}{2} Q_{TD} \cdot x^2 \\
&= 24,674 x - 0,835 x^2 \\
M_{0,4} &= 24,674 (0,4) - 0,835 (0,4)^2 &= 9,71 \text{ Tonm} \\
M_{1,4} &= 24,674 (1,4) - 0,835 (1,4)^2 &= 32,81 \text{ Tonm} \\
M_{2,4} &= 24,674 (2,4) - 0,835 (2,4)^2 &= 54,25 \text{ Tonm} \\
M_{5,73} &= 24,674 (5,73) - 0,835 (5,73)^2 &= 113,55 \\
&\text{Tonm} \\
M_{7,73} &= 24,674 (7,73) - 0,835 (7,73)^2 &= 140,36 \\
&\text{Tonm} \\
M_{11,73} &= 24,674 (11,73) - 0,835 (11,73)^2 &= 173,99 \\
&\text{Tonm}
\end{aligned}$$

$$M_{15,175} = 24,674 (15,175) - 0,835 (15,175)^2 = 181,60 \text{ Tonm}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$D_x = R_A - Q_{TD} * x$$

$$= 24,674 - 1,67 x$$

$$D_{0,4} = 24,674 - 1,67 (0,4) = 23,93 \text{ Ton}$$

$$D_{1,4} = 24,674 - 1,67 (1,4) = 22,27 \text{ Ton}$$

$$D_{2,4} = 24,674 - 1,67 (2,4) = 20,60 \text{ Ton}$$

$$D_{5,73} = 24,674 - 1,67 (5,73) = 15,07 \text{ Ton}$$

$$D_{7,73} = 24,674 - 1,67 (7,73) = 11,74 \text{ Ton}$$

$$D_{11,73} = 24,674 - 1,67 (11,73) = 5,08 \text{ Ton}$$

$$D_{15,175} = 24,674 - 1,67 (15,175) = -0,67 \text{ Ton}$$

4.4.6 Beban Lalu Lintas T

a. Momen pada jarak x dari A

$$M_x = \frac{PTD (L-x) x}{L}$$

$$= \frac{12,691 (29,55-x) x}{29,55}$$

$$M_{0,4} = \frac{12,691 (29,55-0,4) 0,4}{29,55} = 5,01 \text{ Tonm}$$

$$M_{1,4} = \frac{12,691 (29,55-1,4) 1,4}{29,55} = 16,93 \text{ Tonm}$$

$$M_{2,4} = \frac{12,691 (29,55-2,4) 2,4}{29,55} = 27,98 \text{ Tonm}$$

$$M_{5,73} = \frac{12,691 (29,55-5,73) 5,73}{29,55} = 58,58 \text{ Tonm}$$

$$M_{7,73} = \frac{12,691 (29,55-7,73) 7,73}{29,55} = 72,41 \text{ Tonm}$$

$$M_{11,73} = \frac{12,691 (29,55-11,73) 11,73}{29,55} = 89,76 \text{ Tonm}$$

$$M_{15,73} = \frac{12,691 (29,55-15,73) 15,175}{15,175} = 93,69 \text{ Tonm}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{2} P_{TD} \\ &= \frac{1}{2} \times 12,691 \\ &= 6,35 \text{ Ton} \end{aligned}$$

4.4.7 Gaya Rem (TB)

$$(R_A \times L) - M_{TB} = 0$$

$$(R_A \times 29,55) - 14,33 = 0$$

$$29,55 R_A = 14,33$$

$$R_A = 0,48 \text{ Ton}$$

a. Momen pada jarak x dari A

$$M_x = R_A * X$$

$$M_{0,4} = 0,48 (0,4) = 0,19 \text{ Tonm}$$

$$M_{1,4} = 0,48 (1,4) = 0,68 \text{ Tonm}$$

$$M_{2,4} = 0,48 (2,4) = 1,16 \text{ Tonm}$$

$$M_{5,73} = 0,48 (5,73) = 2,78 \text{ Tonm}$$

$$M_{7,73} = 0,48 (7,73) = 3,75 \text{ Tonm}$$

$$M_{11,73} = 0,48 (11,73) = 5,69 \text{ Tonm}$$

$$M_{15,73} = 0,48 (15,73) = 7,36 \text{ Tonm}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$D_x = R_A$$

$$D = 0,48 \text{ Ton}$$

4.4.8 Pengaruh Temperatur (ET)

$$(R_A \times L) - M_{ET} = 0$$

$$(R_A \times 29,55) - 9,13 = 0$$

$$29,55 R_A = 9,13$$

$$R_A = 0,31 \text{ Ton}$$

a. Momen pada jarak x dari A

$$M_x = R_A * X$$

$$M_{0,4} = 0,31 (0,4) = 0,12 \text{ Tonm}$$

$$M_{1,4} = 0,31 (1,4) = 0,43 \text{ Tonm}$$

$$M_{2,4} = 0,31 (2,4) = 0,74 \text{ Tonm}$$

$$M_{5,73} = 0,31 (5,73) = 1,77 \text{ Tonm}$$

$$M_{7,73} = 0,31 (7,73) = 2,39 \text{ Tonm}$$

$$M_{11,73} = 0,31 (11,73) = 3,62 \text{ Tonm}$$

$$M_{15,175} = 0,31 (15,175) = 4,69 \text{ Tonm}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$D_x = R_A$$

$$D = 0,31 \text{ Ton}$$

4.4.9 Beban Angin (EW)

$$\begin{aligned}R_A &= \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 0,1 \times 29,55 \\ &= 1,489 \text{ Ton}\end{aligned}$$

a. Momen pada jarak x dari A

$$\begin{aligned}M_x &= R_A * x - \frac{1}{2} Q_{EW} * x^2 \\ &= 1,489 x - 0,05 x^2 \\ M_{0,4} &= 1,489 (0,4) - 0,05 (0,4)^2 = 0,59 \text{ Tonm} \\ M_{1,4} &= 1,489 (1,4) - 0,05 (1,4)^2 = 1,99 \text{ Tonm} \\ M_{2,4} &= 1,489 (2,4) - 0,05 (2,4)^2 = 3,28 \text{ Tonm} \\ M_{5,73} &= 1,489 (5,73) - 0,05 (5,73)^2 = 6,87 \text{ Tonm} \\ M_{7,73} &= 1,489 (7,73) - 0,05 (7,73)^2 = 8,50 \text{ Tonm} \\ M_{11,73} &= 1,489 (11,73) - 0,05 (11,73)^2 = 10,53 \text{ Tonm} \\ M_{15,175} &= 1,489 (15,175) - 0,05 (15,175)^2 = 10,99 \text{ Tonm}\end{aligned}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$\begin{aligned}D_x &= R_A - Q_{EW} * x \\ &= 1,489 - 0,10 x \\ D_{0,4} &= 1,489 - 0,10 (0,4) = 1,45 \text{ Ton} \\ D_{1,4} &= 1,489 - 0,10 (1,4) = 1,35 \text{ Ton} \\ D_{2,4} &= 1,489 - 0,10 (2,4) = 1,25 \text{ Ton} \\ D_{5,73} &= 1,489 - 0,10 (5,73) = 0,91 \text{ Ton}\end{aligned}$$

$$D_{7,73} = 1,489 - 0,10 (7,73) = 0,71 \text{ Ton}$$

$$D_{11,73} = 1,489 - 0,10 (11,73) = 0,31 \text{ Ton}$$

$$D_{15,175} = 1,489 - 0,10 (15,175) = -0,04 \text{ Ton}$$

4.4.10 Beban Gempa (EQ)

$$\begin{aligned} R_A &= \frac{1}{2} \times Q_{EQ} \times L \\ &= \frac{1}{2} \times 0,99 \times 29,55 \\ &= 14,569 \text{ Ton} \end{aligned}$$

a. Momen pada jarak x dari A

$$M_x = R_A \cdot x - \frac{1}{2} Q_{EQ} \cdot x^2 = 23,01 x - 0,536 x^2$$

$$M_{0,4} = 14,569 (0,4) - 0,495 (0,4)^2 = 5,75 \text{ Tonm}$$

$$M_{1,4} = 14,569 (1,4) - 0,495 (1,4)^2 = 19,43 \text{ Tonm}$$

$$M_{2,4} = 14,569 (2,4) - 0,495 (2,4)^2 = 32,13 \text{ Tonm}$$

$$M_{5,73} = 14,569 (5,73) - 0,495 (5,73)^2 = 67,26 \text{ Tonm}$$

$$M_{7,73} = 14,569 (7,73) - 0,495 (7,73)^2 = 83,14 \text{ Tonm}$$

$$M_{11,73} = 14,569 (11,73) - 0,495 (11,73)^2 = 103,07 \text{ Tonm}$$

$$M_{15,175} = 14,569 (15,175) - 0,495 (15,175)^2 = 107,57 \text{ Tonm}$$

b. Gaya Lintang pada jarak x dari A

$$D_x = R_A - Q_{EQ} \cdot x = 14,569 - 0,99 x$$

$$D_{0,4} = 14,569 - 0,99 (0,4) = 14,18 \text{ Ton}$$

$$D_{1,4} = 14,569 - 0,99 (1,4) = 13,19 \text{ Ton}$$

$$D_{2,4} = 14,569 - 0,99 (2,4) = 12,21 \text{ Ton}$$

$$D_{5,73} = 14,569 - 0,99 (5,73) = 8,93 \text{ Ton}$$

$$D_{7,73} = 14,569 - 0,99 (7,73) = 6,95 \text{ Ton}$$

$$D_{11,73} = 14,569 - 0,99 (11,73) = 3,01 \text{ Ton}$$

$$D_{15,175} = 23,01 - 1,07 (15,175) = -0,39 \text{ Ton}$$

4.4.11 Resume Perhitungan Momen

Tabel 4.5 Perhitungan Momen (Satuan dalam Tonm)

TYPE	KETERANGAN	POT 1	POT 2	POT 3	POT 4	POT 5	POT 6	POT 7
		0,40	1,40	2,40	5,73	7,73	11,73	15,175
MS	1. Balok Precast	9,85	33,28	55,02	115,17	142,36	176,47	184,19
Subtotal MS		9,85	33,28	55,02	115,17	142,36	176,47	184,19
MA	2. Plat Lantai & Parapet	8,97	30,33	50,15	104,97	129,75	160,84	167,88
	3. Beban Aspal & Air	1,71	5,80	9,58	20,06	24,80	30,74	32,08
	4. Beban Diafragma	0,74	2,51	4,16	8,70	10,76	13,34	13,92
Subtotal MA		11,43	38,64	63,89	133,74	165,31	204,92	213,88
TD	5. Beban Lalu Lintas D	9,71	32,81	54,25	113,55	140,36	173,99	181,60
	5. Beban Lalu Lintas T	5,01	16,93	27,98	58,56	72,41	89,76	93,69
Subtotal TD		14,71	49,73	82,23	172,13	212,77	263,75	275,29
TB	6. Gaya Rem	0,19	0,68	1,16	2,78	3,75	5,69	7,36
Subtotal TB		0,19	0,68	1,16	2,78	3,75	5,69	7,36
ET	7. Temperatur	0,12	0,43	0,74	1,77	2,39	3,62	4,69
Subtotal ET		0,12	0,43	0,74	1,77	2,39	3,62	4,69
EW	8. Beban Angin	0,59	1,99	3,28	6,87	8,50	10,53	10,99
Subtotal EW		0,59	1,99	3,28	6,87	8,50	10,53	10,99

EQ	9. Beban Gempa	5,75	19,43	32,13	67,26	83,14	103,07	107,57
Subtotal EQ		5,75	19,43	32,13	67,26	83,14	103,07	107,57
Kombinasi Beban 1 (MS+MA+TD+TB)		36,19	122,33	202,30	423,81	524,18	650,83	680,72
Kombinasi Beban 2 (MS+MA+TD+TB+ET)		36,31	122,76	203,04	425,58	526,57	654,45	685,41
Kombinasi Beban 3 (MS+MA+TD+TB+EW)		36,77	124,32	205,59	430,69	532,68	661,36	691,72
Kombinasi Beban 4 (MS+MA+TD+TB+ET+EW)		36,90	124,75	206,33	432,46	535,06	664,98	696,40
Kombinasi Beban 5 (MS+MA+EQ)		27,03	91,35	151,04	316,17	390,81	484,46	505,65

4.4.12 Resume Perhitungan Gaya Lintang

Tabel 4.6 Perhitungan Momen (Satuan dalam Tonm)

TYPE	KETERANGAN	POT 1	POT 2	POT 3	POT 4	POT 5	POT 6	POT 7
		0,40	1,40	2,40	5,73	7,73	11,73	15,175
MS	1. Balok Precast	24,28	22,59	20,90	15,28	11,91	5,15	-0,68
Subtotal MS		24,28	24,28	22,59	20,90	15,28	11,91	5,15
MA	2. Plat Lantai & Parapet	22,13	20,59	19,05	13,93	10,85	4,69	-0,62
	3. Beban Aspal & Air	4,23	3,93	3,64	2,66	2,07	0,90	-0,12
	4. Beban Diafragma	1,83	1,71	1,58	1,15	0,90	0,39	-0,05
Subtotal MA		28,19	28,19	26,23	24,27	17,75	13,82	5,98
TD	5. Beban Lalu Lintas D	23,93	22,27	20,60	15,07	11,74	5,08	-0,67
	5. Beban Lalu Lintas T	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35

Subtotal TD		30,28	28,61	29,95	21,41	18,08	11,42	5,68
TB	6. Gaya Rem	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Subtotal TB		0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
ET	7. Temperatur	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
Subtotal ET		0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
EW	8. Beban Angin	1,45	1,35	1,25	0,91	0,71	0,31	-0,04
Subtotal EW		1,45	1,35	1,25	0,91	0,71	0,31	-0,04
EQ	14,18	13,19	12,21	8,93	6,95	3,01	-0,39	-0,04
Subtotal EQ		14,18	13,19	12,21	8,93	6,95	3,01	-0,39
Kombinasi Beban 1 (MS+MA+TD+TB)		76,88	77,91	72,60	54,93	44,30	23,04	4,70
Kombinasi Beban 2 (MS+MA+TD+TB+ET)		77,19	78,22	72,91	55,24	44,61	23,35	5,01
Kombinasi Beban 3 (MS+MA+TD+TB+EW)		78,33	79,26	73,85	55,84	45,01	23,35	4,66
Kombinasi Beban 4 (MS+MA+TD+TB+ET+EW)		78,64	79,57	74,16	56,15	45,32	23,66	4,97
Kombinasi Beban 5 (MS+MA+EQ)		66,64	62,01	57,37	41,96	32,68	14,14	-1,85

4.5 Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon

4.5.1 Kondisi Awal (Saat Transfer)

Mutu beton Girder *Prestres*: K-500

Kuat Tekan Beton,

$$f_c' = 0,83 \cdot K \cdot 100$$

$$= 41500 \text{ kPa}$$

Kuat Tekan Beton pada keadaan awal (saat transfer),

$$f_{ci}' = 0,80 \cdot f_c'$$

$$= 33200 \text{ kPa}$$

Section Properties,

$$- W_a = 0,275 \text{ m}^3$$

- $W_b = 0,292 \text{ m}^3$
- $A = 0,6755 \text{ m}^3$

Ditetapkan jarak titik berat tendon terhadap alas balok, $Z_0=0,125 \text{ m}$

Eksintrisitas tendon, $e_s = y_b - Z_0 = 0,824 - 0,125 = 0,699 \text{ m}$

Momen akibat berat sendiri balok:

$$\begin{aligned} M_{\text{balok}} &= 1/8 \times Q_{\text{MS}} \times L^2 \\ &= 1/8 \times 16,9 \times 30,35^2 \\ &= 1944,432 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tegangan di serat atas,

$$0 = - Pt / A + Pt * e_s / Wa - M_{\text{balok}}/Wa \dots \dots \dots (1)$$

Tegangan di serat bawah,

$$0,6 * f_{ci}' = - Pt / A - Pt * e_s / Wb + M_{\text{balok}} / Wb \dots \dots \dots (2)$$

Besarnya gaya prategang awal,

Dari Persamaan (1):

$$Pt = M_{\text{balok}}/(e_s - Wa/A) = 6647,322 \text{ kN}$$

Dari persamaan (2):

$$Pt = [0,60 * f_{ci}' * Wb + M_{\text{balok}}] / (Wb / A + e_s) = 6859,502 \text{ kN}$$

Diambil besarnya gaya prategang (nilai terkecil), $Pt = 6647,322 \text{ kN}$

4.5.2 Kondisi Akhir

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untaiian “*Strands cable*” standar VSL, dengan data sbb:

Tabel 4.7 Data *Strands Cable* yang digunakan

DATA STRANDS CABLE – STANDAR VSL		
Jenis strands	Uncoated stress relieve seven wires strand (ASTM A416 Grade 270 Low Relaxation)	
Tegangan leleh strands, f_{py}	1674	Mpa

Kuat tarik strand, f_{pu}	1860	Mpa
Diameter nominal strands	12,7	mm
Luas tampang nominal satu strands, A_{st}	98,71	mm ²
Beban putus minial satu strands, P_{bs}	189,4	kN (100% UTS)
Diameter selubung ideal	84	Mm
Beban putus satu tendon, P_{b1}	3674	kN (100% UTS)
Modulus elastis strands, E_s	195000	Mpa

Gaya prategang awal, $P_t = 6647,322$ kN

Beban putus satu tendon, $P_{b1} = 3674$ kN

Beban putus minimal satu strand, $P_{bs} = 189,4$ kN

Gaya prategang saat jacking:

$$P_j = P_t / 0.85 \quad \text{persamaan (1)}$$

$$P_j = 0.80 * P_{b1} * n_t \quad \text{persamaan (2)}$$

Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh jumlah tendon yang diperlukan:

$$\begin{aligned} n_t &= P_t / (0,85 * 0,80 * P_{b1}) \\ &= 6647,322 / (0,85 * 0,80 * 3674) \\ &= 2,661 \text{ tendon} \end{aligned}$$

∴ diambil jumlah tendon, $n_t = 4$ tendon

Jumlah kawat untai (strands cable) yang diperlukan:

$$\begin{aligned} n_s &= P_t / (0,85 * 0,80 * P_{bs}) \\ &= 6647,322 / (0,85 * 0,80 * 189,4) \\ &= 51,613 \text{ strands} \end{aligned}$$

∴ diambil jumlah strands, $n_s = 52$ strands

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

$$\begin{aligned} p_o &= P_t / (0,85 * n_s * P_{bs}) * 100\% \\ &= 6647,322 / (0,85 * 52 * 189,4) * 100\% \end{aligned}$$

$$= 79,40\% < 80\% \text{ (OK)}$$

Gaya prategang yang terjadi akibat jacking:

$$\begin{aligned} P_j &= p_o * n_s * P_{bs} \\ &= 79,40\% * 68 * 189,4 \\ &= 7820,378 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (*loss of prestress*) = 30%

Gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan (*loss of prestress*) sebesar 30%:

$$\begin{aligned} P_{eff} &= 70\% * P_j \\ &= 70\% * 7820,378 \\ &= 5474,265 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.5.3 Posisi Tendon

A. Posisi Tendon di tengah bentang

Diambil jarak dari alas ke as baris tendon ke-1 $a = 0.12 \text{ m}$

Tabel 4.8 Posisi Tendon tengah bentang

Jumlah tendon baris ke-1	$n_{t1} =$	3	Jumlah strand	40
Jumlah tendon baris ke-2	$n_{t2} =$	1	Jumlah strand	12

$n_{total} = 4 \text{ buah}$

$n_s = 52 \text{ strands}$

Eksentrisitas, $e_s = 0,699 \text{ m}$

$Z_o = y_b - e_s$

$= 0,896 - 0,7709$

$= 0,125 \text{ m}$

$y_d = n_s (z_o - a) / n_2$

$= 52 (0,125 - 0,12) / 20$

$= 0,0217$

\therefore diambil $y_d = 0,16 \text{ m}$

Diameter selubung tendon, $dt = 0,084 \text{ m}$

Jarak bersih vertical antara selubung tendon,

$y_d - dt = 0,16 - 0,084$

$$= 0,076 \text{ m} > 25 \text{ mm (OK)}$$

B. Posisi Tendon di Tumpuan

Diambil jarak dari alas balok ke as baris tendon ke- 4:

$$a' = 0,20 \text{ m}$$

Tabel 4.9 Posisi Tendon Tumpuan

Jumlah tendon baris ke-1	nt1=	1	Jumlah strand	12
Jumlah tendon baris ke-2	nt2=	1	Jumlah strand	16
Jumlah tendon baris ke-3	nt3=	1	Jumlah strand	12
Jumlah tendon baris ke-4	nt4=	1	Jumlah strand	12

Jumlah strands, $n_s = 52$ strands

Y_e = letak titik berat tendon terhadap pusat tendon terbawah

Momen statis tendon terhadap pusat tendon terbawah:

Tabel 4.10 Momen statis tendon terhadap terbawah

ni	yd'	ni * yd'
12	0	0
16	1	16
12	2	24
12	3	36
$\sum ni * yd'$		76

$$\sum ni * yd' = n_s \times y_e$$

$$y_e / yd = [\sum ni * yd'] / n_s = 76 / 52 = 1,462$$

$$y_e = y_b - a' = 0,824 - 0,20 = 0,624 \text{ m}$$

$$yd' = y_e / [y_e / yd] = 0,596 / 1,439 = 0,427 \text{ m}$$

$$z_o = a' + y_e = y_b = 0,824 \text{ m}$$

C. Eksentrisitas Masing-masing Tendon

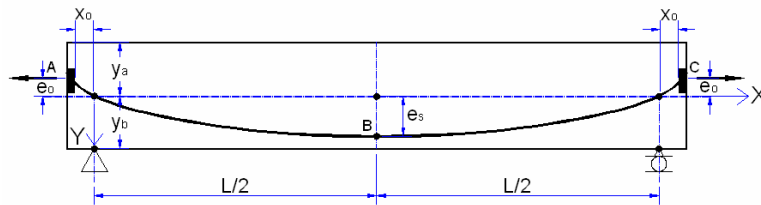
Tabel 4.11 Posisi Tendon

No Tendon	Posisi tendon di tumpuan	zi' (m)	No Tendon	Posisi tendon di tengah btg	zi (m)	fi (zi' - zi)
1	$Z1 = a' + 3yd'$	1,481	1	$z1 = a+yd$	0,28	1,201
2	$Z2 = a' + 2yd'$	1,054	2	$z2 = a$	0,12	0,934
3	$Z3 = a' + yd'$	0,627	3	$z3 = a$	0,12	0,51
4	$Z4 = a'$	0,20	4	$z4 = a$	0,12	0,08

4.6 Lintasan Inti Tendon (Cable)

Panjang Balok, $L = 30,35 \text{ m}$; $e_s = 0,699 \text{ m}$

Persamaan lintasan tendon : $Y = 4 * f * X / L^2 * (L - X)$, dengan $f = e_s$



Gambar 4.7 Lintasan Inti Tendon

Sumber : Google Picture

Tabel 4.12 Lintasan Inti Tendon

X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
0,0	0,000	11,0	0,646	22,0	0,558
1,0	0,089	12,0	0,668	23,0	0,513
2,0	0,172	13,0	0,685	24,0	0,463
3,0	0,249	14,0	0,695	25,0	0,406
4,0	0,320	15,0	0,699	26,0	0,343
5,0	0,385	16,0	0,697	27,0	0,275
6,0	0,443	17,0	0,689	28,0	0,200

7,0	0,496	18,0	0,675	29,0	0,119
8,0	0,543	19,0	0,655	30,0	0,032
9,0	0,583	20,0	0,628	30,35	0,000
10,0	0,618	21,0	0,596		

4.6.1 Sudut Angkur

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

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

Untuk $X = 0$ (Posisi angkur ditumpuan), maka $dY/dX = 4 * f_i / L$

Persamaan sudut angkur, $\alpha = \text{ATAN} (dY/dX)$

Tabel 4.13 Sudut Angkur

No Tendon	Jumlah Strands	Diameter Selubung	Eksen-trisitas	f _i (m)	dY/dX	Sudut Angkur			
						α ₁ =	rad =	α ₂ =	rad =
1	12	84	f ₁	1.20	0,158	α ₁ =	0,1569	rad =	8,995 °
2	16	84	f ₂	0.93	0.123	α ₂ =	0,1225	rad =	7,071 °
3	12	84	f ₃	0.51	0.067	α ₃ =	0,0667	rad =	3,823 °
4	12	84	f ₄	0.08	0.011	α ₄ =	0,0105	rad =	0,604 °

4.6.2 Letak Tendon

$L = 30,35 \text{ m}$ $f_1 = 1,20 \text{ m}$ $f_4 = 0,08 \text{ m}$ $Z_3 = 0,63 \text{ m}$

$F_o = e_s = 0,699 \text{ m}$ $f_2 = 0,93 \text{ m}$ $Z_1 = 1,48 \text{ m}$ $Z_4 = 0,20 \text{ m}$

$y_b = 0,824 \text{ m}$ $f_3 = 0,51 \text{ m}$ $Z_2 = 1,05 \text{ m}$

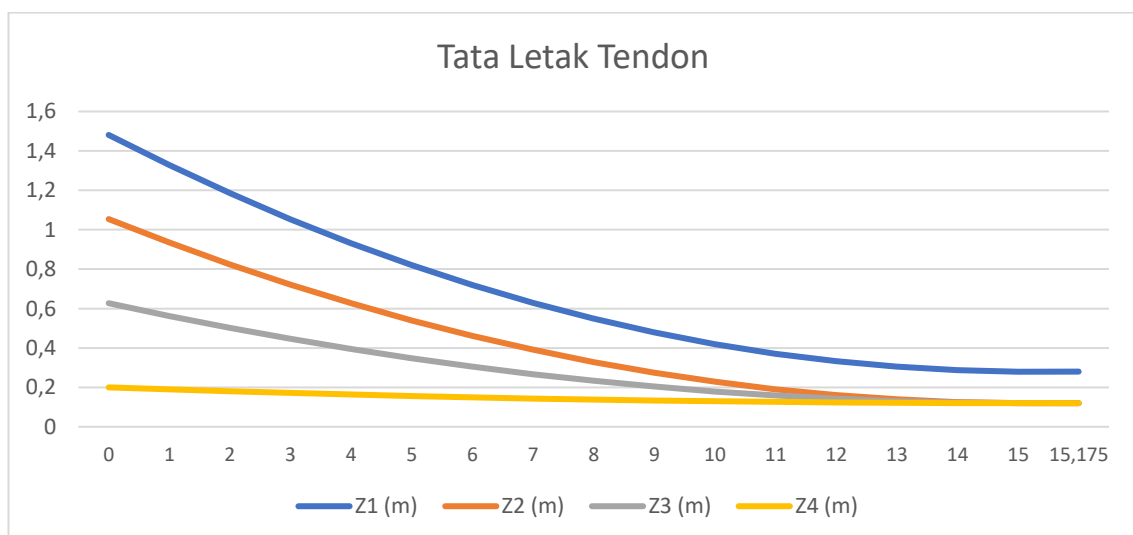
Posisi masing-masing cable: $z_i = z_i' - 4 * f_i * X / L^2 * (L - X)$

Tabel 4.14 Tata Letak Tendon

Sumber : Proposal Stressing Waskita Karya Tbk.

Jarak X (m)	Posisi masing-masing kabel			
	Z1 (m)	Z2 (m)	Z13 (m)	Z4 (m)

0	1,481	1,054	0,627	0,200
1	1,328	0,935	0,562	0,190
2	1,185	0,824	0,502	0,180
3	1,053	0,721	0,446	0,171
4	0,931	0,627	0,395	0,163
5	0,820	0,540	0,348	0,156
6	0,719	0,461	0,305	0,149
7	0,629	0,391	0,267	0,143
8	0,548	0,329	0,233	0,138
9	0,479	0,275	0,204	0,133
10	0,420	0,229	0,179	0,129
11	0,371	0,191	0,158	0,126
12	0,333	0,161	0,142	0,124
13	0,305	0,139	0,130	0,122
14	0,287	0,126	0,123	0,120
15	0,280	0,120	0,120	0,120
15,175	0,280	0,120	0,120	0,120



Grafik 4.1 Tata Letak Tendon

4.7 Kehilangan Tegangan (Loss of Prestress) pada Kabel

Gaya prategang yang terjadi (akibat jacking):

$$P_j = P_t / 0.85 = 6647,322 / 0.85 = 7820,378 \text{ kN}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (*loss of prestress*) = 30%

Gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan (loss of prestress) sebesar 30%:

$$P_{eff} = 70\% * P_j = 70\% * 7820,378 = 5474,265 \text{ kN}$$

4.7.1 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur (*Anchorage Friction*)

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

$$P_o = 97\% * P_j$$

$$P_o = 97\% * 7820,378$$

$$P_o = 7585,767 \text{ kN}$$

4.7.2 Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Cable (Jack Friction)

Sudut lintasan tendon dari ujung ke tengah:

$$\alpha_{AB} = 0.066 \text{ rad}$$

$$\alpha_{BC} = 0.066 \text{ rad}$$

$$\alpha = \alpha_{AB} + \alpha_{BC} = 0.132 \text{ rad}$$

$$\text{koefisien gesek, } \mu = 0.2$$

$$\text{koefisien wobble, } \beta = 0.012$$

$$\text{bilangan natural, } e = 2.7183$$

P_x pada $L_x = 15,175 \text{ m}$

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

$$P_x = 7585,767 * 2.7183^{(-0.2*(0.132+0.012*15,175))}$$

$$P_x = 7123,886 \text{ kN}$$

P_x pada $L_x = 35.8 \text{ m}$

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

$$P_x = 7585,767 * 2.7183^{(-0.2*(0.132+0.012*30,35))}$$

$$P_x = 6869,099 \text{ kN}$$

4.7.3 Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis (Elastic Shortening)

- Jarak titik berat tendon terhadap titik berat tampang balok,

$$e_s = 0.699\text{m}$$

- Momen inersia tampang balok beton,

$$I_x = 0.240\text{m}^4$$

- Luas tampang balok beton,

$$A = 0.6755 \text{ m}^2$$

- Modulus elastis balok beton,

$$E_{\text{balok}} = 34958,17 \text{ Mpa}$$

- Modulus elastis baja prategang,

$$E_s = 195000 \text{ Mpa}$$

- Jumlah total strands,

$$n_s = 52 \text{ strands}$$

- Luas tampang nominal satu strands

$$A_{\text{st}} = 0.0001 \text{ m}^2$$

- Beban putus satu strands,

$$P_{\text{bs}} = 189.4 \text{ kN}$$

- Momen akibat berat sendiri balok,

$$M_{\text{balok}} = 1944,432 \text{ kNm}$$

- Luas tampang tendon baja prategang,

$$\begin{aligned} A_t &= n_s \times A_{\text{st}} \\ &= 52 \times 0.0001 \\ &= 0.0052 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Modulus ratio antara baja prategang dengan balok beton,

$$n = \frac{E_s}{E_{\text{balok}}} = 5.578$$

- Jari-jari inersia penampang balok beton,

$$I = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 0.597 \text{ m}$$

$$K_e = \frac{A_t}{A} \cdot \left(1 + \frac{e_s^2}{i^2}\right) = 0.0180$$

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

$$\delta P_i = n_s \cdot \frac{P_{bs}}{A_t}$$

$$\delta P_i = 52 \cdot \frac{189,4}{0,0052}$$

$$\delta P_i = 1894000 \text{ kPa}$$

- Kehilangan tegangan pada baja akibat regangan *elastic* dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri:

$$\delta P_{e'} = \delta P_i \cdot n \cdot \frac{K_e}{(1 + n \cdot K_e)}$$

$$\delta P_{e'} = 189400 \cdot \frac{0,0228}{(1 + 82 \cdot 0,0228)}$$

$$\delta P_{e'} = 175094,617 \text{ kPa}$$

- Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaruh gaya prategang:

$$\delta b_t = \frac{\delta P_e}{n} - \frac{M_{balok} \cdot e_s}{I_x}$$

$$\delta b_t = \frac{175094,617}{5,578} - \frac{1944,432 \cdot 0,699}{0,240}$$

$$\delta b_t = 25739,056 \text{ kPa}$$

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

$$\Delta \delta P_e = \frac{1}{2} \cdot n \cdot \delta b_t$$

$$\Delta\delta Pe = \frac{1}{2} \cdot 5.578 \cdot 25739,056$$

$$\Delta\delta Pe = 71787,458 \text{ kPa}$$

- *Loss of prestress* akibat pemendekan elastis

$$\Delta Pe = \Delta\delta Pe \cdot A_t$$

$$\Delta Pe = 7187,458 \cdot 0.0052$$

$$\Delta Pe = 373,295 \text{ kN}$$

4.7.4 Kehilangan Tegangan Akibat Pengankuran (Anchoring)

$$\Delta L = 0.002 \text{ m (panjang tarik masuk berkisar antara 2-7 mm)}$$

$$E_s = 195000 \text{ MPa}$$

$$A_t = 0.0052 \text{ m}^2$$

$$P_o = 7585,767 \text{ kN}$$

$$P_x = 7123,886 \text{ kN}$$

$$L_x = 15,175 \text{ m}$$

- Kemiringan diagram gaya:

$$m = \tan \omega = (P_o - P_x) / L_x = 30,437 \text{ kN/m}$$

- Jarak pengaruh kritis slip ankur dari ujung:

$$L_{\max} = \sqrt{(\Delta L \cdot E_s \cdot \frac{A_t}{m})} = 8.163 \text{ m}$$

$$\Delta P = 2 \times L_{\max} \times \tan \omega = 496,895 \text{ kN}$$

- Loss of prestress akibat ankur:

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

$$P'_{\max} = 7585,767 - \frac{496,895}{2}$$

$$P'_{\max} = 7337,319 \text{ kN}$$

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

$$P_{\max} = 7337,319 - 496,895$$

$$P_{\max} = 8986.887 \text{ kN}$$

4.7.5 Kehilangan Tegangan Akibat Relaxation of Tendon

A. Pengaruh Susut (*Shrinkage*)

$$\Delta \epsilon_{su} = \epsilon_b \cdot k_b \cdot k_e \cdot k_p$$

ϵ_b = regangan dasar susut (basic shrinkage strain) pada kondisi kering udara dengan kelembaban <50%.

$$\epsilon_b = 0.006$$

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_e = koefisien yang tergantung pada tebal teoritis (e_m)

$$\text{luas penampang balok, } A = 0.6755 \text{ m}^2$$

$$\text{Keliling penampang balok, } K = 5.3768 \text{ m}$$

$$e_m = 2 \times A/k$$

$$e_m = 2 \times 0.6755/5.3768$$

$$e_m = 0.2513 \text{ m}$$

$$k_e = 0.734$$

k_p = koefisien yang tergantung pada luas tulangan baja memanjang non-prategang

Presentase luasan tulangan memanjang terhadap luas tampang balok, $p = 0.50\%$

$$k_p = \frac{100}{100+20 \cdot p}$$

$$k_p = 0.999$$

$$\Delta \epsilon_{su} = \epsilon_b \cdot k_b \cdot k_e \cdot k_p$$

$$\Delta \epsilon_{su} = 0.006 \cdot 0.905 \cdot 0.734 \cdot 0.999$$

$$\Delta \epsilon_{su} = 0.000398$$

Modulus elastisitas baja prategang (strand), $E_s = 195000000 \text{ kPa}$

Tegangan susut:

$$\delta_{sh} = \Delta \epsilon_{su} \cdot E_s$$

$$\delta_{sh} = 0.000398 \cdot 195000000$$

$$\delta_{sh} = 77641.948 \text{ kPa}$$

B. Pengaruh Rayapan (*Creep*)

P initial (keadaan saat transfer) di tengah bentang:

$$P_i = P_x - \Delta P_e$$

$$P_i = 7123,886 - 496,895$$

$$P_i = 6626,990 \text{ kN}$$

$$\frac{P_i}{n_s \cdot P_{bs}} = \frac{7123,886}{52 \cdot 189.4} = 67.29 \% \text{ UTS}$$

$$M_{balok} = 1944,432 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,275 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,292 \text{ m}^3$$

$$E_{balok} = 34958166,96 \text{ kPa}$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

$$A = 0,6755 \text{ m}$$

- Tegangan Beton di Serat Atas:

$$\begin{aligned} f_a &= \frac{-P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e_s}{W_a} + \frac{M_{balok}}{W_a} \\ f_a &= \frac{6626,990}{0,6755} - \frac{6626,990 \cdot 0,699}{0,275} + \frac{1944,432}{0,275} \\ f_a &= -19599,336 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Tegangan Beton di Serat Bawah:

$$\begin{aligned} f_b &= \frac{-P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e_s}{W_b} + \frac{M_{balok}}{W_b} \\ f_b &= \frac{-6626,990}{0,6755} - \frac{6626,990 \cdot 0,699}{0,292} + \frac{1944,432}{0,292} \\ f_b &= -601,991 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Regangan akibat *creep*, $\epsilon_{cr} = \left(\frac{f_c}{E_{balok}}\right) \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{tn}$

- K_c = kondisi kering udara < 50%, sehingga $k_c = 3$
- K_d = koefisien yang tergantung pada derajat pengerasan beton saat dibebani dan pada suhu rata-rata sekelilingnya selama pengerasan beton.
- Jumlah hari (t) dianggap = 30 hari

- Temperatur udara rata-rata, $T = 25^{\circ}\text{C}$
 - Umur pengerasan beton terkoreksi,

$$t' = t \times (T+10) / 30 = 35 \text{ hari}$$
 - Untuk semen tipe I, $K_d = 0.938$
 - K_{tn} = koefisien yang tergantung pada waktu (t) dimana pengerasan terjadi dan tebal teoritis (e_m),
 - untuk $t'=35$ hari dan $e_m = 0,251$ m, $k_{tn} = 0.2$
- $f_c = f_b = 601,992 \text{ kPa}$

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

$$\epsilon_{cr} = \left(\frac{601,992}{34958166,96} \right) \cdot 0.905 \cdot 3 \cdot 0.938 \cdot 0.734 \cdot 0.2$$

$$\epsilon_{cr} = 0.000006$$

- Tegangan akibat *creep*:

$$\delta_{cr} = \epsilon_{cr} \cdot E_s$$

$$\delta_{cr} = 0.000006 \cdot 195000000$$

$$\delta_{cr} = 1255,379 \text{ kPa}$$

$$\Delta\delta_{sc} = \delta_{cr} + \delta_{sh}$$

$$\Delta\delta_{sc} = 1255,379 + 77641.948$$

$$\Delta\delta_{sc} = 78897,327 \text{ kPa}$$

$$\delta P_i = \frac{P_i}{A_t}$$

$$\delta P_i = \frac{6626,990}{0.0052}$$

$$\delta P_i = 1274421,22 \text{ kPa}$$

- Besar tegangan terhadap UTS adalah = 67,29%

$$X=0 \rightarrow \delta P_i < 50\% \text{ UTS}$$

$$X=1 \rightarrow \delta P_i = 50\% \text{ UTS}$$

$$X=2 \rightarrow \delta P_i = 70\% \text{ UTS}$$

$$\text{Jadi, } X=1,864, \quad c = 2,50\%$$

$$\delta r = X \cdot c \cdot (\delta P_i - \Delta \delta_{sc})$$

$$\delta r = 1,864 \cdot 2,5\% \cdot (1274421,22 - 78897,327)$$

$$\delta r = 55722,304 \text{ kPa}$$

- *Loss of prestress* jangka panjang:

$$\Delta \delta_{sc} = \Delta \delta_{sc} + \delta r)$$

$$\Delta \delta_{sc} = 78897,327 + 55722,304$$

$$\Delta \delta_{sc} = 134619,631 \text{ kPa}$$

$$\Delta P = (\Delta \delta_{sc} + \delta r) \cdot A_t$$

$$\Delta P = (134619,631 + 55722,304) \cdot 0.0052$$

$$\Delta P = 700,022 \text{ kPa}$$

- Gaya efektif di tengah bentang balok:

$$P_{\text{eff}} = P_i - \Delta P$$

$$P_{\text{eff}} = 6626,990 - 700,022$$

$$P_{\text{eff}} = 5926,968 \text{ kN}$$

- Kehilangan gaya prategang total:

$$= 1 - \frac{P_{\text{eff}}}{P_j} \cdot 100\%$$

$$= 1 - \frac{5926,968}{7820,378} \cdot 100\%$$

$$= 24,211 \%$$

Cukup dekat dengan estimasi awal (kehilangan gaya prategang akhir = 30%) (OK)

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

- Tegangan ijin tendon baja pasca tarik

$$= 0.70 * f_{pu} = 0.70 * 1860000 = 1302000 \text{ kPa}$$

- Tegangan yang terjadi pada tendon baja pasca tarik:

$$f_p = \frac{P_{eff}}{A_t}$$

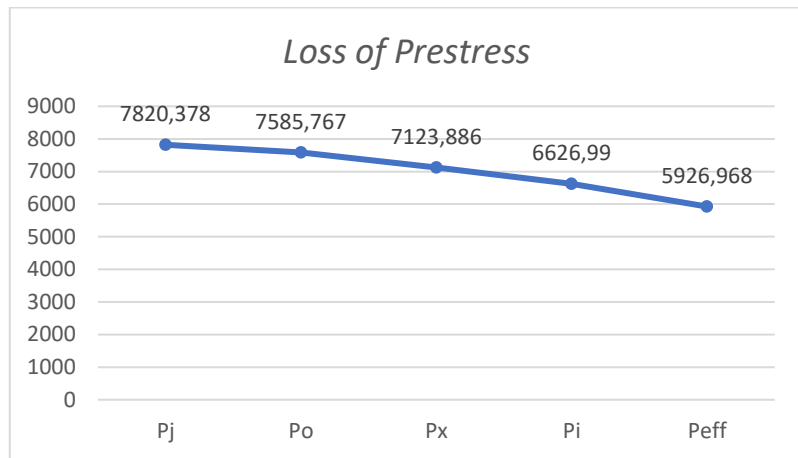
$$f_p = \frac{5926,968}{0.0052}$$

$$f_p = 1139801,589 \text{ kPa}$$

$$\therefore f_p < 0.70 \times f_{pu} = 1139801,589 \text{ kPa} < 1302000 \text{ kPa} \text{ (OK)}$$

Tabel 4.15 Rekapitulasi Kehilangan Prategang

Gaya	(kN)	Loss of prestress	%UTS
Pj	7820,378	<i>Anchorage friction</i>	53,214%
Po	7585,767	<i>Jack Friction</i>	51,618%
Px	7123,886	<i>Elastic shortening</i>	48,475%
Pi	6626,990	<i>Relaxation of tendon</i>	45,094%
Peff	5926,968	Prategang efektif	40,330%
Loss of prestress			24,211%



Grafik 4.2 Rekapitulasi Kehilangan Prategang

4.8 Tegangan yang Terjadi Pada Penampang Balok

Pada peraturan perencanaan teknik jembatan (Bridge Design Code), tegangan beton sesaat setelah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadi kehilangan tegangan sebelum fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut:

- A. Tegangan serat tekan terluar harus $\leq 0.60 \cdot f_c'$ dengan $f_{ci}' = 0.80 f_c'$
- B. Tegangan serat tarik terluar harus $\leq 0.50 \cdot \sqrt{f_{ci}'}$ dengan $f_{ci}' = 0.80 f_c'$

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

- A. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati, dan beban hidup $\leq 0.45 \cdot f_c'$
- B. Tegangan serat tarik terluar pada awalnya mengalami tekan $\leq 0.50 \cdot \sqrt{f_{ci}'}$

4.8.1 Pada Keadaan Awal (Saat Transfer)

Mutu beton balok prategang K - 500

Kuat tekan beton $f_c' = 42300 \text{ kPa}$

Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer):

$$f_{ci}' = 33200 \text{ kPa}$$

Tegangan ijin beton $-0.6 \cdot f_{ci}' = -19920 \text{ kPa}$

$$P_t = 6647,322 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 1944,432 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,275 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,292 \text{ m}^3$$

$$A = 0,6755 \text{ m}^2$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

- Tegangan di serat atas:

$$f_{ca} = -\frac{P_t}{A} + \frac{P_t \cdot e_s}{W_a} + \frac{M_{\text{balok}}}{W_a}$$

$$f_{ca} = -\frac{6647,322}{0,6755} + \frac{6647,322 \cdot 0,699}{0,275} + \frac{1944,432}{0,275}$$

$$f_{ca} = 0 \text{ kPa}$$

- Tegangan di serat bawah:

$$f_{cb} = -\frac{P_t}{A} + \frac{P_t \cdot e_s}{W_b} + \frac{M_{\text{balok}}}{W_b}$$

$$f_{cb} = -\frac{6647,322}{0,292} + \frac{6647,322 \cdot 0,699}{0,292} + \frac{1944,432}{0,292}$$

$$f_{cb} = -19097,786 \text{ kPa}$$

∴ $f_b < -0.6 \cdot f_{ci}' \rightarrow$ AMAN ((-) hanya untuk arah)

4.8.2 Keadaan setelah loss of prestress

Mutu beton balok prategang K - 500

Kuat tekan beton $f_c' = 42300 \text{ kPa}$

Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer):

$$f_{ci}' = 33200 \text{ kPa}$$

Tegangan ijin beton $-0.45 \cdot f_c' = -19035 \text{ kPa}$

$$P_{\text{eff}} = 5926,968 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 1944,432 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,275 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,292 \text{ m}^3$$

$$A = 0,6755 \text{ m}^2$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

- Tegangan di serat atas:

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

$$f_a = -\frac{5926,968}{0,6755} + \frac{5926,968 \cdot 0,699}{0,275} + \frac{1944,432}{0,275}$$

$$f_a = -767,333 \text{ kPa}$$

- Tegangan di serat bawah:

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

$$f_b = -\frac{5926,968}{0,6755} + \frac{5926,968 \cdot 0,699}{0,292} + \frac{1944,432}{0,292}$$

$$f_b = -16306,366 \text{ kPa}$$

∴ $f_b < -0.45 \cdot f_{ci}' \rightarrow$ AMAN ((-) hanya untuk arah)

4.8.3 Keadaan setelah plat lantai selesai dicor (beton muda)

Mutu beton balok prategang K - 500

Kuat tekan beton $f_{c}' = 43200 \text{ kPa}$

Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer):

$$f_{ci}' = 33200 \text{ kPa}$$

Tegangan ijin beton $-0.45 \cdot f_{c}' = -19035 \text{ kPa}$

$$P_{eff} = 5926,958 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 1944,432 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{plat} &= \frac{1}{8} \cdot Q_{plat} \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 11,1 \cdot 29,55^2 \\ &= 1211,568 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{balok+plat} = M_{balok} + M_{plat} = 3156 \text{ kNm}$$

$$W_a = 0,275 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,292 \text{ m}^3$$

$$A = 0,6755 \text{ m}^2$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

- Tegangan di serat atas:

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

$$f_a = -\frac{5926,968}{0,6755} + \frac{5926,968 \cdot 0,699}{0,275} + \frac{3156}{0,275}$$

$$f_a = -5179,381 \text{ kPa}$$

- Tegangan di serat bawah:

$$\begin{aligned}
 f_b &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_b} + \frac{M_{balok+plat}}{W_b} \\
 f_b &= -\frac{5926,968}{0,6755} + \frac{5926,968 \cdot 0,699}{0,292} + \frac{3156}{0,292} \\
 f_b &= -12155,888 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

$\therefore f_b < -0.45 \cdot f_{ci}' \rightarrow$ AMAN ((-) hanya untuk arah)

4.8.4 Keadaan setelah plat dan balok menjadi komposit

Mutu beton balok prategang K - 500

Kuat tekan beton $f_c' = 42300 \text{ kPa}$

Kuat tekan beton pada kondisi awal (saat transfer):

$$f_{ci}' = 33200 \text{ kPa}$$

Tegangan ijin beton $-0.45 \cdot f_c' = -19035 \text{ kPa}$

$$P_{eff} = 5926,968 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 1944,432 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{plat} &= \frac{1}{8} \cdot Q_{plat} \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 11,1 \cdot 29,55^2 \\
 &= 1211,568 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_{balok+plat} = M_{balok} + M_{plat} = 3156 \text{ kNm}$$

$$W_{ac} = 1,071 \text{ m}^3$$

$$W'_{ac} = 1,591 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,693 \text{ m}^3$$

$$A_c = 1,055 \text{ m}^2$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

Eksentrisitas tendon untuk penampang komposit

$$\begin{aligned}
 e's &= e_s + (y_{bc} - y_b) \\
 &= 0,699 + 0,360 \\
 &= 1,059
 \end{aligned}$$

- Tegangan di serat atas plat:

$$\begin{aligned}
 f_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_{ac}} + \frac{M_{balok+plat}}{W_{ac}} \\
 f_{ac} &= -\frac{5926,968}{1,055} + \frac{5926,968 \cdot 0,699}{1,071} + \frac{3156}{1,071} \\
 f_{ac} &= -4694,261 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

- Tegangan di serat atas:

$$f'_{ac} = -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e/s}{W'_{ac}} + \frac{M_{balok+plat}}{W'_{ac}}$$

$$f'_{ac} = -\frac{5926,968}{1,055} + \frac{5926,968 \cdot 1,059}{1,591} + \frac{3156}{1,591}$$

$$f'_{ac} = -7578,562 \text{ kPa}$$

- Tegangan di serat bawah:

$$f_{bc} = -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e/s}{W_{bc}} + \frac{M_{balok+plat}}{W_{bc}}$$

$$f_{bc} = -\frac{5926,968}{1,055} + \frac{5926,968 \cdot 0,699}{0,693} + \frac{3156}{0,692}$$

$$f_{bc} = -10124,354 \text{ kPa}$$

∴ $f_b < -0.45 \cdot f_{ci}$ → AMAN ((-) hanya untuk arah)

4.9 Kontrol Lendutan Balok

$$E_{balok} = 34958167 \text{ kPa}$$

$$I_x = 0,241 \text{ m}^4$$

$$L = 30,35 \text{ m}$$

4.9.1 Lendutan Pada Balok *Prestress* (Sebelum Komposit)

A. Lendutan pada keadaan awal (transfer)

$$P_t = 6647,322 \text{ kN}$$

$$M_{balok} = 1944,432 \text{ kNm}$$

$$e/s = 0,699 \text{ m}$$

$$Q_{pt1} = 8 \cdot P_t \cdot \frac{e/s}{L^2}$$

$$Q_{pt1} = 8 \cdot 6647,322 \cdot \frac{0,699}{30,35^2}$$

$$Q_{pt1} = 40,357 \text{ kN/m}$$

$$Q_{balok} = 8 \cdot P_t \cdot \frac{M_{balok}}{L^2}$$

$$Q_{balok} = 8 \cdot 6647,322 \cdot \frac{1944,432}{30,35^2}$$

$$Q_{balok} = 16,888 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-Q_{pt1} + Q_{balok}) \cdot \frac{L^4}{(E_{balok} \cdot I_x)}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-40,357 + 16,888) \cdot \frac{30,35^4}{(34958167 \cdot 0,241)}$$

$$\delta = -0.0308 \text{ m (ke atas)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

B. Lendutan setelah *Loss of Prestress*

$$P_{\text{eff}} = 5926,968 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok}} = 1944,432 \text{ kNm}$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 8 \cdot P_{\text{eff}} \cdot \frac{e_s}{L^2}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 8 \cdot 5926,968 \cdot \frac{0,699}{30,35^2}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 35,985 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok}} = 8 \cdot P_{\text{eff}} \cdot \frac{M_{\text{balok}}}{L^2}$$

$$Q_{\text{balok}} = 8 \cdot 5926,968 \cdot \frac{1944,432}{30,35^2}$$

$$Q_{\text{balok}} = 16,888 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-Q_{\text{Peff}} + Q_{\text{balok}}) \cdot \frac{L^4}{(E_{\text{balok}} \cdot I_x)}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-35,985 + 16,888) \cdot \frac{30,35^4}{(34958167 \cdot 0,241)}$$

$$\delta = -0.0251 \text{ m (ke atas)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

C. Lendutan Setelah Plat di Cor (Beton Muda)

$$P_{\text{eff}} = 5926,968 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok+plat}} = 3156 \text{ kNm}$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 8 \cdot P_{\text{eff}} \cdot \frac{e_s}{L^2}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 8 \cdot 5926,968 \cdot \frac{0,699}{30,35^2}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 35,984 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok+plat}} = 8 \cdot P_{\text{eff}} \cdot \frac{M_{\text{balok+plat}}}{L^2}$$

$$Q_{\text{balok+plat}} = 8 \cdot 5926,968 \cdot \frac{3156}{30,35^2}$$

$$Q_{\text{balok+plat}} = 27,411 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-Q_{\text{Peff}} + Q_{\text{balok + plat}}) \cdot \frac{L^4}{(E_{\text{balok}} \cdot I_x)}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-35,984 + 27,411) \cdot \frac{30,35^4}{(34958167 \cdot 0,241)}$$

$$\delta = -0.0113 \text{ m (ke atas)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

D. Lendutan setelah plat dan balok menjadi komposit

$$P_{\text{eff}} = 5926,968 \text{ kN}$$

$$M_{\text{balok+plat}} = 3156 \text{ kNm}$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

$$e'_s = 1,059 \text{ m}$$

$$I_{xc} = 0,820 \text{ m}^4$$

$$Q_{\text{Peff}} = 8 \cdot P_{\text{eff}} \cdot \frac{e'_s}{L^2}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 8 \cdot 5926,968 \cdot \frac{1,059}{30,35^2}$$

$$Q_{\text{Peff}} = 54,532 \text{ kN/m}$$

$$Q_{\text{balok+plat}} = 8 \cdot P_{\text{eff}} \cdot \frac{M_{\text{balok+plat}}}{L^2}$$

$$Q_{\text{balok+plat}} = 8 \cdot 5926,968 \cdot \frac{3156}{30,35^2}$$

$$Q_{\text{balok+plat}} = 29.681 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-Q_{\text{Peff}} + Q_{\text{balok + plat}}) \cdot \frac{L^4}{(E_{\text{balok}} \cdot I_x)}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-55,532 + 27,410) \cdot \frac{30,35^4}{(34958167 \cdot 0,820)}$$

$$\delta = -0.0105 \text{ m (ke atas)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

4.9.2 Lendutan Pada Balok Komposit

Section properties:

$$E_{\text{balok}} = 34958166,964 \text{ kPa}$$

$$I_{xc} = 0,820 \text{ m}^4$$

$$L = 30,35 \text{ m}$$

$$P_{\text{eff}} = 5474,265 \text{ kN}$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

$$e'_s = 1,059 \text{ m}$$

$$A_c = 1,055 \text{ m}^2$$

$$W_{ac} = 1,0714 \text{ m}^3$$

$$W_{bc} = 0,693 \text{ m}^3$$

A. Lendutan Akibat Beban Sendiri (MS)

$$Q_{MS} = 16,888 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot Q_{MS} \cdot \frac{L^4}{E_{balok} \cdot I_{xc}}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot 16,888 \cdot \frac{30,35^4}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta = 0,0651 \text{ m (ke bawah)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

B. Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

$$Q_{MA} = 19,634 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot Q_{MA} \cdot \frac{L^4}{E_{balok} \cdot I_{xc}}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot 19,634 \cdot \frac{30,35^4}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta = 0,0075 \text{ m (ke bawah)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

C. Lendutan Akibat *Prestress* (PR)

$$P_{eff} = 5926,968 \text{ kN}$$

$$e_s = 0,699 \text{ m}$$

$$Q_{peff} = 8 \cdot P_{eff} \cdot \frac{e_s}{L^2}$$

$$Q_{peff} = 8 \cdot 5926,968 \cdot \frac{0,699}{30,35^2}$$

$$Q_{peff} = 35,984 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-Q_{peff}) \cdot \frac{L^4}{E_{balok} \cdot I_{xc}}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot (-35,984) \cdot \frac{30,35^4}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta = -0,013 \text{ m (ke atas)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

D. Lendutan Akibat Susut dan Rangkak

1. Lendutan Akibat Susut (*Shrinkage*)

$$A_{plat} = B_{eff} \times h_o$$

$$= 1,521 \times 0,25$$

$$= 0,380 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{plat}} = 25135114,88 \text{ kPa}$$

$$e = 2,7183 \text{ (bilangan natural)}$$

$$n = 0,657$$

$$k_b = 0,905$$

$$k_c = 3$$

$$k_d = 0,938$$

$$k_e = 0,734$$

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

$$k_p = 0,999001$$

$$\epsilon_b = 0,0006$$

$$\Delta \epsilon_{su} = \epsilon_b \cdot k_b \cdot k_e \cdot k_p$$

$$\Delta \delta_{su} = 0,0006 \cdot 0,905 \cdot 0,734 \cdot 0,999$$

$$\Delta \epsilon_{su} = 0,00039816$$

$$c_f = k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot (1 - k_{tn})$$

$$= 0,905 \cdot 3 \cdot 0,938 \cdot 0,734 \cdot (1 - 0,2)$$

$$= 1,49540$$

$$P_s = A_{\text{plat}} \cdot E_{\text{plat}} \cdot \Delta \epsilon_{su} \cdot n \cdot [(1 - e^{-c_f})/c_f]$$

$$= 0,380 \cdot 25135114,88 \cdot 0,00039816 \cdot 0,657 \cdot$$

$$[(1 - 2,7183^{1,49540})/1,49540]$$

$$= 1297,324 \text{ kN}$$

$$e's = 1,059$$

$$Q_{ps} = 8 \cdot P_s \cdot \frac{e's}{L^2}$$

$$Q_{ps} = 8 \cdot 1297,324 \cdot \frac{1,0594}{30,35^2}$$

$$Q_{ps} = 11,936 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot Q_{ps} \cdot \frac{L^4}{E_{\text{balok}} \cdot I_{xc}}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot 11,936 \cdot \frac{30,35^4}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta = 0,0046 \text{ m} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

2. Lendutan Akibat Rangkak (*Creep*)

Lendutan pada balok setelah plat lantai selesai dicor (beton muda):

$$Q_{peff} = 35,984 \text{ kN/m}$$

$$M_{balok + plat} = 3156 \text{ kNm}$$

$$Q_{peff} = 8 \cdot P_{eff} \cdot \frac{e's}{L^2}$$

$$Q_{peff} = 8 \cdot 3156 \cdot \frac{0,699}{30,35^2}$$

$$Q_{peff} = 35,984 \text{ kN/m}$$

$$Q_{balok + plat} = 8 \cdot \frac{m_{balok + plat}}{L^2}$$

$$Q_{balok + plat} = 8 \cdot \frac{3156}{30,35^2}$$

$$Q_{balok + plat} = 27,410 \text{ kN/m}$$

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot (-Q_{peff} + Q_{balok+plat}) \cdot \frac{L^4}{E_{balok} \cdot I_{xc}}$$

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot (-35,984 + 27,410) \cdot \frac{30,35^4}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta_1 = -0,0033 \text{ m} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

Lendutan pada balok setelah plat lantai dan balok menjadi komposit:

$$Q_{peff} = 8 \cdot P_{eff} \cdot \frac{e's}{L^2}$$

$$Q_{peff} = 8 \cdot 5926,968 \cdot \frac{1,059}{30,35^2}$$

$$Q_{peff} = 55,719 \text{ kN/m}$$

$$Q_{balok + plat} = 8 \cdot \frac{m_{balok + plat}}{L^2}$$

$$Q_{\text{balok + plat}} = 8 \cdot \frac{3156}{30,35^2}$$

$$Q_{\text{balok + plat}} = 27,410 \text{ kN/m}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot (-Q_{\text{peff}} + Q_{\text{balok+plat}}) \cdot \frac{L^4}{E_{\text{balok}} \cdot I_{\text{xc}}}$$

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot (-54,532 + 27,410) \cdot \frac{30,35^4}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta_2 = -0,0105 \text{ m (ke atas)}$$

Lendutan superposisi akibat susut dan rangkai:

$$\delta = \delta_2 - \delta_1$$

$$\delta = -0,0105 - 0,0033$$

$$\delta = -0,0072 \text{ m (ke atas)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

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

$$Q_{\text{TD}} = 16,65 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{TD}} = 129,91 \text{ kN}$$

$$\delta = \frac{1}{48} \cdot P_{\text{TD}} \cdot \frac{L^3}{E_{\text{balok}} \cdot I_{\text{xc}}} + \frac{5}{384} \cdot Q_{\text{TD}} \cdot \frac{L^4}{E_{\text{balok}} \cdot I_{\text{xc}}}$$

$$\delta = \frac{1}{48} \cdot 126,91 \cdot \frac{30,35^3}{34958166,964 \cdot 0,820} + \frac{5}{384} \cdot 16,65 \cdot \frac{43,8^4}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta = 0,0089 \text{ m (ke bawah)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

F. Lendutan Akibat Beban Rem (TB)

$$M_{\text{TB}} = 143,28 \text{ kNm}$$

$$\delta = 0,0642 \cdot M_{\text{TB}} \cdot \frac{L^2}{E_{\text{balok}} \cdot I_{\text{xc}}}$$

$$\delta = 0,0642 \cdot 117,49 \cdot \frac{30,35^2}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta = 0,00024 \text{ m (ke bawah)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

G. Lendutan Akibat Beban Angin (EW)

$$Q_{\text{EW}} = 1,008 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot Q_{EW} \cdot \frac{L^4}{E_{balok} \cdot I_{xc}}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot 1.008 \cdot \frac{30,35^4}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta = 0,00039 \text{ m (ke bawah)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

H. Lendutan Akibat Temperatur (ET)

$$M_{ET} = 91,31 \text{ kNm}$$

$$\delta = 0.0642 \cdot M_{ET} \cdot \frac{L^2}{E_{balok} \cdot I_{xc}}$$

$$\delta = 0.0642 \cdot 91,31 \cdot \frac{30,35^2}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta = 0,00019 \text{ m (ke bawah)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

I. Lendutan Akibat Beban Gempa (EQ)

$$Q_{EQ} = 9,861 \text{ kN/m}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot Q_{EW} \cdot \frac{L^4}{E_{balok} \cdot I_{xc}}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot 9,861 \cdot \frac{30,35^4}{34958166,964 \cdot 0,820}$$

$$\delta = 0,00380 \text{ m (ke bawah)} \rightarrow < L/250 \text{ (OK)}$$

4.9.3 Kontrol Lendutan Terhadap Kombinasi Beban

Lendutan maksimum yang diijinkan, $\delta = \frac{L}{300} = 0,101 \text{ m}$

A. Kombinasi 1 (MS+MA+(SR+PR)+TD+TB)

Lend	Berat Sendiri (MS)	Mati Tamb. (MA)	Susut Rangkak (SR)	Pra-tegang (PR)	Lajur "D" (TD)	Rem (TB)	Lend. KOMB	Ket.
δ	0,007	0,008	-0,007	-0,014	0,009	0,00024	0,0023	< L/300 (OK)

B. Kombinasi 2 (MS+MA+(SR+PR)+TD+TB+ET)

Lend	Berat Sen- diri (MS)	Mati Tamb. (MA)	Susut Rang- kak (SR)	Pra- tegang (PR)	Lajur “D” (TD)	Rem (TB)	Tem- peratur (ET)	Lend. KOMB	Ket.
δ	0,007	0,008	-0,014	-0,014	0,009	0,00024	0,00019	0,0024	<L/300 (OK)

C. Kombinasi 3 (MS+MA+(SR+PR)+TD+TB+EW)

Lend	Berat Sen- diri (MS)	Mati Tamb. (MA)	Susut Rang- kak (SR)	Pra- tegang (PR)	Lajur “D” (TD)	Rem (TB)	Angin (EW)	Lend. KOMB	Ket.
δ	0,007	0,008	-0,007	-0,014	0,009	0,00024	0,0004	0,0026	<L/ 300 (OK)

D. Kombinasi 4 (MS+MA+(SR+PR)+TD+TB+ET+EW)

Lend	Berat Sen- diri (MS)	Mati Tamb. (MA)	Susut Rang- kak (SR)	Pra- tegang (PR)	Lajur “D” (TD)	Rem (TB)	Tem- peratur (ET)	Angin (EW)	Lend. KOMB	Ket.
δ	0,007	0,008	-0,007	-0,014	0,009	0,00024	0,00019	0,0004	0,0028	<L/300 (OK)

E. Kombinasi 5 (MS+MA+(SR+PR)+EQ)

Lend	Berat Sendiri (MS)	Mati Tambahan (MA)	Susut Rangkak (SR)	Prategang (PR)	Gempa (EQ)	Lend. KOMB	Ket.
δ	0,007	0,008	-0.007	-0,014	0,0038	-0.0031	<L/300 (OK)

4.10 Perhitungan End Block

Tabel 4.16 End Block

No Cable	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		ns	Pbs (kN)	Po	Pj (Kn)	Sudut (°)
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)					
1	19	265	19	250	12	189,4	79,404%	1804,7	8,995
2	19	265	19	250	16	189,4	79,404%	2406,27	7,018
3	19	265	19	250	12	189,4	79,404%	1804,7	3,823
4	19	265	19	250	12	189,4	79,404%	1804,7	0,604

- Gaya prategang akibat jacking pada masing-masing cable:

$$P_j = p_o * n_s * P_{bs}$$

- Momen statis penampang balok

$$y_a = 0,876 \text{ m}$$

$$y_b = 0,824 \text{ m}$$

- Momen statis luasan (bagian atas):

Tabel 4.17 Momen Statis luasan bagian atas

No	TINGGI BAGIAN	LEBAR		Shape	Luas A (m ²)	Lengan y (m)	Momen A*y (m ³)
		BOTTOM	TOP				
1	0,05	0,64	0,64	1	0,032	0,851	0,027
2	0,15	0,80	0,80	1	0,120	0,751	0,090
3	0,12	0,20	0,80	1	0,060	0,604	0,036
4	0,56	0,20	0,20	1	0,111	0,278	0,031
Sxa							0,184

- Momen statis luasan (bagian bawah):

Tabel 4.18 Momen Statis luasan bagian bawah

No	TINGGI BAGIAN	LEBAR		Shape	Luas A (m ²)	Lengan y (m)	Momen A*y (m ³)
		BOTTOM	TOP				
4	0,32	0,20	0,20	1	0,065	0,162	0,010
5	0,25	0,70	0,20	1	0,113	0,452	0,051
6	0,25	0,70	0,70	1	0,175	0,699	0,122
Sxb							0,184

4.10.1 Perhitungan Senggang Untuk Bursting Force

A. Arah vertikal:

- Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk senggang

$$r_a = a_1/a$$
- Bursting force untuk senggang

$$P_{bta} = 0.30 * (1 - r_a) * p_j$$
- Luas tulangan senggang yang diperlukan

$$A_{ra} = P_{bta} / (0.85 * f_s)$$
- Jumlah senggang yang diperlukan:

$$n = A_{ra} / A_s$$

B. Arah horizontal:

- Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang

$$r_b = b_1/b$$

- Bursting force untuk sengkang

$$P_{btb} = 0.30 * (1 - r_b) * p_j$$

- Luas tulangan sengkang yang diperlukan

$$A_{rb} = P_{btb} / (0.85 * f_s)$$

- Jumlah sengkang yang diperlukan

$$n = A_{rb} / A_s$$

f_s = tegangan ijin Tarik baja sengkang

$$f_y = 390000 \text{ Kpa}$$

$$f_s = 0.578 * 390000 = 225420 \text{ Kpa}$$

Digunakan sengkang tertutup berdiameter 4 D 13

Luas penampang sengkang:

$$A_s = 4 * \frac{1}{4} * 3.14 * D^2$$

$$= 4 * \frac{1}{4} * 3.14 * 13^2$$

$$= 530.66 \text{ mm}^2 = 0.000531 \text{ m}^2$$

- Perhitungan Sengkang Arah Vertikal:

Tabel 4.19 Perhitungan Sengkang Arah Vertikal

No Cable	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		Pj (kN)	a1	a	ra	Pbta	Ara	Tot. Seng- kang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	250	1804,7027	250	298	0,8389	87,207	0,004	7,674
2	19	265	19	250	2406,2703	350	398	0,8794	87,061	0,005	8,562
3	19	265	19	250	1804,7027	350	398	0,8794	65,296	0,003	6,422
4	19	265	19	250	1804,7027	350	398	0,8794	65,296	0,003	6,422

- Perhitungan Sengkang Arah Horizontal:

Tabel 4.20 Perhitungan Sengkang Arah Horizontal

No Cable	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		Pj (kN)	b1	b	rb	Pbtb	Arb	Tot. Seng- kang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)							
1	19	265	19	250	1804,7027	250	298	0,8389	87,207	0,004	7,674
2	19	265	19	250	2406,2703	350	398	0,8794	87,061	0,005	8,562
3	19	265	19	250	1804,7027	350	398	0,8794	65,296	0,003	6,422
4	19	265	19	250	1804,7027	350	398	0,8794	65,296	0,003	6,422

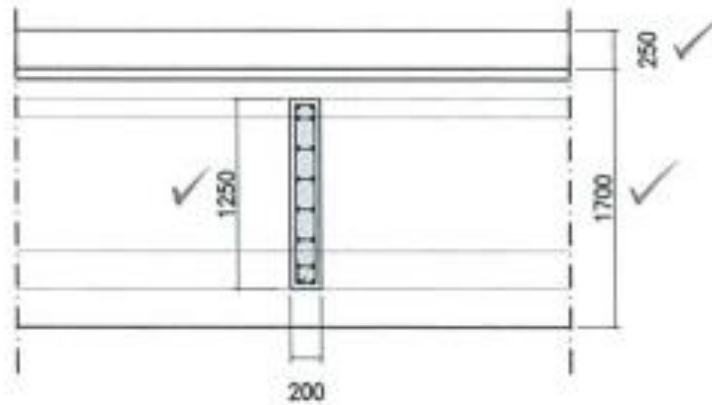
4.10.2 Jumlah Sengkang Yang Digunakan Untuk Bursting Force

Tabel 4.21 Jumlah Sengkang

No Cable	Angkur hidup VSL		Angkur mati VSL		jumlah Sengkang
	Sc (Ton)	Dim (mm)	P (Ton)	Dim (mm)	
1	19	265	19	250	8
2	19	265	19	250	12
3	19	265	19	250	12
4	19	265	19	250	12

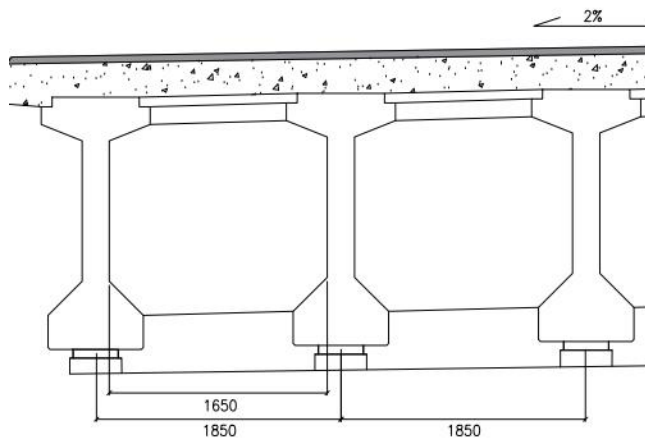
4.11 Perhitungan Balok Diafragma

4.11.1 Diafragma Tengah



Gambar 4.8 Dimensi Balok Diafragma Tengah

Sumber: Shop Drawing Waskita Karya Tbk.



Gambar 4.9 Dimensi Balok Diafragma Tengah

Sumber: Shop Drawing Waskita Karya Tbk.

Dimensi:

$$h = 1,25 \text{ m} = 125 \text{ cm} = 1250 \text{ mm}$$

$$P = 1,65 \text{ m} = 165 \text{ cm} = 1650 \text{ mm}$$

$$L = 0,2 \text{ m} = 20 \text{ cm} = 200 \text{ mm}$$

$$d = 1250 - 30 = 1220 \text{ mm}$$

$$A = L \times h = 0,25 \text{ m}^2 = 25000 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1/12 \times L \times h^3$$

$$= 20833,33 \text{ mm}^4$$

A. Pembebanan Diafragma

$$\text{Berat Sendiri} = L \times h \times W_c$$

$$= 0,2 \times 1,25 \times 2,4$$

$$= 0,6 \text{ T/m}$$

$$q_u = 1,2 \times 0,6$$

$$= 0,72 \text{ T/m}$$

$$\text{Momen yang terjadi (M}_{du}) = 1/8 \times q_u \times P^2$$

$$= 1/8 \times 0,720 \times 1,65^2$$

$$= 0,245 \text{ Tonm}$$

$$= 24502,5 \text{ Kgcm}$$

$$\text{Gaya Lintang (V}_{du}) = 1/2 \times q_u \times P$$

$$= 1/2 \times 0,72 \times 1,65$$

$$= 0,594 \text{ Ton}$$

B. Penulangan Diafragma

$$\text{Faktor Reduksi } \phi = 0.8$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$= \frac{24502,5}{0.8}$$

$$= 30628,125 \text{ Kg}$$

Koefisien Kebutuhan Rn:

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$= \frac{30628,125}{20 \times 122^2}$$

$$= 0,1029 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 0,01029 \text{ N/mm}^2$$

$$R_n = \rho f_y - (1 - 0.59 \times \rho \times f_y / f_c')$$

$$0,01029 = 390\rho - 2991.3 \rho^2$$

$$\text{Persamaan} = 2991.3\rho^2 - 390\rho - 0,01029$$

$$P_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2xa}$$

$$= \frac{390 \pm 389,84}{5982,6}$$

$$P_1 = \frac{390 + 389,84}{5982,6}$$

$$= 0,1303$$

$$P_2 = \frac{390 - 389,84}{5982,6}$$

$$= 0,000026$$

$$< \rho_{maks} = 0.0168$$

$$< \rho_{min} = 0.0036 \rightarrow \text{Dipakai}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Tulangan, As} &= \rho_{min} \times b \times d \\ &= 0,0036 \times 200 \times 1220 \\ &= 875,897 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dipakai} = \text{D13, As} = 132,665 \text{ mm}^2$$

Pada bagian tarik digunakan

$$\text{Diameter} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah} = 14 \text{ buah}$$

$$\text{As} = 1326,65 \text{ mm}^2$$

Pada bagian tekan digunakan

$$\text{Diameter} = 13 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah} = 4 \text{ buah}$$

$$\text{As} = 530,66 \text{ mm}^2$$

$$\text{As Total} = 1857,31 \text{ mm}^2 > \text{As perlu} = 875,897 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Check Tulangan Geser,

$$V_{du} = 0,594 \text{ Ton} = 5,940 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 1220 \times 200$$

$$= 222740,507 \text{ N} = 222,741 \text{ kN}$$

$$\theta \times V_c = 0,6 \times 222,741$$

$$= 133,644 \text{ kN}$$

$$0.5 \times \theta \times V_c = 0,5 \times 133,644$$

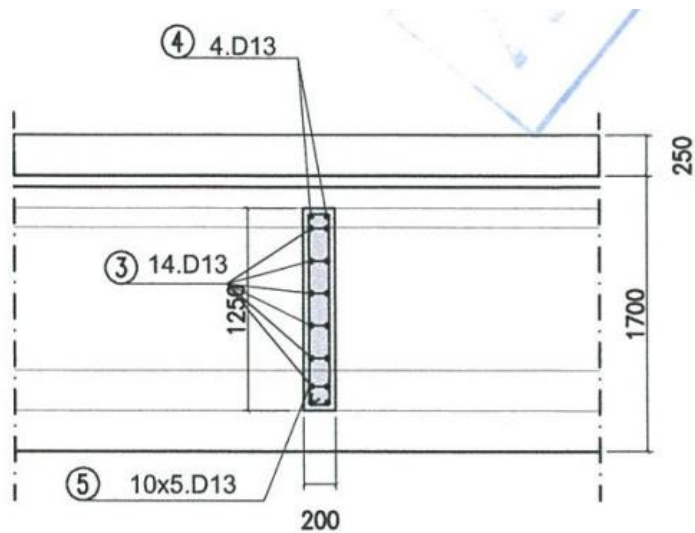
$$= 66,822 \text{ kN}$$

$$V_u < \theta \times V_c \quad \text{dan} \quad V_u < 0.5 \times \theta \times V_c$$

Maka dipasang Sengkang Praktis

Diameter = D13

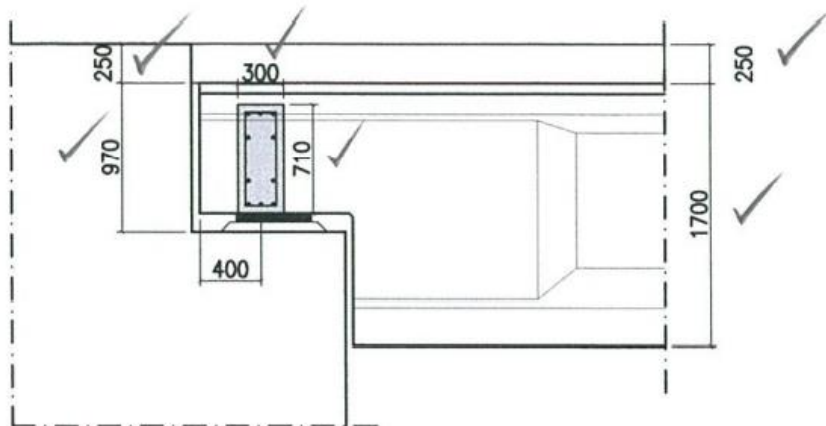
Jarak = 200 mm



Gambar 4.10 Penulangan Diafragma Tengah

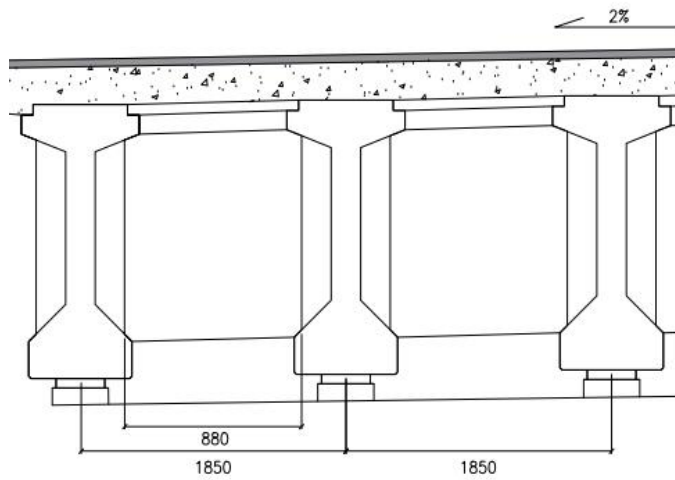
Sumber: Shop Drawing Waskita Karya Tbk.

4.11.2 Diafragma Tepi



Gambar 4.11 Dimensi Balok Diafragma Tepi

Sumber: Shop Drawing Waskita Karya Tbk.



Gambar 4.12 Dimensi Balok Diafragma Tepi

Sumber: Shop Drawing Waskita Karya Tbk.

Dimensi:

$$h = 0,71 \text{ m} = 71 \text{ cm} = 710 \text{ mm}$$

$$P = 0,88 \text{ m} = 88 \text{ cm} = 880 \text{ mm}$$

$$L = 0,3 \text{ m} = 30 \text{ cm} = 300 \text{ mm}$$

$$d = 880 - 30 = 680 \text{ mm}$$

$$A = L \times h = 0,213 \text{ m}^2 = 213000 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 1/12 \times L \times h^3$$

$$= 17750 \text{ mm}^4$$

A. Pembebanan Diafragma

$$\begin{aligned} \text{Berat Sendiri} &= L \times h \times Wc \\ &= 0,3 \times 0,71 \times 2.4 \\ &= 0,5112 \text{ T/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1.2 \times 0,5112 \\ &= 0,6134 \text{ T/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen yang terjadi (M}_{du}) &= 1/8 \times q_u \times P^2 \\ &= 1/8 \times 0,6134 \times 0,88^2 \\ &= 0,0594 \text{ Tonm} \\ &= 5938,1 \text{ Kgcm} \end{aligned}$$

$$\text{Gaya Lintang (V}_{du}) = 1/2 \times q_u \times P$$

$$= \frac{1}{2} \times 0,6134 \times 0,88$$

$$= 0,270 \text{ Ton}$$

B. Penulangan Diafragma

$$\text{Faktor Reduksi } \phi = 0.8$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{5938,1}{0.8} \\ &= 7422,624 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Koefisien Kebutuhan Rn:

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{7422,624}{30 \cdot 88^2} \\ &= 0,0535 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 0,0054 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$R_n = \rho f_y (1 - 0,59 \rho f_y / f_c')$$

$$0,0054 = 390\rho - 2991,3\rho^2$$

$$\text{Persamaan} = 2991,3\rho^2 - 390\rho - 0,0054$$

$$\begin{aligned} P_{1,2} &= \frac{(-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})}{2a} \\ &= \frac{390 \pm 389,92}{5982,6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{390 + 389,92}{5982,6} \\ &= 0,13 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{390 - 389,92}{5982,6} \\ &= 0,000014 \end{aligned}$$

$$< \rho_{\text{maks}} = 0,0168$$

$$< \rho_{\text{min}} = 0,0036 \rightarrow \text{Dipakai}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Tulangan, } A_s &= \rho_{\text{min}} \times b \times d \\ &= 0,0036 \times 300 \times 680 \\ &= 732,307 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dipakai} = \text{D16, } A_s = 200,96 \text{ mm}^2$$

Jumlah = 10 buah

As = 2009.6 mm²

As Total = 2009,6 mm² > As perlu = 732,307 mm² (OK)

Check Tulangan Geser,

V_{du} = 2,699 Ton = 26,99 kN

V_c = $\frac{1}{6} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$

= $\frac{1}{6} \times \sqrt{30} \times 680 \times 300$

= 186225,669 N = 186,226 kN

$\theta \times V_c$ = 0.6 x 186,226

= 111,735 kN

0.5 x $\theta \times V_c$ = 0.5 x 111,735

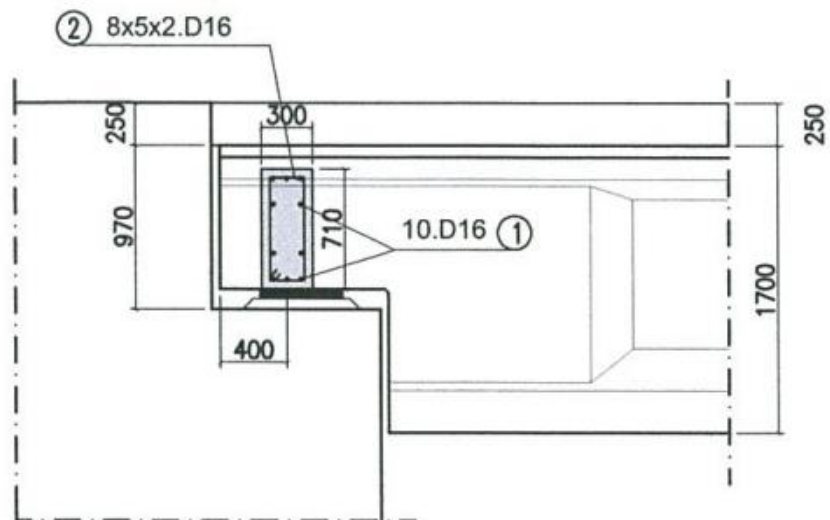
= 55,867 kN

V_u < $\theta \times V_c$ dan V_u < 0.5 x $\theta \times V_c$

Maka dipasang Sengkang Praktis

Diameter = D13

Jarak = 200 mm



Gambar 4.13 Penulangan Diafragma Tepi

Sumber: Shop Drawing Waskita Karya Tbk.

4.12 Perhitungan Shear Connector

Pemakaian *shear connector* dimaksudkan agar terjadi ikatan antara balok girder prategang dengan plat lantai jembatan, sehingga tidak terjadi geser. Adapun perencanaan *shear connector* sebagai berikut:

4.12.1 Kekuatan 1 buah Studs *Shear Connector*

Menurut cara dari Bina Marga

$$Q = 55 \times d^2 \times \sqrt{f_c'} \rightarrow (H/d) \geq 5.5$$

$$Q = 10 \times d^2 \times \sqrt{f_c'} \rightarrow (H/d) < 5.5$$

Direncanakan:

$$\text{Diameter studs (d)} = D25 = 25 \text{ mm} = 2.5 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi studs (H)} = 17 \text{ cm}$$

$$\text{Mutu Beton (} f_c' \text{)} = 42,3 \text{ Mpa}$$

$$\text{Jadi: } \frac{17}{2.5} = 6.8 \geq 5.5$$

$$\begin{aligned} Q &= 55 \times d^2 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 55 \times 2.5^2 \times \sqrt{42,3} \\ &= 2895,83 \text{ Kg (untuk 1 studs, jadi 2 studs} = 5791,657 \text{ Kg)} \end{aligned}$$

4.12.2 Menghitung Jarak dan Jumlah Angkur

$$f_c' = 42,3 \text{ Mpa} = 423 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_b' = 0.83 \times 423 = 351,090 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{bk}' = 0.33 \times 429.11 = 115,860 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Panjang studs} = \frac{2895,83}{3.14 \times 2.5 \times 115,860} = 3,184 \text{ cm}$$

$$\text{Jarak angkur} = S = \frac{Q}{q}$$

Kekuatan *shear connector* per panjang 1 m (*longitudinal shear connector*):

$$q = \frac{D_x \times S_{xp}}{I_x}$$

- Garis netral balok komposit

$$Y_{bc} = 1.280 \text{ m}$$

- Momen Inersia balok komposit

$$I_{xc} = 0.595 \text{ m}^4$$

- Statis Momen plat lantai terhadap garis netral komposit

$$S_x = \frac{I_{xc}}{y_{bc}}$$

$$= 0.4646 \text{ m}^3$$

$$= 46584 \text{ cm}^3$$

Jarak *shear connector* tiap bagian setengah bentang dihitung dalam tabel berikut:

Tabel 4.22 Jarak *shear connector* tiap bagian setengah bentang

Jarak (m)	Dx (Kg)	Sx (cm ³)	Ixc (cm ⁴)	Q (Kg)	q (kg/cm)	S (cm)
0,4	76880,00	692618	82031403	5791,66	649,123	7,51392
1,4	77910	692618	82031403	5791,66	657,82	7,41458
2,4	72600	692618	82031403	5791,66	612,985	7,95689
5,73	54930	692618	82031403	5791,66	463,792	10,5165
7,73	44300	692618	82031403	5791,66	374,039	13,0400
11,73	23040	692618	82031403	5791,66	194,534	25,0725
15,175	4700	692618	82031403	5791,66	39,6836	122,908

4.13 Perhitungan Decks slab atau Plat Lantai Kendaraan

4.13.1 Perhitungan Beban Plat Lantai

$$\text{Plat Beton (d1)} = 250 \text{ mm} = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$\text{Lapisan Aspal (d2)} = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

A. Beban Mati

$$\text{- Berat Plat Beton} = \text{lebar plat} \times \text{tebal plat} \times \text{berat jenis}$$

$$= 1 \times 0,25 \times 24$$

$$= 6 \text{ kN/m}$$

- Berat Lapisan Aspal = lebar plat x tebal plat x berat jenis

$$= 1 \times 0,05 \times 22$$

$$= 1,1 \text{ kN/m}$$
- Berat total (qm) = 7,1 kN/m
- Dari tabel 2 RSNI T-02-2005 $Ku_{nas} = 1.3$

Momen maksimum (momen negatif):

$$M_{qm} = \frac{1}{10} \times (qm \times Ku_{nas}) \times b l^2$$

$$= \frac{1}{10} \times (7,1 \times 1,3) \times 2,1^2$$

$$= 4,07 \text{ kNm}$$

B. Beban Hidup T

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh truk (beban T) yang besarnya, $T = 225 \text{ kN}$

Factor beban dinamis untuk pembebanan truk diambil,
 $DLA = 0.40$

Beban truk "T":

$$P_{TT} = (1 + DLA) \times T$$

$$= (1 + 0.4) \times 225$$

$$= 315 \text{ kN}$$

Faktor beban muatan truk:

$Ku_{TT} = 1.8$ (Tabel 2 RSNI T-02-2005)

- $M_T = 0,8 \times \frac{S+0,6}{10} \times Ku_{TT} \times P_{TT}$

$$= 0,8 \times \frac{2,1+0,6}{10} \times 1,8 \times 315$$

$$= 122.472 \text{ kNm}$$

$$= 122472000 \text{ Nmm}$$
- $M_d = M_{qm} + M_T$

$$= 4,07 + 122,472$$

$$= 126,542 \text{ kNm}$$

4.13.2 Penulangan Plat

Data perencanaan:

$$\begin{aligned} f_c' &= 28,6 \text{ Mpa} & \text{Selimut beton} &= 50 \text{ mm} \\ f_y &= 390 \text{ Mpa} & \text{Tebal Plat} &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Faktor Reduksi $\theta = 0.8$

$$\begin{aligned} M_{n\text{perlu}} &= \frac{Mu}{\theta} \\ &= \frac{126,5424}{0,8} \\ &= 158,18 \text{ kNm} = 158178037,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 28,6}{390} \times \frac{600}{600 + 390} \\ &= 0,03211 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,5 \times \rho_b = 0,0161$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1}{f_y} = \frac{1}{390} = 0,0036$$

Direncanakan Diameter tulangan (Arah x): 16 mm

$$\begin{aligned} dx &= t - \text{selimut beton} - (0,5 \times d) \\ &= 25 - 5 - (0,5 \times 1,6) \\ &= 19,2 \text{ cm} \end{aligned}$$

Direncanakan Diameter tulangan (Arah y): 13 mm

$$\begin{aligned} dx &= t - \text{selimut beton} - (0,5 \times d) \\ &= 20 - 5 - (0,5 \times 1,3) \\ &= 14,35 \text{ cm} \end{aligned}$$

A. Tulangan Arah Melintang (x)

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\theta \times b \times dx^2} \\ &= \frac{126542430}{0,8 \times 10000 \times 19,2^2} \\ &= 4,038 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$= \frac{390}{0,85 \times 28,6}$$

$$= 16,042$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}}\right) \\ &= \frac{1}{16,042} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(16,042) \times 4,038}{390}}\right) \\ &= 0,0114 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}} = 0,0036 < 0,0114 < 0,0161 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0114 \times 1000 \times 192 \\ &= 2188,204 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{S_x} = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{S_x}} \\ &= \frac{2188,204}{200,96} \\ &= 10,888 \quad = \text{Dipasang 12 buah Tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{1000}{12} \\ &= 83,33 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = 12 \times 200,96 = 2411,52 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 2188,204 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan dengan diameter D16–125mm

B. Tulangan Arah Memanjang (y)

$$\begin{aligned} A_{S(\text{arah } y)} &= \rho_{\text{min}} \times b \times dy \\ &= 0,00359 \times 2000 \times 143,5 \\ &= 1030,256 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{S_y} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

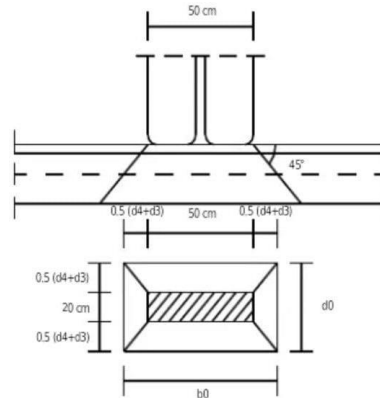
$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{S_{\text{perlu}}}}{A_{S_y}} \\ &= \frac{1030,256}{132,665} \\ &= 7,766 \quad = \text{Dipasang 8 buah tulangan} \end{aligned}$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = 8 \times 132,66 = 1061,32 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 1030,3 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan dengan diameter D13–150mm

Juga ditambahkan tulangan stek dengan diameter D16 dan D13 dengan jaran 150mm untuk meyambung bagian plat lantai kendaraan dengan parapet.

4.13.3 Kontrol Geser Pons



Gambar 4.14 Kontrol Geser Pons

Sumber : Google Picture

Keliling Kritis =

$$\begin{aligned}
 U &= 2 \times (b_0 + d_0) \\
 &= 2 \times ((0,5 \times (25+5)) + 50 + (0,5 \times (25+5)) + \\
 &\quad (0,5 \times (25+5)) + 20 + (0,5 \times (25+5))) \\
 &= 2 \times (80 + 50) \\
 &= 260 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Luas Kritis =

$$\begin{aligned}
 A &= U \times (d_1 + b_1) \\
 &= 260 \times (25 + 5) \\
 &= 7800 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Gaya Gesr Ultimate =

$$\begin{aligned}
 V_n &= K_u^{TT} \times 100 \times (1 + DLA) \\
 &= 1,8 \times 100 \times (1 + 0,4)
 \end{aligned}$$

$$= 252 \text{ kN}$$

$$V_{uc} = \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \times \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6}\right) \times A \quad \text{dengan } \beta = 2.5$$

$$= \left(1 + \frac{2}{2,5}\right) \times \left(\frac{\sqrt{28,6}}{6}\right) \times 780000$$

$$= 1251407,847 \text{ N}$$

$$= 1251,408 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'}}{3} \times A$$

$$= \frac{\sqrt{28,6}}{3} \times 780000$$

$$= 1390453,164 \text{ N}$$

$$= 1390,453 \text{ kN}$$

Kuat Penampang pada geser harus memenuhi

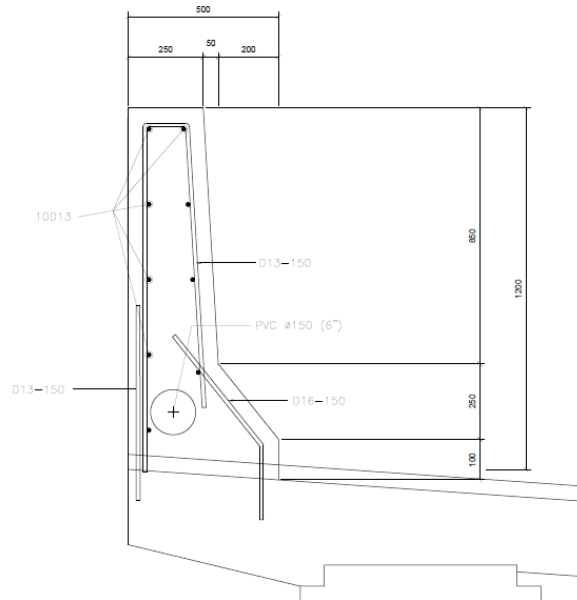
a. $V_n \leq V_{uc} = 252 \text{ kN} \leq 1251,408 \text{ kN}$ (**OK**)

b. $V_c > V_{uc} = 1390,453 \text{ kN} > 1251,408 \text{ kN}$ (**OK**)

4.14 Perhitungan Parapet

4.14.1 Perhitungan Beban Parapet

A. Berat Sendiri



Gambar 4.15 Dimensi Parapet

Sumber: Shop Drawing Waskita Karya Tbk.

$$W1 = \frac{0,25+0,3}{2} \times 0,85 \times 1,5 \times 2,4$$
$$= 0,8415 \text{ Ton}$$

$$W2 = \frac{0,3+0,5}{2} \times 0,25 \times 1,5 \times 2,4$$
$$= 0,36 \text{ Ton}$$

$$W3 = \pi \times r^2 \times t \times Wc'$$
$$= 3,14 \times 0,075^2 \times 1,5 \times 2,4$$
$$= 0,0636 \text{ Ton}$$

$$W4 = P \times L \times T \times Wc$$
$$= 0,1 \times 0,5 \times 1,5 \times 2,4$$
$$= 0,18 \text{ Ton}$$

$$W_{total} = (W1 + W2 + W4) - W3$$
$$= 1,3656 \text{ Ton}$$

- Titik Berat Parapet:

Tabel 4.23 Titik Berat Parapet

No	A (m ²)	Jarak thd Alas (Yb)	Statis Momen
1	0,234	1,267	0,296
2	0,100	0,167	0,017
3	0,004	0,200	0,001
4	0,050	0,050	0,003
	0,379		0,314

Letak titik berat:

$$\begin{aligned}
 y_b &= \frac{\text{Jumlah Statis Momen}}{\text{Jumlah Luas}} \\
 &= \frac{0,314}{0,379} \\
 &= 0,829 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_a &= h - y_b \\
 &= 0,371 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Momen akibat Berat Sendiri

$$\begin{aligned}
 M_p &= W_p \times y_b \\
 &= 1,3656 \times 0,829 \\
 &= 1,1317 \text{ Tonm} \\
 &= 11,317 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

B. Beban Tumbukan

$$P^* = 100 \text{ kN} \quad \text{untuk } h \leq 850 \text{ mm}$$

$$P^* = 100 \times \left(1 + \frac{h-850}{450}\right) \quad \text{untuk } h > 850 \text{ mm}$$

$$\text{Karena } h = 1.2 \text{ m} = 120 \text{ cm} = 1200 \text{ mm}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 P^* &= 100 \times \left(1 + \frac{1200-850}{450}\right) \\
 &= 177,778 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$M_{\text{tumbukan}} = P^* \times L$$

$$= 177,778 \times 1,5$$

$$= 266,667 \text{ kNm}$$

C. Momen Total pada Parapet

$$M_{total} = M_p + M_{tumbukan}$$

$$= 11,317 + 266,667$$

$$= 277,984 \text{ kNm}$$

4.14.2 Penulangan Parapet

Data perencanaan:

$$f_c' = 28,6 \text{ Mpa} \quad \text{Selimut beton} = 50 \text{ mm}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

Faktor Reduksi $\theta = 0.8$

Direncanakan Diameter tulangan (Arah x): 13 mm

$$\text{Tebal parapet efektif (dx)} = h - p - 0.5d_{tul}$$

$$= 1143,5 \text{ mm} = 114,35 \text{ cm}$$

Direncanakan Diameter tulangan (Arah y): 13 mm

$$\text{Tebal parapet efektif (dy)} = h - p - 0.5d_{tul}$$

$$= 443.5 \text{ mm} = 44.35 \text{ cm}$$

$$\rho_b = \frac{0.85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$= \frac{0.85 \times 0.85 \times 28,6}{390} \times \frac{600}{600 + 390}$$

$$= 0,0321$$

$$\rho_{maks} = 0.5 \times \rho_b = 0,0161$$

$$\rho_{min} = \frac{1}{f_y} = \frac{1}{390} = 0,00359$$

A. Tulangan Arah Melintang (x)

$$R_n = \frac{M_{tot}}{\theta \times b \times dx^2}$$

$$= \frac{277.984}{0.85 \times 0.5 \times 114.35^2}$$

$$= 5,002 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{f_y}{0.85 \times f_c'}$$

$$= \frac{390}{0.85 \times 28,6}$$

$$= 16,043$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times Rn}{fy}}\right) \\ &= \frac{1}{16,043} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(16,043) \times 5,002}{390}}\right) \\ &= 0,0145\end{aligned}$$

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{maks}} \quad = 0,00359 < 0,0145 < 0,01606 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,01452 \times 50 \times 1143,5 \\ &= 829,974 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{S_x} &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\ &= 132,665 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{S_x}} \\ &= \frac{829,974}{132,665} \\ &= 6,256 \quad = \text{Dipasang 10 buah Tulangan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{1500}{10} \\ &= 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = 10 \times 132,665 = 1326,65 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 829,974 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan dengan diameter D13–150mm

B. Tulangan Arah Memanjang (y)

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{susut}}} (\text{arah } y) &= \rho_{\text{min}} \times b \times dy \\ &= 1353,24 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$A_{S_y} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{\text{susut}}}{A_{S_y}} \\ &= \frac{1353,24}{132,665} \\ &= 10,2 = \text{Dipasang 11 buah tulangan}\end{aligned}$$

$$A_{S_{\text{pasang}}} = 11 \times 132,66 = 1459,315 \text{ mm}^2 > A_{S_{\text{perlu}}} = 1353,24 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan tulangan dengan diameter D13–150 mm

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Dalam perhitungan perencanaan ulang balok prategang PC-I Girder dengan bentang 30,35 m diketahui:
 - a. Nilai pembebanan yang terjadi pada struktur yang meliputi balok precast (1,69 ton/meter), Plat Lantai dan Parapet (1,54 ton/m), Beban Diafragma (0,13 ton/meter), Beban aspal dan air (0,29 ton/meter), Beban lalu lintas (1,67 ton/meter ; 12,69 Ton), Gaya rem (14,33 Ton.m), pengaruh temperatur (9,13 Ton.m), beban angin (0,1 ton/m) dan Beban gempa (0,99 ton/m)
 - b. Untuk strand yang digunakan sebanyak 52 buah dan 4 lubang tendon
 - c. Serta lendutan yang terjadi terhadap kombinasi beban telah memenuhi
2. Dalam perhitungan perencanaan ulang balok diafragma tengah dapat diketahui:
 - a. momen yang terjadi sebesar (0,245 Tonm) dan Gaya Lintang yang terjadi sebesar (0,594 Ton)
 - b. serta Tulangan utama yang digunakan dalam balok diafragma yaitu D13 dan tulangan sengkang praktis yaitu D13 – 200mm
3. Dalam perhitungan perencanaan ulang balok diafragma tepi dapat diketahui:
 - c. momen yang terjadi sebesar (0,0594 Tonm) dan Gaya Lintang yang terjadi sebesar (0,270 Ton)
 - d. serta Tulangan utama yang digunakan dalam balok diafragma yaitu D16 dan tulangan sengkang praktis yaitu D13 – 200mm
4. Dalam perhitungan perencanaan ulang *shear connector* didapat menggunakan tulangan dengan diameter D25

5. Dalam perhitungan perencanaan ulang *decks* atau plat lantai kendaraan dapat diketahui:
 - a. Nilai beban mati (7,1 kN/m) dan nilai beban hidup T (315 kN)
 - b. Nilai momen yang didapat pada beban mati (4,07 kNm) dan pada beban hidup (122,472 kNm), untuk Momen total yang bekerja pada plat lantai kendaraan (126,542 kNm)
 - c. serta Tulangan utama yang digunakan dalam plat lantai yaitu D16 dan tulangan bagi yaitu D13 – 150mm
6. Dalam perhitungan perencanaan ulang parapet dapat diketahui:
 - a. Nilai berat sendiri (1,3656 Ton) dan nilai beban tumbukan (17,778 Ton)
 - b. Nilai momen yang terjadi akibat berat sendiri (11,317 kNm) dan pada beban tumbukan (266,667 kNm), untuk Momen total yang bekerja pada parapet (277,984 kNm)
 - c. serta Tulangan utama yang digunakan dalam parapet yaitu D13 dan tulangan bagi yaitu D13 – 150mm

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 ini, seperti:

- A. Diperlukan referensi – referensi yang lain dalam perhitungan girder untuk mendukung keakuratan dalam perencanaan
- B. Diperlukan perhitungan dengan standar lain untuk pembandingan guna menguji keakuratan perencanaan perhitungan struktur atas
- C. Agar lebih meyakinkan kembali atas perencanaan yang telah direncanakan, diperlukan *software* dalam perhitungan girder beserta struktur atas yang lain terhadap pembebanan yang terjadi