

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN LAYANG JALAN TOL SEMARANG-DEMAK

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan Pendidikan
Program Sarjana (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung**



Oleh:

HANIDA ISNA REZA P.

30.2017.00.077

HESTI WINARNI

30.2017.00.081

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
ISLAM SULTAN AGUNG**

SEMARANG

2021

HALAMAN PERSETUJUAN

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN LAYANG JALAN TOL SEMARANG-DEMAK

(Desa Sidogemah, Jalan Semarang-Demak KM 3, Sayung, Demak)

Yang diajukan oleh :

Hanida Isna Reza Pahlevi

30.2017.00.077

Hesti Winarni

30.2017.00.081

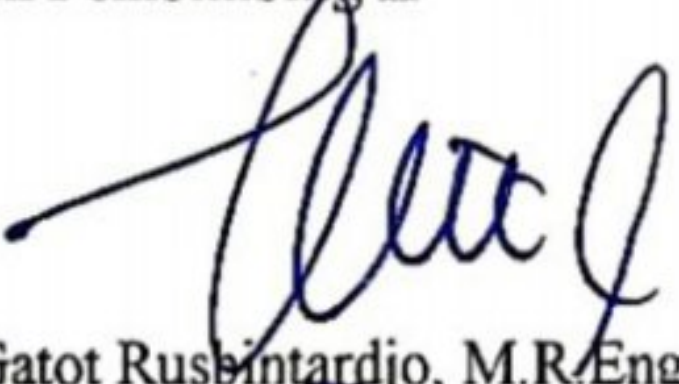
Telah disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I


Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Tanggal :

Dosen Pembimbing II


Ir. Gatot Rusbintardjo, M.R.Eng, M.Sc., Ph.D

Tanggal :

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil


Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



HALAMAN PENGESAHAN

**PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN LAYANG
JALAN TOL SEMARANG-DEMAK**



Hanida Isna Reza Pahlevi
NIM: 30.2017.00.077



Hesti Winarni
NIM: 30.2017.00.081

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, tanggal

Agustus 2021

Tim Penguji

1. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
2. Ir. Gatot Rusbintardjo, M.R.Eng, M.Sc., Ph.D
3. Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

Tanda Tangan

Universitas Islam Sultan Agung
Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Ketua,

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng



UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

Jalan Raya Kaligawe KM. 4 PO. BOX 1054 Telepon. 089608181018 Semarang 50112

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR
Nomor: 02/A.2/SA-T/III/2021 tanggal 07 Januari 2021

Pada hari ini Agustus 2021 berdasarkan Surat Keputusan rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II :

Bersama ini kami:

1. Nama : Lisa Fitriyana, ST., M.Eng
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing I
2. Nama : Ir. Gatot Rusbintardjo, M.R.Eng, M.Sc., Ph.D
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing II

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut dibawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi :

Nama : Hanida Isna Reza Pahlevi Nama : Hesti Winarni
NIM : 30.2017.00.077 NIM : 30.2017.00.081

Judul : PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN LAYANG JALAN TOL SEMARANG-DEMAK.

Dengan tahapan sebagai berikut:

NO	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	7 Januari 2021	-
2	Proposal	26 Maret 2021	ACC
3	Pengumpulan data	3 April 2021	-
4	Analisis data	5 April 2021	-
5	Penyusunan laporan	19 April 2021	-
6	Selesai laporan	6 Juli 2021	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing I,

Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Dosen Pembimbing II,

Ir. Gatot Rusbintardjo, M.R.Eng, M.Sc., Ph.D

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda-tangan dibawah ini:

Nama : Hanida Isna Reza Pahlevi

Nama : Hesti Winarni

NIM : 30201700077

NIM : 30201700081

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul: **“PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN LAYANG JALAN TOL SEMARANG-DEMAK”** Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2021

Yang membuat pernyataan

Hanida Isna Reza Pahlevi



Hesti Winarni

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda-tangan dibawah ini:

Nama : Hanida Isna Reza Pahlevi

Nama : Hesti Winarni

NIM : 30201700077

NIM : 30201700081

JUDUL : PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN LAYANG JALAN TOL SEMARANG DEMAK.

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian Pernyataan ini saya buat.



Semarang, Agustus 2021

Yang membuat pernyataan

Hanida Isna Reza Pahlevi

Hesti Winarni

MOTTO

الْجَنَّةُ مَنْ سَلَكَ طَرِيقًا يَلْتَمِسُ فِيهِ عِلْمًا، سَهَّلَ اللَّهُ لَهُ بِهِ طَرِيقًا إِلَى

“Barang siapa menelusuri jalan untuk mencari ilmu padanya, Allah akan memudahkan baginya jalan menuju surga.” (HR. Muslim).

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

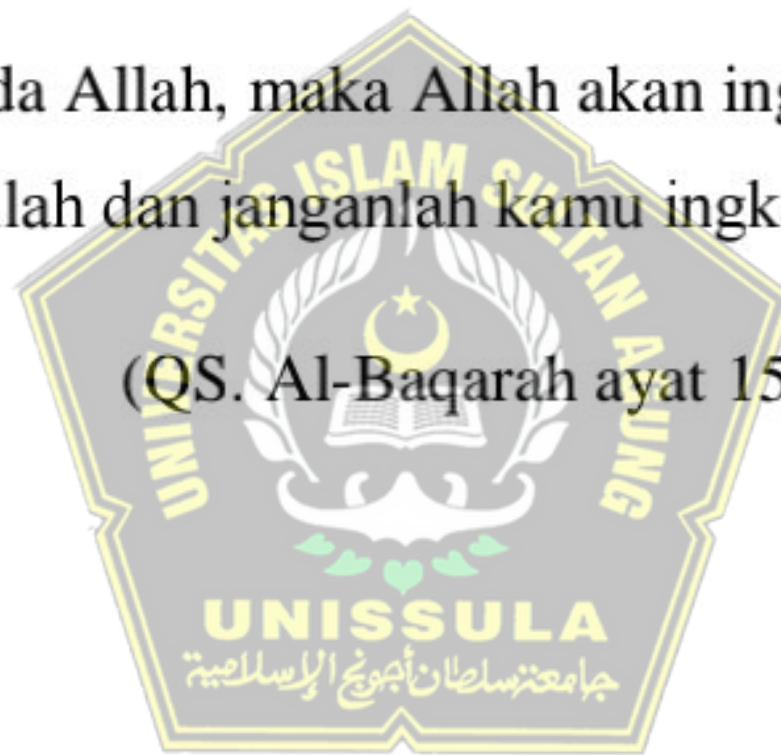
“Sesungguhnya beserta kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS. A-Insyirah ayat 6)

فَاذْكُرُونِي أَذْكُرْكُمْ وَاشْكُرُوا لِي وَلَا تَكْفُرُونِ ۝

“Maka ingatlah kepada Allah, maka Allah akan ingat kepadamu, Bersyukurlah kepada Allah dan janganlah kamu ingkar kepada Allah”

(QS. Al-Baqarah ayat 152)



DEDIKASI

Tugas Akhir ini kami dedikasikan untuk ilmu pengetahuan Teknik Sipil pada umumnya dan ilmu Struktur Bawah pada khususnya, serta sebagai amal ibadah kami kepada Allah SWT.



PERSEMBAHAN

Alhamdulillah kita panjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Dair dan Ibu Hanik Agustina, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Yth. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
3. Yth. Bapak Ir. Gatot Rusbintardjo, M.R.Eng, M.Sc., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
4. Kakak saya tercinta Hanida Pitri Risqi Aktsari dan kedua adik saya Hanida Salsa Rohmatul Maulidia, Hanida Robiul Sya'bania yang selalu mendukung dan memberikan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Hesti Winarni selaku rekan kerja yang telah bekerja keras berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman belajar dan main selama masa perkuliahan : Guardiana, Liza Apriliani, Teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil angkatan 2017 khususnya kelas B, yang telah membantu saya selama masa kuliah, memberikan semangat, motivasi dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semarang, Agustus 2021

Hanida Isna Reza Pahlevi

30.2017.00.077

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah kita panjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, Bapak Subkhan dan Ibu Zuriah yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Yth. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
3. Yth. Bapak Ir. Gatot Rusbintardjo, M.R.Eng, M.Sc., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
4. Kedua adik saya Aji Prastyo dan Panji Suwitho yang selalu memberikan dukungan do'a, motivasi dan kasih sayang.
5. Hanida Isna Reza Pahlevi, selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman belajar dan main selama masa perkuliahan : Guardiana, Liza Apriliani, Teman-teman Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil angkatan 2017 khususnya kelas B, yang telah membantu saya selama masa kuliah, memberikan semangat, motivasi dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semarang, Agustus 2021

Hesti winarni

30.2017.00.081

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah kita panjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq, dan hidayah-nya. Tuhan semesta alam yang karena ridho-Nya penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN LAYANG JALAN TOL SEMARANG DEMAK.” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik UNISSULA
2. Yth. Bapak M. Rusli Ahya, ST, M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan.
3. Yth. Ibu Lisa Fitriyana, ST., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
4. Yth. Bapak Ir. Gatot Rusbintardjo, M.R.Eng, M.Sc., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir , yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat.
5. Orang tua, keluarga, serta sahabat-sahabat dari kedua penulis atas dukungan dan serta bantuan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
BERITA ACARA	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	vii
DEDIKASI	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
ABSTRAK	xxii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan dan batasan masalah	1
1.3. Tujuan Tugas Akhir	2
1.4. Sistematika Pelaporan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 4
2.1. Pendahuluan	4
2.2. Jembatan Balok Prategang	4
2.3. Sistem prategang dengan menjadikan beton sebagai bahan elastis..4	
2.4. Sistem beton prategang	6
2.5. Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban	6
2.5.1. Gaya prategang pada beton	8
2.6. Peraturan Perencanaan Jembatan Jalan Raya	10

2.6.1.	Surat Edaran Menteri PUPR tahun 2015	10
2.6.2.	Peraturan Perencanaan Jembatan Ditjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum tahun 1992	15
2.7.	Peraturan Pembebanan Jembatan Jalan Raya	18
2.7.1.	Beban Permanen	18
2.7.2.	Berat sendiri struktur (MS)	19
2.7.3.	Beban mati tambahan/utilitas (MA)	20
2.7.4.	Beban tekanan tanah pada pangkal jembatan (Abutment) (TA)	21
2.8.	Pengaruh tetap pelaksanaan	22
2.9.	Beban lajur "D"	22
2.10.	Beban truk "T"	23
2.11.	Faktor beban akibat penurunan	25
2.12.	Pengaruh susut dan rangkai (SH)	25
2.13.	Pengaruh prategang (PR)	26
2.14.	Peraturan yang dipakai dalam perencanaan	26
BAB III METODOLOGI PERENCANAAN		26
3.1.	Pendahuluan	27
3.2.	Preliminary Desain	27
3.2.1.	Data struktur bangunan atas	30
3.2.2.	Properti balok girder prategang	30
3.2.3.	Bahan bangunan atas jembatan	30
3.2.4.	Penampang balok prategang	32
3.2.5.	Desain parapet (<i>barrier</i>)	34
3.3.	Pembebanan Rencana jembatan	35
3.3.1.	Berat sendiri (MS)	35
3.3.2.	Beban mati (MA)	36
3.3.3.	Perhitungan pengaruh beban mati maksimum terhadap momen dan geser	37
3.3.4.	Beban Hidup	37
3.3.5.	Pengaruh gaya dalam penampang balok prategang	43
3.4.	Perencanaan Struktur Bangunan Atas Jembatan	44

3.4.1. Perancangan balok jembatan	44
3.4.2. Pelat Lantai	47
3.4.3. Gaya Prategang Efektif	49
3.4.4. Kapasitas momen	50
3.4.5. Lebar stress blok pada beton.....	52
3.4.6. Pemeriksaan tulangan maksimum.....	52
3.4.7. Periksa Momen Desain Ultimate	53
3.4.8. Periksa momen desain minimum	53
3.4.9. Menghitung momen retak pada penampang	53
BAB IV PERENCANAAN	54
4.1. Pendahuluan	54
4.2. Langkah Perencanaan	54
4.2.1. Menentukan dimensi penampang balok	54
4.2.2. Menghitung penampang balok	56
4.2.3. Perencanaan parapet (<i>barrier</i>).....	58
4.3. Analisa Pembebanan.....	60
4.3.1. Perhitungan beban berat sendiri (MS).....	61
4.3.2. Perhitungan beban mati (MA)	61
4.3.3. Perhitungan pengaruh beban mati maksimum terhadap momen dan geser	62
4.3.4. Perhitungan beban hidup	63
4.3.5. Beban angin (EW).....	65
4.3.6. Beban gempa (EQ)	66
4.3.7. Kombinasi pembebanan	67
4.4. Perhitungan pengaruh gaya dalam penampang balok prategang	71
4.5. Menentukan tebal pelat lantai jembatan.....	71
4.6. Perkiraan Gaya Prategang Efektif	72
4.7. Menghitung kapasitas momen.....	74
4.8. Lebar stress blok pada beton	76
4.9. Pemeriksaan tulangan maksimum	76
4.10. Periksa Momen Desain Ultimate	77

4.11. Periksa momen desain minimum.....	78
4.12. Menghitung momen retak pada penampang	78
4.13. Merencanakan kapasitas geser balok T	78
4.14. Gaya-gaya dalam	80
4.15. Menghitung tegangan ijin	85
4.16. Periksa lendutan	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	88
5.1. Kesimpulan	88
5.2. Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN	90



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. - Pedoman umum penentuan bentang ekonomis	14
Tabel 2.2. - Berat isi untuk beban mati	19
Tabel 2.3. - Faktor beban untuk berat sendiri	20
Tabel 2.4. - Faktor beban untuk beban mati tambahan	20
Tabel 2.5. - Faktor beban akibat tekanan tanah	20
Tabel 2.6. - Faktor Beban akibat pengaruh pelaksanaan	22
Tabel 2.7. - Faktor beban untuk beban lajur “D”	23
Tabel 2.8. - Faktor beban akibat pembebanan truk “T”	24
Tabel 2.9. - Faktor beban akibat penurunan	25
Tabel 2.10. - Faktor beban akibat susut dan rangkai	25
Tabel 2.11. - Faktor beban akibat pengaruh prategang	26
Tabel 3.1. - Penampang Balok Prategang tipe I dan T-bulb	45
Tabel 4.1. - Kombinasi pembebanan	68
Tabel 4.2. - Besarnya Momen dan Gaya geser pada balok	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Peta trase Jalan Tol Semarang-Demak dan lokasi jembatan	2
Gambar 1.2. Sketsa bagian-bagian jembatan	2
Gambar 2.1. Gaya-gaya yang bekerja pada balok prategang	5
Gambar 2.2. Beton prategang dan beton bertulang	6
Gambar 2.3. Pengaruh gaya pada balok prategang	7
Gambar 2.4. Konsep pra tarik	8
Gambar 2.5. Konsep pasca tarik	9
Gambar 2.6. Beban lajur “D”	23
Gambar 2.7. Pembebanan truk “T”	24
Gambar 3.1. Bagan Alir Metodologi Perencanaan	28
Gambar 3.2. Gambar rencana jembatan T-Bulp.....	29
Gambar 3.3. Rencana penampang girder T-bulp.....	29
Gambar 3.4. Penampang balok prategang.....	32
Gambar 3.5. Rencana parapet.....	34
Gambar 3.6. Bagian-bagian jembatan.....	36
Gambar 3.7. Beban Lajur D	38
Gambar 3.8. Beban Truk T.....	39
Gambar 3.9. Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”	39

Gambar 3.10. Penampang Balok T-bulp.....	44
Gambar 4.1. Gambar Penampang Balok T-bulp	53
Gambar 4.2. Penampang balok prategang.....	55
Gambar 4.3. Rencana parapet (<i>barrier</i>)	57
Gambar 4.4. Bagian-bagian jembatan.....	59
Gambar 4.5. Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”	63



DAFTAR SINGKATAN

ϕM_n	= Nominal momen lentur komponen struktur dengan faktor reduksi
ϕV_n	= Nominal gaya geser komponen struktur dengan faktor reduksi
δ	= tinggi lawan lendutan (MPa)
δ_{DL}	= lendutan teoritis akibat beban mati (MPa)
δ_{LL}	= lendutan teoritis akibat beban hidup (MPa)
ϕ_s	= Diameter tendon (mm)
γ_a	= berat jenis aspal
γ_{cg}	= berat jenis gelagar komposit
γ_c	= berat jenis diafragma
γ_a	= berat jenis aspal
A_g	= luas penampang balok (mm ²)
A_{cg}	= Luas penampang balok (mm ²)
A_{dp}	= luas penampang diafragma
A_{pl}	= Luas efektif per tendon (mm ²)
A_{s1}	= luas tulangan
A_{smin}	= Pasang tulangan minimum
b_f	= Lebar sayap balok T (mm)
b_w	= Tebal badan balok (mm)
b_z	= Lebar T-bulp (mm)
b_{pl}	= Lebar sayap efektif (mm)
b_e	= lebar sayap transform (mm)
b_p	= berat pelat
b_{pl}	= Lebar sayap efektif (mm)
c	= Jarak garis netral ke serat terluar penampang (m)
C_b	= Garis berat bawah balok (mm)
C_{bg}	= Garis berat bawah (mm)
C_t	= Garis berat atas (mm ³)

C_{tg}	= Garis berat atas gelagar (mm)
d_c	= Cover beton (mm)
D_s	= Diameter tulangan (mm)
E_c	= Modulus elastisitas beton (MPa)
E_{cp}	= Modulus elastisitas pelat (MPa)
E_{ps}	= Modulus elastisitas kabel (MPa)
e_m	= Eksentrisitas tendon
F	= gaya prategang (kN)
f_c'	=Beton dengan kuat tekan (MPa)
f_y	= Baja tulangan dengan titik leleh (MPa)
f_{cp}	= Beton dengan kuat tekan (MPa)
f_{peff}	= Tegangan segera setelah kehilangan (MPa)
f_{pu}	= Tegangan putus (MPa)
f_{pj}	= Tegangan saat dilakukan penekanan (MPa)
h	= Tinggi balok (mm)
h_{slb}	= Tebal pelat total asumsi (mm)
I	= Momen inersia penampang (MPa)
I_{cg}	= Momen inersia komposit (mm ⁴)
I_g	= Momen inersia balok (mm ⁴)
k_b	= Batas inti balok bawah (mm)
k_t	= Batas inti balok bawah (mm)
L	= bentang jembatan (m)
L_b	= panjang bentang jembatan (m)
L_c	= jarak antar balok as ke as (m)
L_{sl}	= panjang bentang jembatan (m)
M	= Momen lentur pada penampang yang ditinjau (kNm)
M_{BTR}	= Momen beban merata (kNm)
M_{BGT}	= Momen beban terpusat (kNm)
M_{dl}	= Momen beban mati gelagar (kNm)
M_{LL}	= Momen beban hidup (kNm)

M_{sdl}	= Momen beban mati superimposed (kNm)
M_u	= Faktor Momen Tekuk (kNm)
n_c	= Angka ekivalen
n_{dp}	= jumlah diafragma
n_{dp}	= jumlah diafragma
n_g	= jumlah gelagar
W_b	= beban merata kearah atas, akibat gaya prategang F (kN)
q	= beban merata (kPa)
r	= Jari-jari momen inersia (mm)
S_b	= Modulus bagian bawah (mm^3)
S_{bg}	= Modulus bagian bawah gelagar (mm^3)
S_t	= Modulus bagian atas (mm^3)
S_{tg}	= Modulus bagian atas balok gelagar (mm^3)
t_a	= tebal aspal
t_{dp}	= tebal diafragma
V_{BTR}	= Gaya geser beban merata (kN)
V_{BGT}	= Gaya geser beban terpusat (kN)
V_{LL}	= Gaya geser beban hidup (kN)
V_{sdl}	= Gaya geser beban mati superimposed (kN)
V_{dl}	= Gaya geser beban mati gelagar (kN)
V_n	= Faktor gaya geser (kN)
V_L	= Gaya geser beban hidup (kN)
W_p	= berat barrier
x_1	= Tebal sayap T bagian atas (mm)
x_2	= Tebal bagian miring sayap T (mm)
x_3	= Tebal bagian miring sayap bawah (mm)
x_4	= Tebal bagian tepi T-bulp (mm)
Z_x	= Modulus bagian

ABSTRAK

Pertumbuhan ekonomi di Indonesia pada umumnya dan khususnya di Provinsi Jawa Tengah telah berdampak pada meningkatnya jumlah kendaraan di ruas jalan Semarang-Demak. Hal tersebut dikarenakan ruas jalan Semarang-Demak termasuk salah satu ruas jalan Pantura di mana kendaraan-kendaraan dari Provinsi Jawa Timur menuju ke Provinsi Jawa Barat dan sebaliknya selalu akan melalui ruas jalan Semarang-Demak sehingga mengakibatkan bertambahnya volume lalu lintas di jalan tersebut, dan menyebabkan sering terjadi kemacetan lalu lintas. Untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di jalan tersebut, Pemerintah saat ini sedang membangun jalan Tol Semarang-Demak. Dalam tugas akhir ini akan direncanakan dan dihitung jalan layang Tol Semarang - Demak yang terletak di Desa Sidogemah Jl. Semarang – Demak KM 3 Kecamatan Sayung Kabupaten Demak. Perencanaan dan perhitungan struktur jembatan balok prategang dimulai dengan preliminary design yaitu penentuan desain awal yang meliputi penentuan bentang jembatan, lebar jembatan, dimensi gelagar kemudian diberikan beban dan dilanjutkan dengan desain dan perhitungan balok T-Bulp, pelat lantain dan pendukung struktur atas. Perencanaan dilanjutkan dengan analisa struktur jembatan yang meliputi gaya dalam penampang, gaya geser, dan lendutan. Dengan balok girder T-bulp prategang panjang 180 meter yang terdiri dari lima bentang @ 36 meter dan jarak antar balok 2,10 meter serta tebal sayap atas balok T-bulp 25cm yang juga merupakan lantai jembatan, Dari analisa perhitungan momen peretakan penampang diperoleh momen maksimum yang dapat meretakan penampang adalah sebesar 11545,31 kNm, dan diperiksa rasio kapasitas momen terhadap momen retak diperoleh SF 2,15, yang mana SF yang diperoleh lebih besar dari SF ketentuan pada Bina Marga yang sebesar 1,2 dengan demikian berdasarkan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa struktur atas jembatan tersebut aman.

Kata kunci: Jembatan layang, Jalan tol, Balok prategang, Girder T-bulp

ABSTRACT

Economic growth in Indonesia in general and especially in Central Java Province has had an impact on increasing the number of vehicles on the Semarang-Demak road section. This is because the Semarang-Demak road section is one of the Pantura roads where vehicles from East Java Province to West Java Province and vice versa will always pass through the Semarang-Demak road section, resulting in an increase in the volume of traffic on the road, and causing traffic jams often occur. To overcome traffic congestion on the road, the Government is currently building the Semarang-Demak Toll Road. In this final project, it will be planned and calculated the Semarang - Demak toll flyover which is located in Sidogemah Village, Jl. Semarang – Demak KM 3 Sayung District, Demak Regency. Planning and calculation of the prestressed beam bridge structure begins with preliminary design, namely the determination of the initial design which includes determining the bridge span, bridge width, girder dimensions and then given the load and continued with the design and calculation of T-Bulp beams, floor plates and superstructure supports. Planning is continued with analysis of the bridge structure which includes cross-sectional forces, shear forces, and deflections. With prestressed T-bulp girder beams with a length of 180 meters consisting of five spans @ 36 meters and a distance between beams of 2.10 meters and a thickness of the upper wing of the T-bulp beam of 25cm which is also the floor of the bridge, From the analysis of the calculation of the moment of cracking the cross section obtained the maximum moment which can crack the cross section is 11545.31 kNm, and examined the ratio of the moment capacity to the moment of cracking obtained SF 2.15, of which the SF obtained is greater than the SF provision in Highways which is 1.2 thus based on the analysis that has been done it can be concluded that the superstructure of the bridge is safe.

Keywords: Flyover, Toll road, Prestressed beam, Girder T-bulp

BAB I

PENDAHULUAN

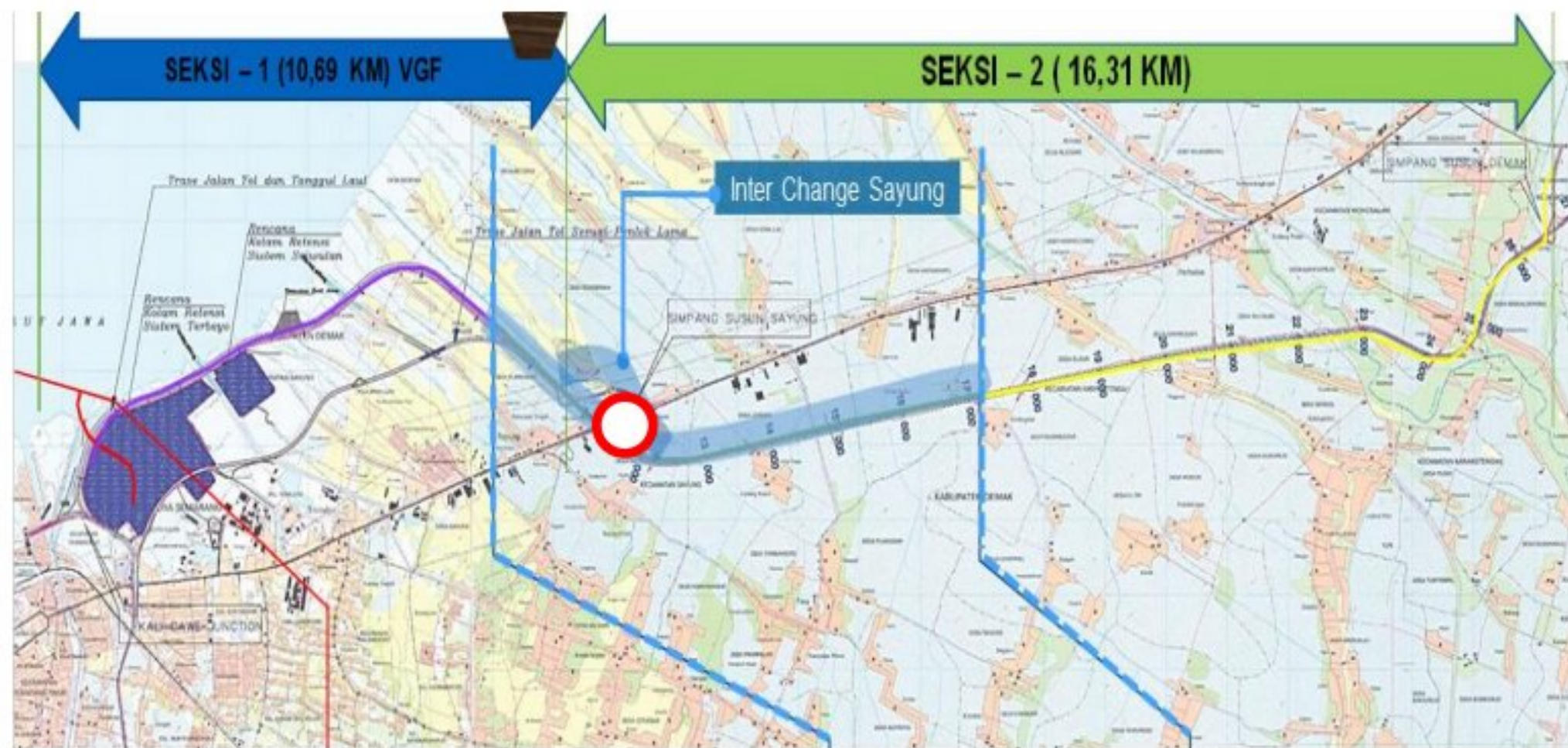
1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi di Indonesia pada umumnya dan di Provinsi Jawa Tengah pada khususnya telah berdampak pada meningkatnya jumlah kendaraan di ruas jalan Semarang-Demak. Hal tersebut dikarenakan ruas jalan Semarang-Demak termasuk salah satu ruas jalan Pantura di mana kendaraan-kendaraan dari Provinsi Jawa Timur menuju ke Provinsi Jawa Barat dan sebaliknya selalu akan melalui ruas jalan Semarang-Demak. Di samping itu di sekitar jalan Semarang-Demak sendiri tumbuh industri-industri, perumahan-perumahan yang menjadi bangkitan lalu lintas telah mengakibatkan bertambahnya volume lalu lintas di jalan tersebut, dan menyebabkan sering terjadi kemacetan lalu lintas. Untuk mengatasi kemacetan lalu lintas di jalan tersebut, Pemerintah saat ini sedang membangun jalan Tol Semarang-Demak.

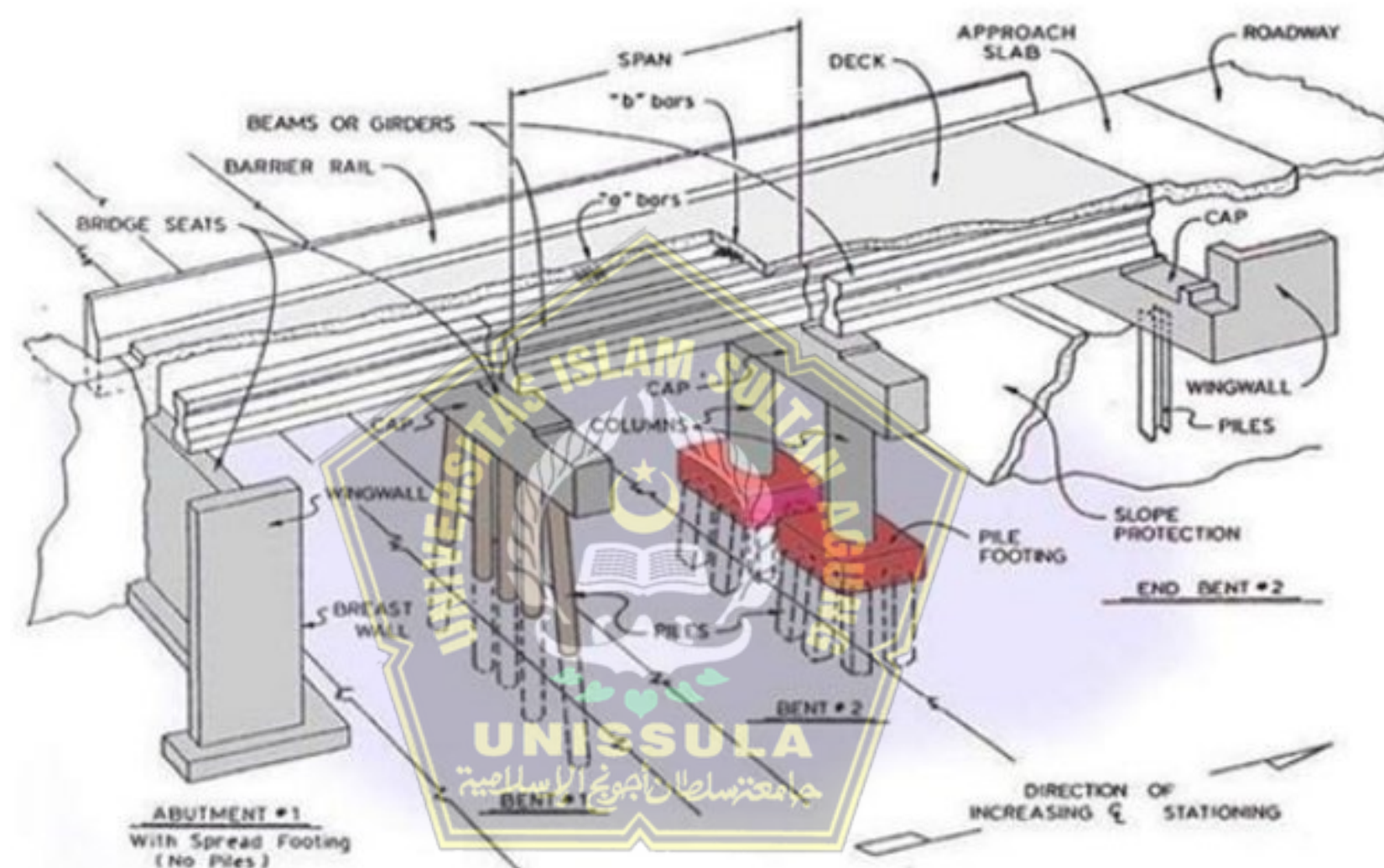
Pada trase jalan Tol Semarang-Demak seperti terlihat pada Gambar 1.1, terdapat jalan tol yang memotong jalan arteri Pantura Semarang-Demak di daerah Sayung tepatnya di Sta 11 + 180 sampai dengan Sta 11 + 360 rencana jalan tol tersebut. Karena jalan tol merupakan jalan bebas hambatan yang tidak boleh ada halangan apapun, maka pada daerah tersebut akan dibangun jembatan layang (*over-pass*).

1.2. Rumusan dan batasan masalah

Seperti terlihat pada Gambar 1.2., bangunan jembatan terdiri dari bangunan atas yang terdiri dari balok-balok jembatan yang di atasnya terletak lantai jembatan untuk kendaraan, serta bangunan-bangunan pelengkap seperti trotoar, pagar jembatan, dan perletakan jembatan. Bangunan atas jembatan diletakkan di atas pangkal jembatan atau abutment dan pilar-pilar yang disebut dengan bangunan bawah jembatan. Bangunan bawah kemudian ditopang oleh pondasi yang berfungsi meneruskan seluruh beban jembatan ke lapisan tanah yang kuat.



Gambar 1.1. Peta trase Jalan Tol Semarang-Demak dan lokasi jembatan [1]



Gambar 1.2. Sketsa bagian-bagian jembatan

1.3. Tujuan Tugas Akhir

Tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Merencana bangunan atas jembatan layang jalan Tol Semarang - Demak yang terletak di Desa Sidogemah Jl. Semarang – Demak KM 3 Kec. Sayung Kab. Demak tepatnya di Sta 11 + 180 sampai dengan Sta 11 + 360 rencana jalan tol tersebut.
2. Menerapkan ilmu pengetahuan mengenai beton prategang dalam perencanaan jembatan

1.4. Sistematika Pelaporan

Laporan Tugas Akhir ini dimulai dengan menguraikan latar belakang tentang konstruksi jembatan yang diuraikan pada Bab I, kemudian dilanjutkan dengan tinjauan pustaka yaitu meninjau buku-buku, jurnal-jurnal, dan makalah-makalah yang berkaitan dengan perencanaan jembatan dengan balok beton prategang yang diberikan pada Bab II. Selanjutnya metodologi penulisan yang menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan diberikan pada Bab III. Perencanaan konstruksi jembatan dengan balok prategang diberikan pada Bab IV. Sebagai penutup laporan diberikan kesimpulan dan saran pada Bab V.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Buku-buku, jurnal-jurnal, makalah-makalah yang berkaitan dengan perencanaan jembatan beton prategang akan ditinjau dalam bab ini, dan menjadi bagian dari laporan tugas akhir. Tinjauan tersebut meliputi: 1) konstruksi balok prategang 2) peraturan perencanaan jembatan 3) peraturan pembebanan. Pertama akan ditinjau terlebih dahulu mengenai konsep prategang.

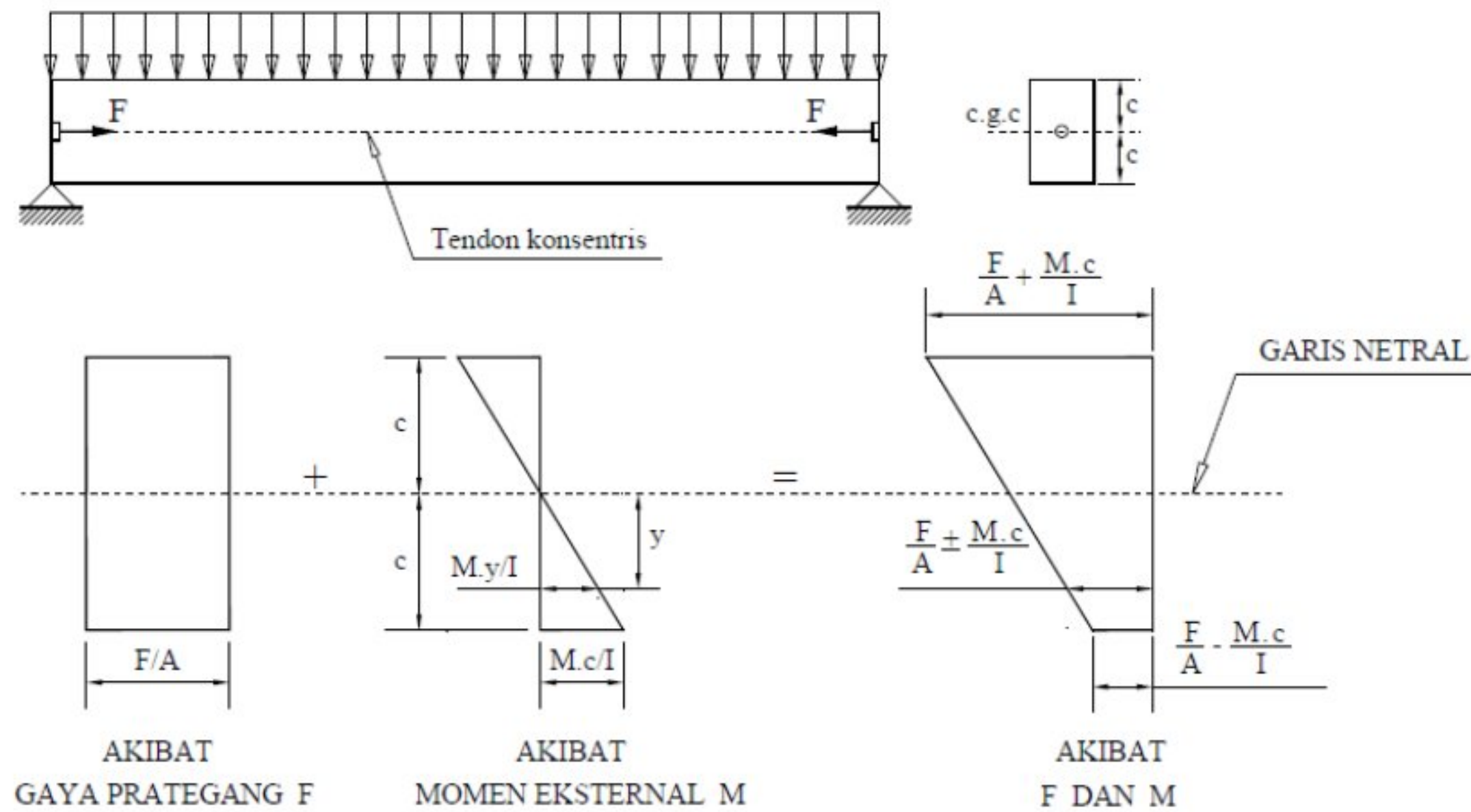
2.2. Jembatan Balok Prategang

Lin, T.Y. dan Burns (1982), dalam bukunya yang berjudul *Design Of Prestressed Concrete Structures* [2] menyebutkan bahwa ada tiga konsep yang berbeda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton yaitu sistem prategang dengan menjadikan beton sebagai bahan elastis, sistem prategang yang merupakan kombinasi baja mutu tinggi dengan beton mutu tinggi, dan sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban.

2.3. Sistem prategang dengan menjadikan beton sebagai bahan elastis

Sistem ini mengubah beton sebagai bahan yang elastis yang bisa menahan tegangan tarik akibat beban luar. Sistem ini merupakan buah pemikiran Eugene Freyssinet, yang mana menurut teorinya beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan terlebih dahulu (pra-tekan) pada bahan tersebut.

Dengan memberikan tekanan (dengan menarik baja mutu tinggi), beton yang bersifat getas dan kuat memikul tekanan, akibat adanya tekanan internal ini dapat memikul tegangan tarik beban eksternal. Hal ini dapat dijelaskan dengan Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Gaya-gaya yang bekerja pada balok prategang [2]

Akibat diberi gaya tekan F yang bekerja pada pusat berat penampang beton akan memberikan tegangan tekan yang merata diseluruh penampang beton sebesar F/A , dimana A adalah luas penampang beton tersebut. Akibat beban merata (termasuk berat sendiri beton) akan memberikan tegangan tarik dibawah garis netral dan tegangan tekan diatas garis netral yang besarnya pada serat terluar penampang adalah:

$$\text{Tegangan lentur: } f = \frac{M.c}{I} \dots\dots\dots (2.1)$$

di mana:

M = Momen lentur pada penampang yang ditinjau (kNm)

c = Jarak garis netral ke serat terluar penampang (m)

I = Momen inersia penampang (MPa)

Jika kedua tegangan akibat gaya prategang dan tegangan akibat momen lentur ini dijumlahkan, maka tegangan maksimum pada serat terluar penampang adalah

a. Diatas garis netral

$$f_{Total} = \frac{F}{A} + \frac{M.c}{I} \rightarrow \text{tidak boleh melampaui tegangan hancur beton}$$

b. Dibawah garis netral

$$f_{Total} = \frac{F}{A} - \frac{M.c}{I} \geq 0 \rightarrow \text{tidak boleh lebih kecil dari nol.}$$

Jadi dengan adanya gaya internal tekan ini, maka beton akan dapat memikul beban tarik.

2.4. Sistem beton prategang

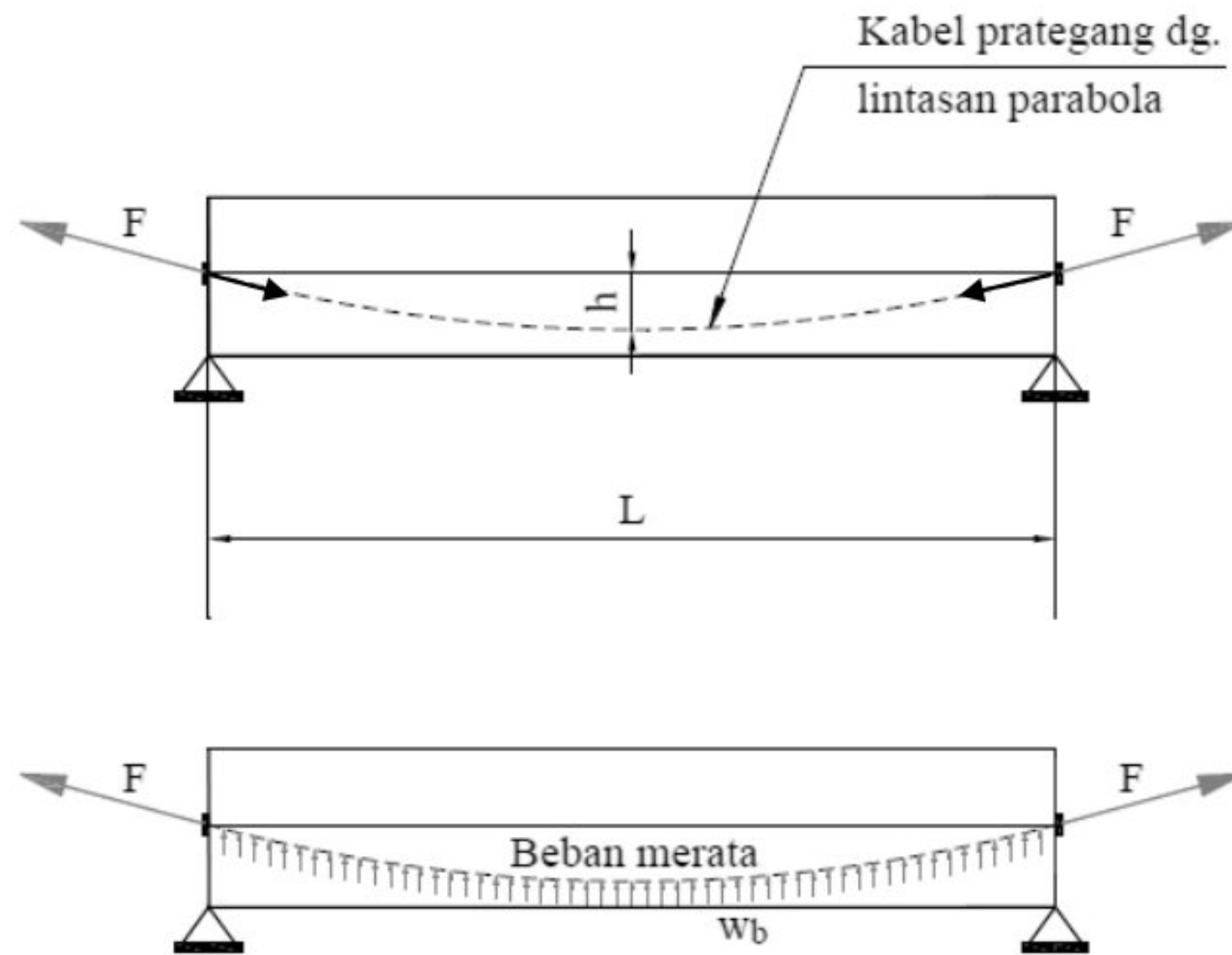
Sistem ini merupakan kombinasi antara dua material yang menggambarkan bahwa beton merupakan material yang menahan gaya tekan dan baja merupakan material yang menahan gaya tarik. Kedua gaya tersebut membentuk kopel gaya yang berfungsi untuk menahan gaya eksternal. Kombinasi baja mutu tinggi dan beton mutu tinggi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Beton prategang dan beton bertulang [2]

2.5. Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban

Sistem ini menjelaskan bahwa gaya prategang berperan untuk menyeimbangkan gaya suatu balok. Pada desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri, sehingga batang yang mengalami lendutan seperti plat, balok dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Hal ini dapat dijelaskan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Pengaruh gaya pada balok prategang [2]

Gambar 2.3. di atas dapat dijelaskan sebagai berikut: karena adanya tarikan F pada balok, maka kearah dalam balok menjadi tertekan. Tekanan tersebut akan menyebabkan terjadinya beban merata di dalam balok yang merata ke arah atas sebesar W_b , yang besarnya:

$$W_b = \frac{8.F.h}{L^2} \dots\dots\dots(2.2)$$

di mana:

W_b = beban merata kearah atas, akibat gaya prategang F (kN)

h = tinggi parabola lintasan kabel prategang (m)

L = bentangan balok (m)

F = gaya prategang (kN)

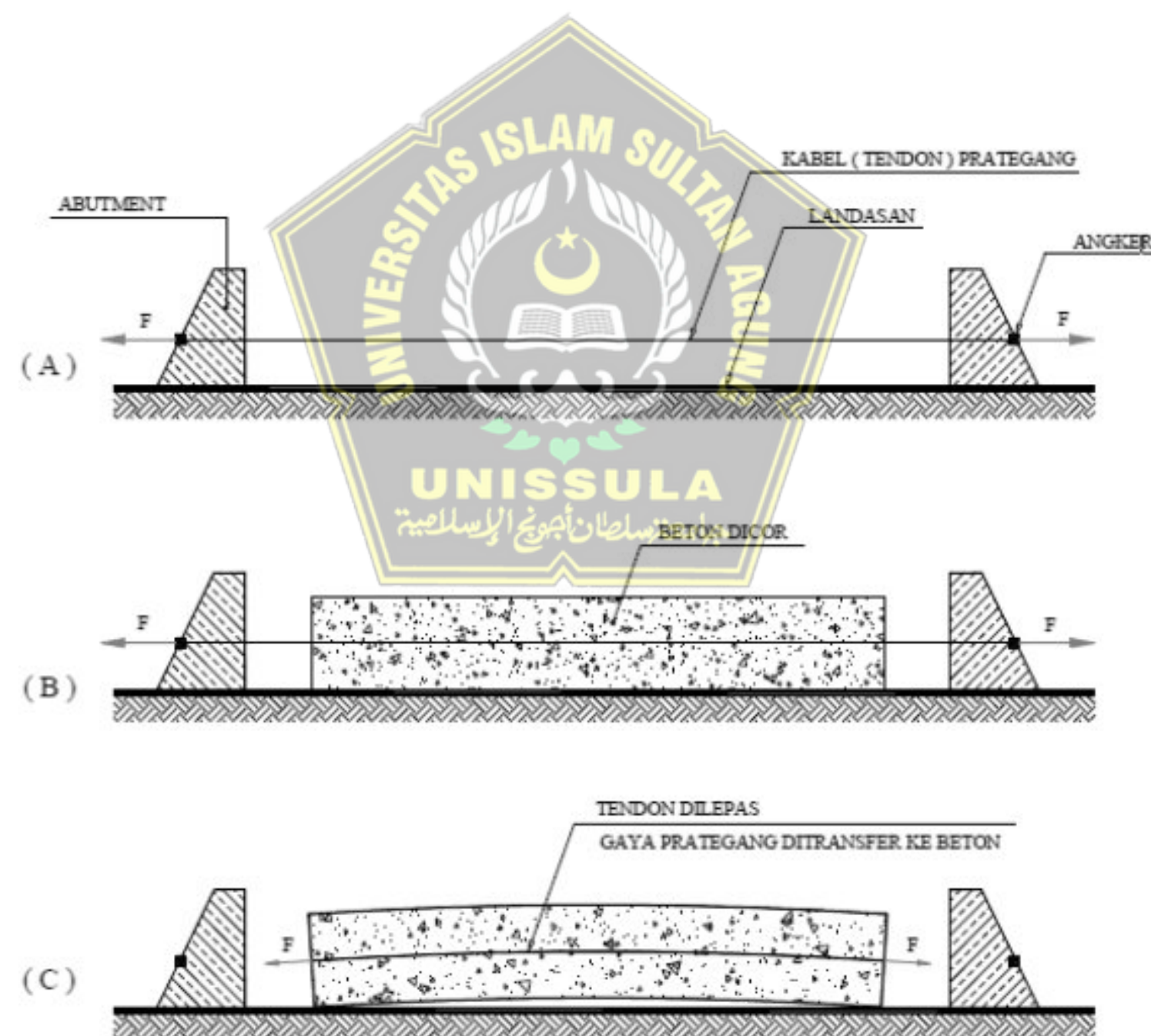
Jadi timbul beban merata akibat beban yang mengarah kebawah yang diimbangi oleh gaya merata akibat prategang W_b yang mengarah keatas.

2.5.1. Gaya prategang pada beton

Soetoyo (2011), dalam bukunya yang berjudul Konstruksi Beton Pratekan [3] menyebutkan bahwa berdasarkan konsepnya, beton diberikan gaya prategang tebentuk tendon atau kabel baja. Pemberian gaya prategang pada beton terdiri dari 2 macam metode, yaitu:

1) Pratarik (*Pre-Tension Method*)

Prinsip kerja metode ini adalah kabel baja diregangkan terlebih dahulu sebelum beton dicetak. Pertama tendon prategang ditarik kemudian dilakukan pengangkuran pada abutment. Setelah tendon terpasang, maka beton dapat dicetak. Setelah itu, tendon dapat dipotong sehingga gaya prategang dapat ditransfer ke beton. Pada kondisi ini, kuat tekan beton harus sesuai dengan yang disyaratkan [3]. Proses beton prategang pra-tarik dijelaskan pada Gambar 2.4.



.Gambar 2.4. Konsep pra tarik [3]

Tahap A :Kabel (Tendon) prategang ditarik atau diberi gaya prategang kemudian diangker pada suatu abutment tetap (Gambar 2.4. A)

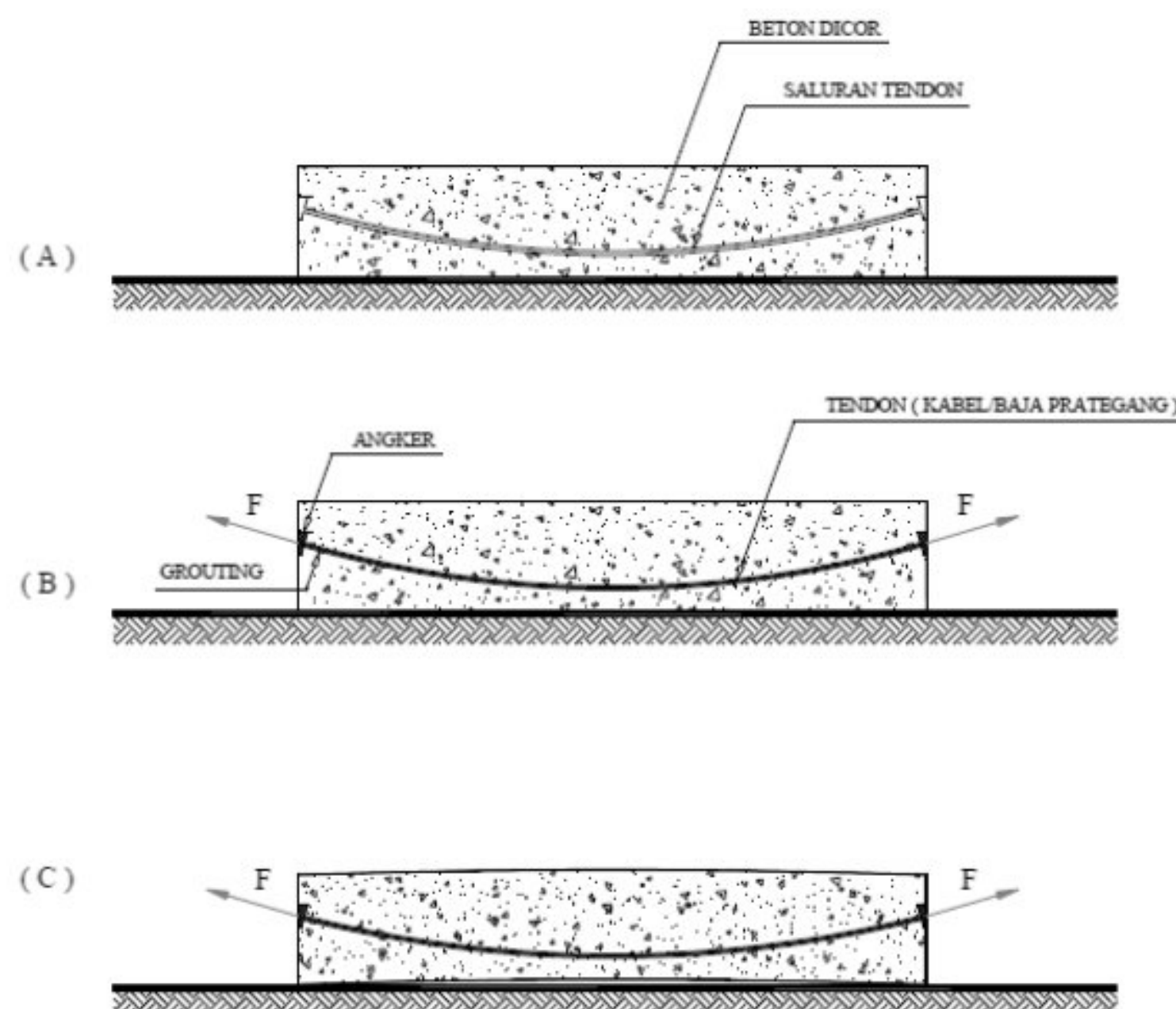
Tahap B : Beton dicor pada cetakan (*formwork*) dan landasan yang sudah disediakan sehingga melingkupi tendon yang sudah diberi gaya prategang dan dibiarkan mengering (Gambar 2.4. B)

Tahap C : Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton (Gambar 2.4. C).

Setelah gaya prategang ditransfer ke beton, balok beton tersebut akan melengkung keatas sebelum menerima beban kerja. Setelah beban kerja bekerja, maka belokbeton tersebut akan rata.

2) Pasca tarik (*Post-Tension*)

Prinsip kerja metode ini adalah beton dicetak terlebih dahulu, kemudian setelah beton kering kabel ditarik. Pertama beton dicetak mengelilingi selongsong atau selubung tendon dimana kabel prategang berada didalam selongsong selama pengecoran kemudian setelah beton mengeras diberi gaya prategang dengan cara mengangkur kabel prategang ke abutment. Pada saat itu gaya prategang ditransfer ke beton sehingga beton akan tetekan [3]. Proses beton prategang pasca tarik dijelaskan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Konsep pasca tarik [3]

- Tahap A : Dengan cetakan (*formwork*) yang telah disediakan lengkap dengan saluran/selongsong kabel prategang (*tendon duct*) yang dipasang melengkung sesuai bidang momen balok, beton dicor (Gambar 2.5. A)
- Tahap B : Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, tendon atau kabel prategang dimasukkan dalam selongsong (*tendon duct*), kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya prategang. Metode pemberian gaya prategang ini, salah satu ujung kabel diangker, kemudian ujung sisinya dan diangker secara bersamaan. Setelah diangker, kemudian saluran di groutig melalui lubang yang telah disediakan. (Gambar 2.5. B)
- Tahap C : Setelah diangker, balok beton menjadi tertekan, jadi gaya prategang telah ditransfer ke beton. Karena beton dipasang melengkung, maka akibat gaya prategang tendon memberikan beban merata kebalok yang arahnya keatas, akibat balok melengkung keatas (Gambar 2.5. C).

2.6. Peraturan Perencanaan Jembatan Jalan Raya

Peraturan perencanaan dan pembebanan jembatan jalan raya yang berlaku saat ini dan yang dipergunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) No. 07/SE/M/2015 tahun 2015 tentang Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan [4], dan
2. Peraturan Perencanaan Jembatan Ditjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum tahun 1992 [5].

2.6.1. Surat Edaran Menteri PUPR tahun 2015

Menteri PUPR melalui Surat Edaran no. No. 07/SE/M/2015 tahun 2015 [4] memberikan pokok-pokok perencanaan jembatan yang meliputi:

- a) Kekuatan dan stabilitas struktur (*structural safety*)
- b) Keawetan dan kelayakan jangka panjang (*durability*)
- c) Kemudahan pemeriksaan(*inspectability*)
- d) Kemudahan pemeliharaan (*maintainability*)
- e) Kenyamanan bagi pengguna jembatan (*rideability*)
- f) Ekonomis
- g) Kemudahan pelaksanaan
- h) Estetika
- i) Dampak lingkungan pada tingkat yang wajar dan cenderung minimal

a) Keselamatan

Tanggung jawab utama seorang perencana jembatan harus mengedepankan keselamatan masyarakat umum, dimana perencana harus mendapatkan suatu jembatan yang memiliki keselamatan struktural (*structural safety*) yang memadai.

b) Keawetan

Jembatan harus dibuat dari bahan yang berkualitas serta menggunakan standar yang tinggi dalam proses fabrikasi dan perakitanannya.

Baja struktur harus terlindungi dari korosi, memiliki sistem lapis pelindung (*coating*) atau proteksi katodik (*cathodic protection*) yang berusia panjang. Baja tulangan dan baja prategang pada komponen beton yang terekspos udara atau air harus terlindungi secara memadai dengan salah satu atau kombinasi dari pelindung epoxy dan/atau galvanis, selimut beton, kepadatan beton, komposisi kimia beton, pengecatan permukaan beton atau proteksi katodik. Baja prategang di dalam selongsong harus di injeksi dengan graut (*grout*) atau tindakan lain yang melindungi dari korosi. Bahan yang terbuat dari alumunium harus diinsulasi secara elektrik dari komponen baja dan beton.

Perlindungan juga harus tersedia untuk material yang mudah rusak akibat radiasi sinar matahari dan polusi udara. Pertimbangan lebih harus diberikan terkait

dengan keawetan material yang berhubungan langsung dengan tanah dan/atau air.

Jembatan harus dirancang untuk dapat meminimalkan pengaruh yang dapat mempercepat kerusakan pada komponen akibat bentuk dan geometri elemen yang ada (*self-protecting measures*). Sebagai contoh, tindakan berikut ini dapat dilakukan, namun tidak terbatas pada hal tersebut saja misalnya, menyediakan kemiringan yang cukup pada permukaan atas pilar dan kepala jembatan untuk dapat mengeluarkan air yang turun akibat penggunaan sambungan lantai tipe terbuka.

c) Mudah diperiksa

Agar mudah melakukan pemeriksaan maka jembatan harus dilengkapi dengan tangga inspeksi, jalan pemeriksaan, lubang pemeriksaan yang tertutup, akses penggantian lampu penerangan dan sebagainya harus disediakan ketika tujuan pemeriksaan dinilai tidak mudah diperoleh.

d) Keamanan dan kenyamanan penggunaan

Lantai jembatan harus dirancang untuk menghasilkan pergerakan lalu lintas yang mulus. Pada jalan yang diperkeras, pelat injak (*structural transition slab*) harus dipasang diantara jalan pendekat dan kepala jembatan.

Sudut pada sambungan lantai beton yang terlewati oleh lalu lintas harus dilindungi dari kemungkinan tergerus atau gompal. Apabila lantai beton tanpa lapis permukaan aspal digunakan, pertimbangan harus diberikan untuk menyediakan ketebalan tambahan ± 10 mm untuk keperluan penyesuaian profil lantai dengan cara penggerindaan (*grinding*) dan sebagai kompensasi berkurangnya ketebalan akibat tergerus.

e) Bangunan Pelengkap

Jika diperlukan perlengkapan harus dibuat untuk mendukung dan memelihara tempat terpasangnya utilitas.

f) Perubahan bentuk

Jembatan harus direncanakan sedemikian rupa untuk menghindari pengaruh struktural dan psikologi yang tidak diinginkan akibat perubahan bentuk yang terjadi. Dalam hal ini perhitungan tambahan juga harus diberikan pada jembatan bersudut (*skewed*), batasan lendutan ijin berdasarkan bahan jembatan dan tipe struktur.

g) Pertimbangan pelebaran di masa depan

Untuk keperluan ini pada embatan gelagar, kapasitas balok terluar (*exterior beams*) harus dihitung setara dengan balok lainnya (*interior beams*) kecuali jika diasumsikan tidak mungkin/tidak akan dilakukan pelebaran jembatan di masa yang akan datang. Untuk hal yang sama, pertimbangan pada saat perencanaan bangunan bawah juga perlu dilakukan untuk memungkinkan menerima beban pada kondisi jembatan yang telah diperlebar.

h) Kemudahan dikerjakan (*constructability*)

Suatu jembatan tidak hanya harus dapat direncanakan dengan baik, namun juga harus dapat dilaksanakan/dibangun, oleh karena itu seorang perencana juga harus memiliki wawasan tentang teknik-teknik konstruksi jembatan dan komponen komponennya sehingga gambar yang diterbitkan dari proses perencanaan dapat dilaksanakan.

i) Ekonomis

Desain atau rencana yang baik akan memperhatikan faktor ekonomis dari sumber pendanaan untuk pelaksanaan jembatan tersebut kelak setelah selesai direncanakan. Pemilihan tipe bangunan atas, penentuan jumlah dan panjang

bentang dan sebagainya akan menentukan seberapa besar biaya yang diperlukan untuk membangun jembatan tersebut. Tipe jembatan serat komponen yang digunakan juga menentukan besar kecilnya *life cycle cost* dari jembatan. Biaya total jembatan (*total coast*) akan mencakup biaya awal pembangunan (*initial cost*), biaya pengoperasian (*operational cost*) dan biaya pemeliharaan/penggantian komponen (*maintenance cost*) yang harus menjadi pertimbangan pada saat perencanaan jembatan. Pada Tabel 2.1. dari berbagai literature, disajikan sebagai referensi awal dalam pemilihan bangunan atas berdasarkan bentang ekonomisnya.

Tabel 2.1. – Pedoman umum penentuan bentang ekonomis

No.	Tipe Bangunan Atas	Bentang Ekonomis (m)
1	Pelat Beton Bertulang	0-15
2	Gelagar Beton T	10-18
3	Mod Gelagar Beton T	18-25
4	Gelagar Boks Beton Bertulang	25-40
5	Gelagar I Beton Pratekan	25-40
6	Gelagar Boks Baja	40-300
7	Rangka Baja (<i>Steel Truss</i>)	40-200
8	Pelengkung Baja (<i>Steel Arch</i>)	150-400
9	Beruji Kabel (<i>Cable Stayed</i>)	200-500
10	Gantung (<i>Suspension</i>)	300-2000

Catatan : besarnya bentang di atas hanya sekedar referensi dan dapat diubah oleh yang berwenang karena berbagai pertimbangan.

j) Estetika

Suatu jembatan pada umumnya memiliki nilai estetika karena memiliki bentuk yang unik dibandingkan bangunan di sekitarnya. Pada saat perencanaan jembatan, pertimbangan estetika dapat dipilih untuk menentukan bentuk visual jembatan yang diinginkan. Hal seperti ini biasanya terjadi pada suatu daerah yang menginginkan jembatan menjadi ciri khas (*lanmark*) dari daerah tersebut.

2.6.2. Peraturan Perencanaan Jembatan Ditjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum tahun 1992

Menurut peraturan perencanaan jembatan Ditjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum tahun 1992 [5] ada beberapa peraturan yang ditetapkan mengenai perencanaan jembatan, meliputi:

- 1) Umur rencana jembatan standar adalah 50 tahun untuk komponen-komponen utama jembatan (fondasi, bangunan bawah, gelagar, bentang-bentang rangka, sistem lantai)
- 2) Pembebanan jembatan menggunakan BM 100 termasuk juga jembatan semi permanen dan panel darurat.
- 3) Geometri
 - a. Badan jalan pada jembatan
 - Dalam hal bahu jalan tidak disediakan, maka harus menyediakan lajur tepian dengan perkerasan yang berpenutup di kiri dan kanan jalur lalu lintas paling sedikit 0,5 meter.
 - Di kedua sisi jalur lalu lintas harus disediakan jalur trotoar sebagai fasilitas bagi pejalan kaki dan petugas pemeliharaan dengan lebar paling sedikit 0,5 meter.
 - Lebar jalur lalu lintas pada jembatan harus sama dengan lebar jalur lalu lintas pada bagian ruas jalan di luar jembatan.
 - Khusus untuk fungsi jalan arteri, lebar badan jalan pada jembatan harus sama dengan lebar badan jalan pada bagian ruas jalan di luar jembatan.
 - b. Superelevasi/kemiringan melintang adalah 2% pada permukaan perkerasan lantai jembatan dan kemiringan memanjang maksimum 5%.
 - c. Ruang bebas vertikal untuk lalu lintas minimal 5,1 meter diukur dari puncak perkerasan jembatan ke elevasi terendah dari bagian atas jembatan.
 - d. Ruang bebas vertikal dan horizontal di bawah jembatan mengikuti standar/ketentuan perencanaan terhadap karakteristik/pola lalu lintas kapal dengan *free board*

- e. Untuk kebutuhan estetika pada daerah tertentu/pariwisata, hard railing/parapet dapat dibuat khusus atas persetujuan pengguna jasa dengan tetap mempertimbangkan aspek keselamatan jalan.
- f. Jika terdapat pemukiman penduduk di kiri-kanan orpit jembatan, maka dapat disediakan akses penduduk.
- g. Jembatan harus dilengkapi dengan tangga inspeksi dan dudukan untuk bangunan atas.
- h. Dibuat geometrik yang mulus/tidak terdapat perubahan signifikan pada kelandaian alinyemen vertikal.

4) Material

- a. Mutu beton bangunan lantai, anuan atas, bangunan bawah dan bore pile minimal f'_c 30 MPa.
- b. Mutu baja tulangan menggunakan BJTP 24 untuk $<D13$, dan BJTD 32 atau BJTD 39 untuk $>D13$, dengan variasi diameter tulangan dibatasi paling banyak 5 ukuran. Untuk desain bangunan lantai, khususnya pada daerah momen negatif disarankan menggunakan BJTP 24.
- c. Mutu kawat (*wire*) pra-tegang harus terdiri dari kawat kuat tarik tinggi dengan panjang menerus tanpa sambungan atau kopel dan harus sesuai dengan SNI 1155:2016.

5) Untuk memudahkan validasi koreksi atas gambar rencana, gambar rencana diusahakan sebanyak mungkin dalam bentuk gambar tipikal dan gambar standar.

6) Perencanaan bangunan atas jembatan

- a. Apabila tidak direncanakan secara khusus maka dapat digunakan bangunan atas jembatan standar Bina Marga (gambar standar) sesuai bentang ekonomis dan kondisi lalu lintas air di bawahnya seperti:
 - Box Culvert (*Single, double, triple*) bentang 6s/d 10 meter.
 - Corrugated steel plate bentang 6 s/d 12 meter.

- Voided Slab sampai dengan bentang 6 s/d 12 meter.
- Gelagar Beton Bertulang Tipe T Bentang 6 s/d 20 meter.
- Gelagar Beton Pratekan Tipe I Bentang 6 s/d 60 meter, Tipe Terbentang 16 s/d 60 meter dan Tipe Box bentang 30 s/d 60 meter.
- Girder Komposit Tipe I bentang 20 s/d 60 meter dan Tipe Box bentang 20 s/d 60 meter.
- Rangka Baja bentang 40 s/d 100 meter.

7) Untuk perencanaan bangunan atas jembatan harus mengacu antara lain:

a. Perencanaan struktur atas menggunakan Limit States/LRFD atau Rencana Keadaan Batas berupa Ultimate Limit States (ULS) dan Serviceability Limit States (SLS).

b. Lendutan maksimum akibat beban lalu lintas dengan faktor beban dinamis tidak boleh melebihi $L/800$ untuk struktur sederhana diatas dua tumpuan atau $L/400$ untuk struktur kantilever. Lawan lendut harus didesain berdasarkan beban layan sebesar

$$\delta = 150 \% (\delta_{DL} + \delta_{LL}) \dots\dots\dots (2.3)$$

di mana:

L = bentang jembatan (m)

δ = tinggi lawan lendutan (MPa)

δ_{DL} = lendutan teoritis akibat beban mati (MPa)

δ_{LL} = lendutan teoritis akibat beban hidup (MPa)

c. Memperhatikan perilaku jangka panjang material dan kondisi lingkungan jembatan berada khususnya selimut beton, permeabilitas beton, atau tebal elemen baja dan galvanis terhadap risiko korosi ataupun potensi degradasi material.

8) Sistem lantai harus didesain secara non komposit, namun pelaksanaan di lapangan harus dibuat komposit dengan penulangan atas dan bawah (*double layer*). Permukaan lantai beton harus dilapis dengan waterproofing dan lapisan aspal dengan tebal 5 cm dan/atau overlay tebal 3 cm.

2.7. Peraturan Pembebanan Jembatan Jalan Raya

Peraturan-peraturan tentang pembebanan jembatan yang akan menjadi acuan dalam perencanaan jembatan beton prategang adalah Peraturan Pembebanan Jembatan dari SNI 1725-2016 [6]. Berdasarkan SNI 1725-2016 tersebut, beban-beban jembatan terdiri dari:

2.7.1. Beban Permanen

sangat beragam, seperti berat sendiri struktur, beban mati tambahan, dan beban tekanan tanah pada pangkal jembatan. Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dianggap tetap sedangkan beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Sedangkan beban tekanan tanah pada pangkal jembatan Tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi, sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan maupun laboratorium

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah $9,81 \text{ m/detik}^2$ [6]. Besarnya kerapian massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.2.

Pengambilan kerapian massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban berkurang. Akan tetapi, apabila kerapian massa diambil dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan

tepat, perencana harus memilih di antara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis [6].

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban terkurangi. Perencana jembatan harus menggunakan keahliannya di dalam menentukan komponen-komponen tersebut [6].

Tabel 2.2. – Berat isi untuk beban mati [4]

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1.	Lapisan permukaan beraspal (bituminos wearing surfaces)	22	2245
2.	Besi tuang (cast iron)	71	7240
3.	Timbunan tanah didapatkan (compacted sand, silt or clay)	17,2	1755
4.	Kerikil didapatkan (rolled gravel, macadam or ballast)	18,8-22,7	1920-2315
5.	Beban aspal (asphalt concrete)	22	2245
6.	Beton ringan (low density)	12,25-19,6	1250-2000
7.	Beton $f'_c < 35$ Mpa	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ Mpa	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8.	Baja (steel)	78,5	7850
9.	Kayu (ringan)	7,8	800
10.	Kayu keras (hard wood)	11	1125

2.7.2. Berat sendiri struktur (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang

merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap [6]. Faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. – Faktor beban untuk berat sendiri [6]

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan batas ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1	1,1	0,9
	Alumunium	1	1,1	0,9
	Beton pracetak	1	1,2	0,85
	Beton dicor di tempat	1	1,3	0,75
	Kayu	1	1,4	0,7

2.7.3. Beban mati tambahan/utilitas (MA)

Beban mati tambahan sebagaimana disebutkan pada Tabel 2.4. adalah berat seluruh bahan pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.4. dapat digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan [6].

Tabel 2.4. – Faktor beban untuk beban mati tambahan [6]

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan batas layan (γ_{MA}^S)		Keadaan batas ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1	2	0,7
	Khusus (terawasi)	1	1,4	0,8

Catatan : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

2.7.4. Tekanan tanah pada pangkal jembatan (Abutment) (TA)

Tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi, sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pada SNI nomot 1725 tahun 2016. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linear dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari γ_s , c dan ϕ_f [6].

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari γ_s dan nilai rencana dari c serta ϕ_f . Nilai-nilai rencana dari c serta ϕ_f diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan [4]. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti yang tercantum pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. – Faktor beban akibat tekanan tanah [6]

Tipe beban	Faktor beban (γ_{TA})			
	Kondisi batas layan (γ_{TA}^S)		Kondisi batas ultimit γ_{TA}^U	
Tetap	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- aktif	1,00	1,25	0,80
	- pasif	1,00	1,40	0,70
	- diam	1,00	(1)	
catatan ⁽¹⁾ :tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.				

Tanah di belakang dinding abutmen biasanya mendapatkan beban tambahan apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoritis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah

dalam arah lateral saja, dan faktor beban yang digunakan harus sama seperti yang telah ditentukan dalam menghitung tekanan tanah arah lateral. Faktor pengaruh pengurangan dari beban tambahan ini tidak perlu diperhitungkan [6].

2.8. Pengaruh tetap pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batasan ultimit menggunakan faktor beban sesuai Tabel 2.6.

Tabel 2.6. – Faktor Beban akibat pengaruh pelaksanaan [6]

Tipe Beban	Faktor Batas Layan (γ_{PL})		
	Keadaan Batas Layan (γ_{PL}^S)	Keadaan Batas limit (γ_{PL}^U)	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1	1	1

2.9. Beban lajur “D”

Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat Gambar 2.7.

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

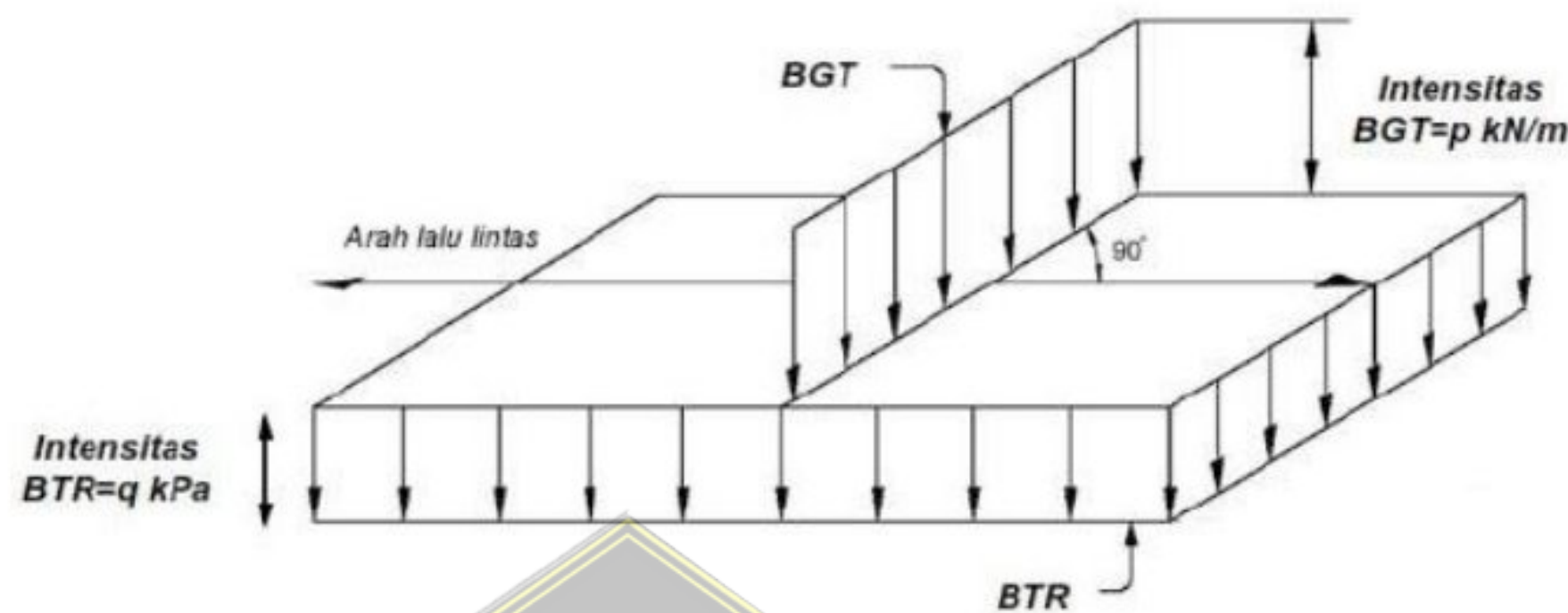
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9.0 \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.4)$$

Jika $L > 30 \text{ m}$: $q = 9.0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \dots\dots\dots(2.5)$

di mana:

q = adalah intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L = adalah panjang total jembatan yang dibebani (m)



Gambar 2.6. Beban lajur “D”

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas $p \text{ kN/m}$ harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah $49,0 \text{ kN/m}$.

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.6. Faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti Tabel 2.7.

Tabel 2.7. - Faktor beban untuk beban lajur “D”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1	1.8
	Boks Girder Baja	1	2

2.10. Beban truk “T”

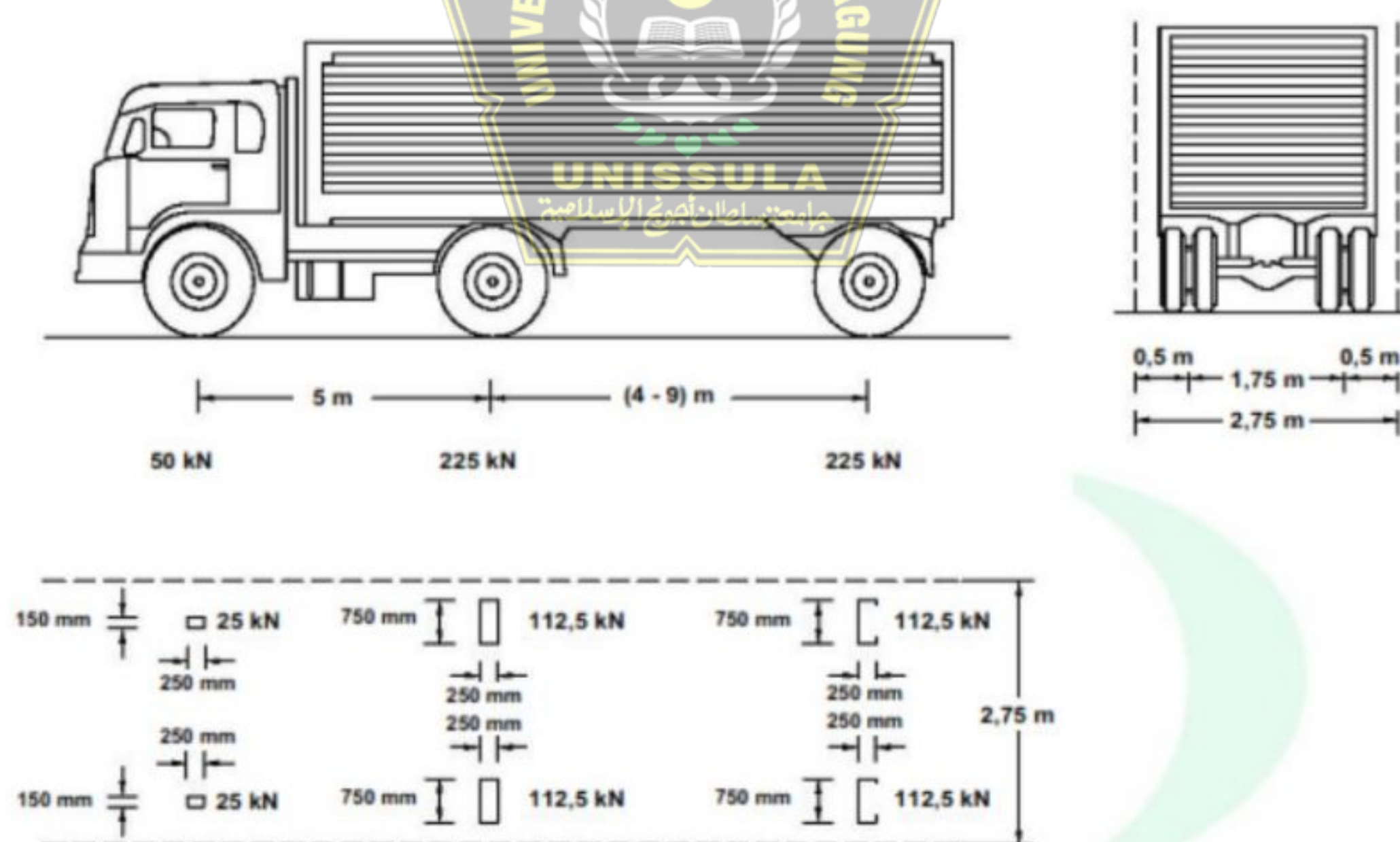
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat

digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Faktor beban akibat pembebanan truk “T” terdapat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. - Faktor beban akibat pembebanan truk “T”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1	1.8
	Boks Girder Baja	1	2

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.7. berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2.7. Pembebanan truk “T”

2.11. Faktor beban akibat penurunan

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan dapat dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai dengan Tabel 2.9.

Penurunan dapat diperkirakan dari pengujian yang dilakukan terhadap lapisan tanah. Apabila perencana memutuskan untuk tidak melakukan pengujian, tetapi besarnya penurunan diambil sebagai suatu anggapan, maka nilai anggapan tersebut merupakan batas atas dari penurunan yang bakal terjadi. Apabila nilai penurunan ini besar, perencanaan bangunan bawah dan bangunan atas jembatan harus memuat ketentuan khusus untuk mengatasi penurunan tersebut.

Tabel 2.9. Faktor beban akibat penurunan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{ES})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{ES}^E)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{ES}^U)
Permanen	1	N/A

2.12. Pengaruh susut dan rangkai (SH)

Pengaruh rangkai dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkai dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkai dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang). Faktor beban akibat susut dan rangkai diberikan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10.- Faktor beban akibat susut dan rangkai

Tipe beban	Faktor beban (γ_{SH})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{SH}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{SH}^U)
Tetap	1.0	0.5
Catatan : walaupun susut dan rangkai bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan		

2.13. Pengaruh prategang (PR)

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit. Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Faktor beban akibat pengaruh prategang

Tipe beban	Faktor beban (γ_{PR})	
	keadaan batas layan (γ_{PR}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{PR}^U)
Tetap	1	1

Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya. Pengaruh utama prategang adalah sebagai berikut:

- Pada keadaan batas daya layan, gaya prategang dapat dianggap bekerja sebagai suatu sistem beban pada unsur. Nilai rencana dari beban prategang tersebut harus dihitung menggunakan faktor beban daya layan sebesar 1,0
- Pada keadaan batas ultimit, pengaruh sekunder akibat gaya prategang harus dianggap sebagai beban yang bekerja.

2.14. Peraturan yang dipakai dalam perencanaan

Dari tinjauan terhadap peraturan-peraturan perencanaan jembatan tersebut di atas, dalam Merencana Jembatan Tol Layang di Sayung, akan dipergunakan peraturan dari Ditjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum tahun 1992.

BAB III

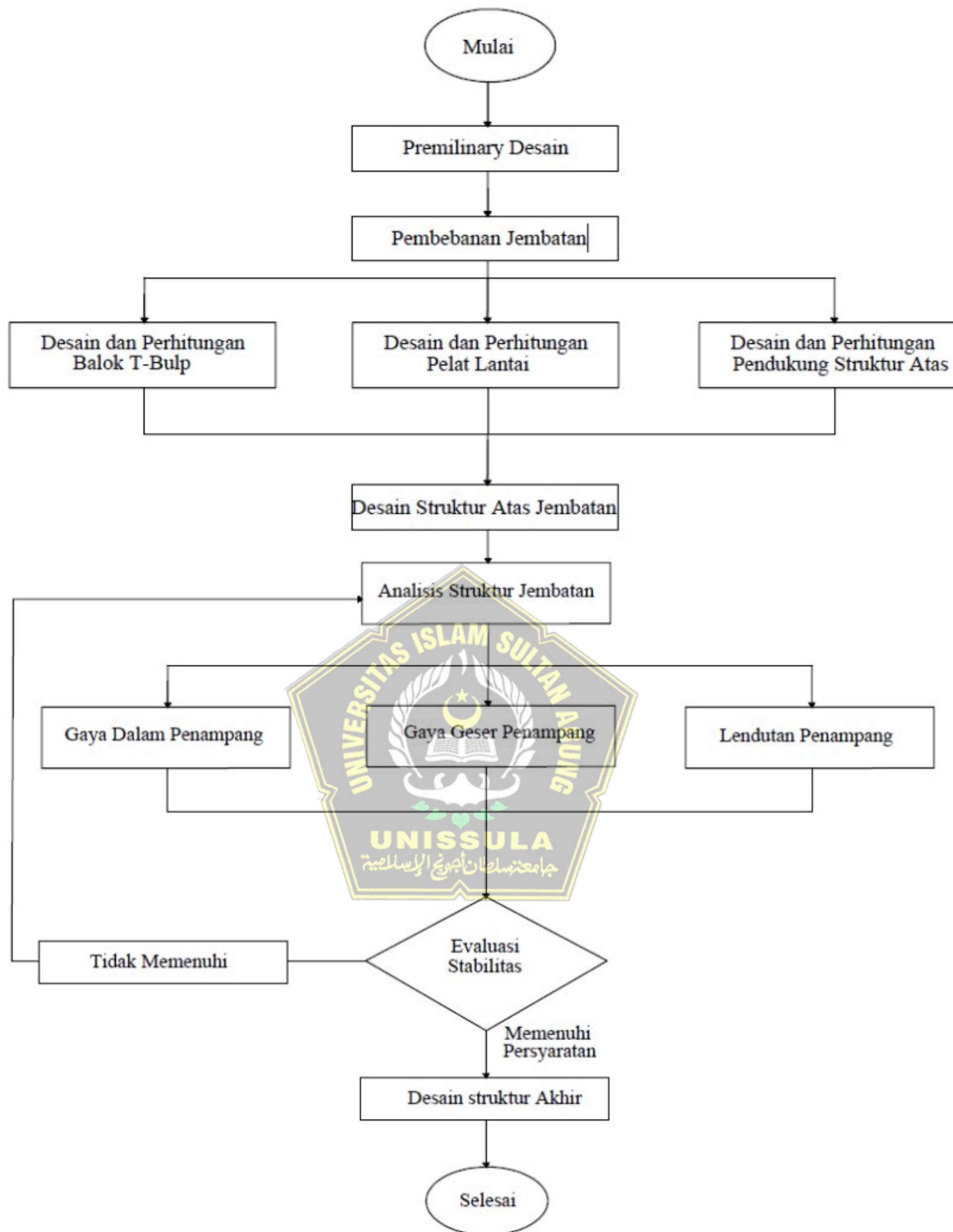
METODOLOGI PERENCANAAN

3.1. Pendahuluan

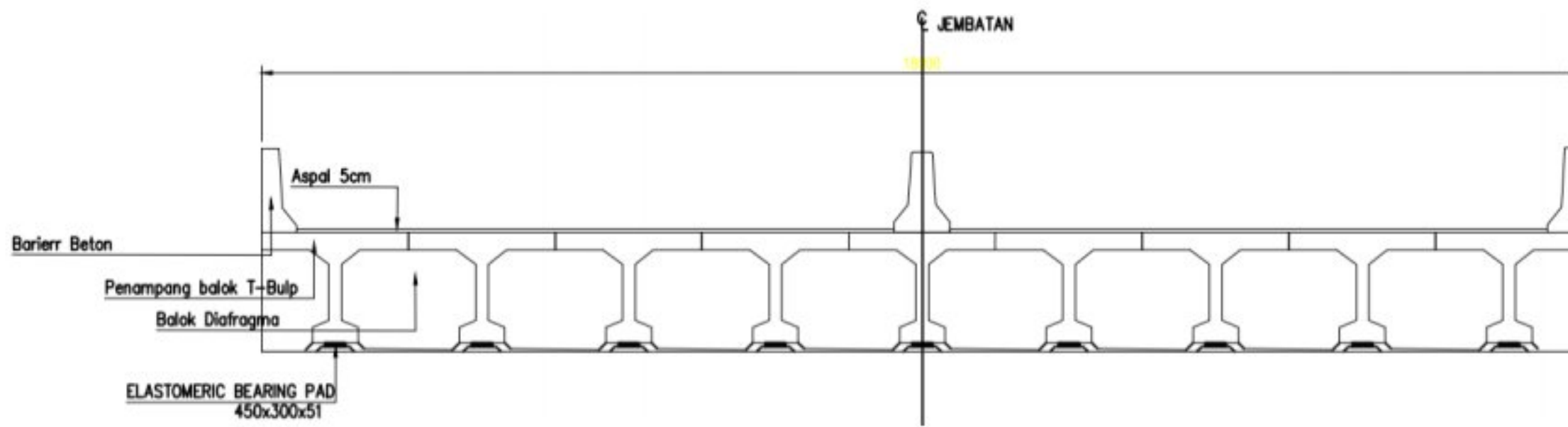
Bab Metodologi perencanaan ini ditulis untuk menjelaskan langkah-langkah yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan atas jembatan prategang pada proyek pembangunan jalan Tol Semarang-Demak yang terletak di atas jalan arteri Semarang-Demak di daerah Sayung. Dalam bab metodologi perencanaan ini dikelompokkan menjadi dua bagian utama. 1) Bagian pertama adalah *preliminary* desain yaitu penentuan desain awal yang meliputi penentuan bentang jembatan, lebar jembatan, dimensi gelagar. 2) Bagian kedua merupakan perhitungan struktur atas jembatan yang meliputi perhitungan penampang balok prategang, perhitungan sandaran dan bangunan pelengkap lainnya. Bagan alir metodologi perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.2. *Preliminary* Desain

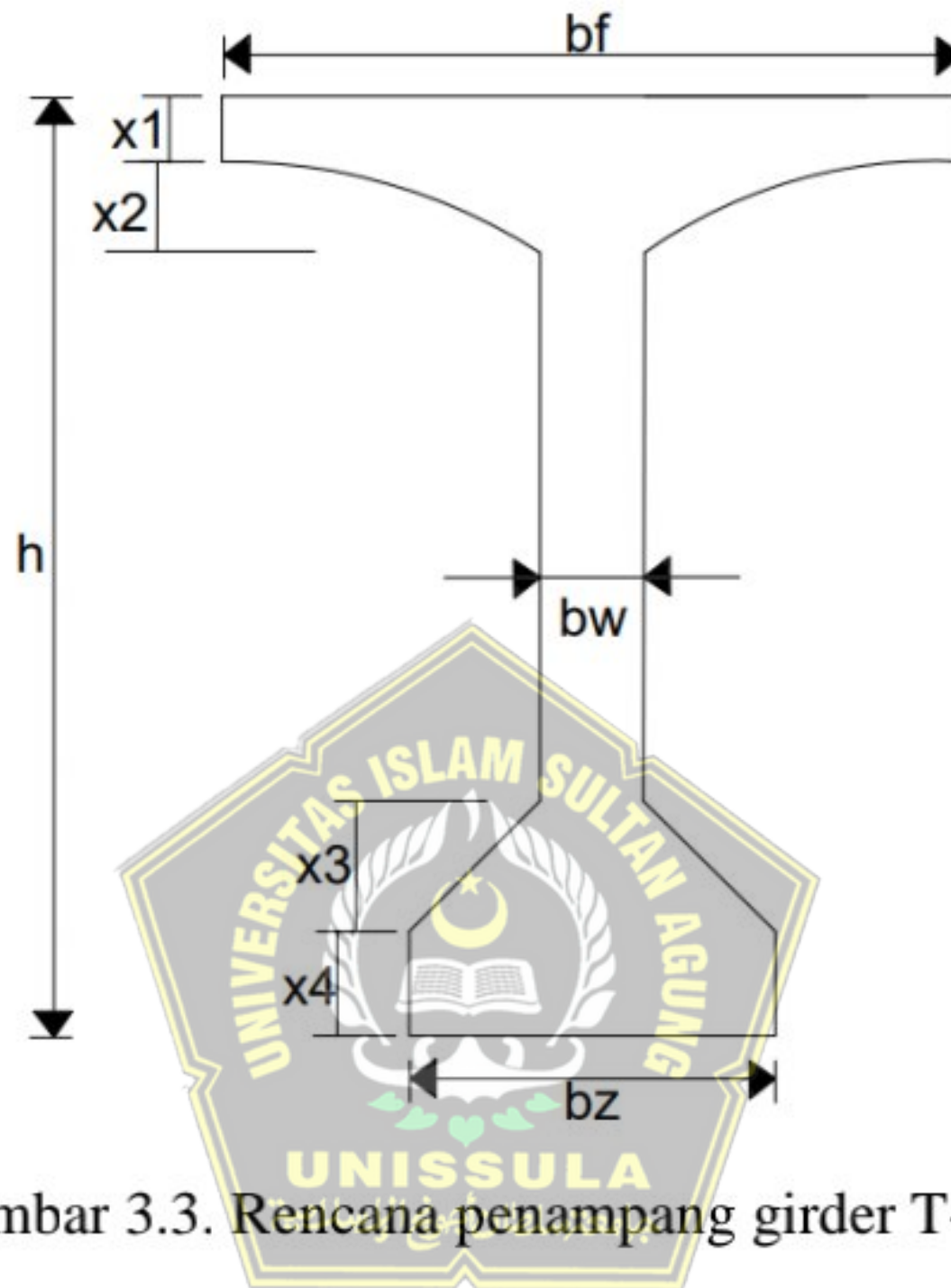
Preliminary desain atau desain awal adalah penentuan panjang dan jumlah bentang jembatan, lebar jembatan, penentuan bentuk profil girder, ukuran dan jumlah girder, dan semua bagian-bagian struktur bangunan atas jembatan. Di samping itu ditentukan pula bahan-bahan yang akan dipergunakan dalam perencanaan. Dimensi-dimensi jembatan tersebut kemudian akan di hitung kekuatannya dalam bab perencanaan. Gambar 3.2. dan Gambar 3.3. memperlihatkan rencana jembatan T-Bulp dan penampang girder yang akan dipergunakan dalam jembatan ini.



Gambar 3.1. Bagan Alir Metodologi Perencanaan



Gambar 3.2. Gambar rencana jembatan T-Bulp



Gambar 3.3. Rencana penampang girder T-bulp

Keterangan gambar:

h	= Tinggi balok	= 2100 mm
b_f	= Lebar sayap balok T	= 2100 mm
x_1	= Tebal sayap T bagian atas (merupakan tebal lantai jembatan)	= 250 mm
x_2	= Tebal bagian miring sayap T	= 120 mm
b_w	= Tebal badan balok	= 250 mm
x_3	= Tebal bagian miring sayap bawah	= 250 mm
x_4	= Tebal bagian tepi T-bulp	= 250 mm
b_z	= Lebar T-bulp	= 700 mm

3.2.1. Data struktur bangunan atas

Jenis jembatan	= Jembatan Balok Prategang
Panjang jembatan	= 180 m
Jumlah bentang	= 5 (lima) bentang @ 36 meter
Lebar jembatan	= 18 m
Jumlah lajur lalu lintas	= 2 lajur @ 9 meter
Tebal lapisan aspal	= 0,05 m
Jarak antar gelagar	= 2,10 m

3.2.2. Properti balok girder prategang

Momen inersia balok (I_g)	= $4,109 \times 10^{11} \text{ mm}^4$	
Luas penampang balok (A_g)	= 749500 mm^2	
Garis berat bawah balok (C_b)	= 1008 mm	
Garis berat atas (C_t)	= $h - C_b$	(3.1)
Modulus bagian atas (S_t)	= $\frac{I_g}{C_t}$	(3.2)
Modulus bagian bawah (S_b)	= $\frac{I_g}{C_b}$	(3.3)
Jari-jari momen inersia (r)	= $\sqrt{\frac{I_g}{A_g}}$	(3.4)
Batas inti balok bawah (k_b)	= $\frac{r^2}{C_t}$	(3.5)
Batas inti balok bawah (k_t)	= $\frac{r^2}{C_b}$	(3.6)

3.2.3. Bahan bangunan atas jembatan

1) Balok penampang prategang

- Beton dengan kuat tekan (f_c') = 45,65 MPa
- Modulus elastisitas beton (E_c) = $4700\sqrt{f_c} = 4700 \sqrt{45,56}$
= 31755,448 MPa
- Baja tulangan dengan titik leleh (f_y) = 400 MPa

2) Balok diafragma

- Beton dengan kuat tekan (f_{cp}) = 29 MPa
- Modulus elastisitas pelat (E_{cp}) = $4700\sqrt{f_{cp}} = 4700\sqrt{29}$
= 25310,275 MPa

3) Parapet (*barrier*)

- Material = beton bertulang
- Mutu beton (f_c') = 30 Mpa
- Mutu tulangan (f_y) = 250 MPa
- Tebal selimut beton (d') = 30
- Lebar samping bawah(d) = 450 cm
- Diameter tulangan = 16 mm
- Luas tulangan (A_s) = 200,96 mm²
- Diameter sengkang = 10 mm
- Luas tulangan sengkang (A_s) = 78,5 mm²

4) Kabel prategang

- Tipe kabel yang digunakan = Seven Wire strand
- Tegangan putus (f_{pu}) = 1860 MPa
- Tegangan leleh (f_{py}) = $0,9 f_{pu} = 1.674 \times 10^3$ MPa
- Tegangan saat dilakukan penekanan (f_{pj}) = $0,75 f_{pu} = 1.395,00$ MPa
- Tegangan setelah kehilangan energi (f_{pi}) = $0,7 f_{pu} = 1.302,00$ MPa
- Tegangan segera setelah kehilangan energi (asumsi kehilangan 20%) (f_{peff}) = $0,8 f_{pi} = 1.041,60$ MPa
- Modulus elastisitas kabel (E_{ps}) = 195.000 MPa
- Diameter tendon (ϕ_s) = 12,7 mm
- Luas efektif per tendon (A_{p1}) = 98 mm²

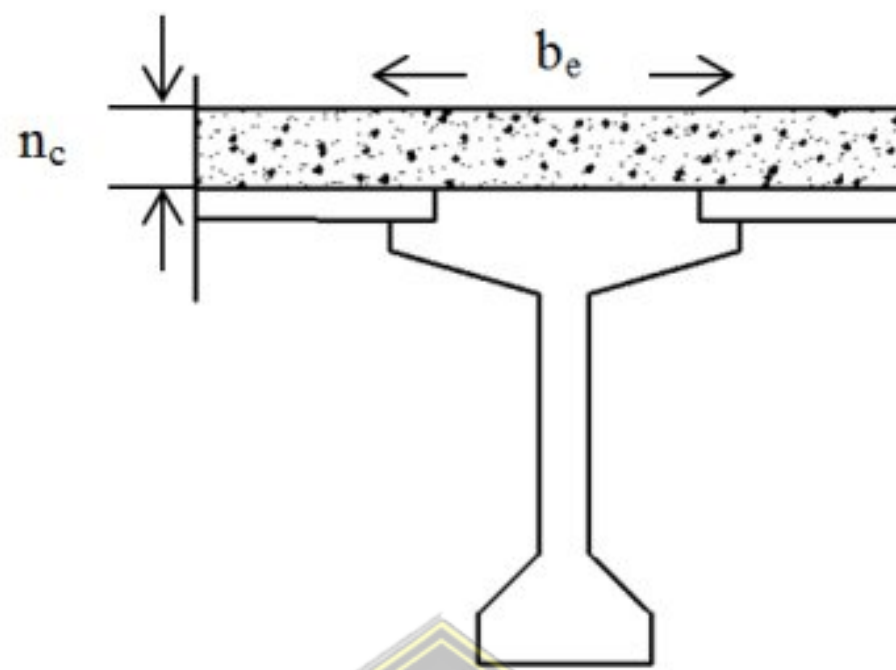
5) Berat jenis bahan

- Beton Prategang = 25 kN/m³
- Besi tulangan = 76,98 kN/m³

- Aspal = 22 kN/m³
- Air hujan = 9,8 kN/m³

3.2.4. Penampang balok prategang

Setelah dek mengeras maka perlu properti gelagar, dimana gelagar momen inersia penampang dipengaruhi oleh luas pelat dek diatas jembatan. Penampang balok prategang dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Penampang balok prategang

Modulus elastisitas girder (E_c)	= 31.755,448 MPa	
Angka ekivalen (n_c)	= 1	
Lebar sayap efektif (b_{pl})	= 2100 mm	
Lebar sayap transform (b_e)	= $n_c \times b_{pl}$	(3.7)
Luas penampang balok (A_{cg})		

$$A_{cg} = A_g + (b_e \times h_{slb}) \text{(3.8)}$$

di mana:

A_{cg} = Luas penampang balok komposit (mm²)

A_g = luas penampang balok (mm²)

h_{slb} = Tebal pelat total asumsi (m)

b_e = lebar sayap transform (mm)

Garis berat bawah (C_{bg})

$$C_{bg} = \frac{be \times h_{slb} \times \left(h + \frac{h_{slb}}{2} \right) + Ag \times C_b}{A_{cg}} \dots\dots\dots(3.9)$$

di mana:

C_{bg} = Garis berat bawah gelagar (mm)

h = Tinggi balok gelagar (mm)

C_b = Garis berat bawah balok (mm)

A_{cg} , A_g , h_{slb} , b_e seperti pada persamaan 3.8

Garis berat atas gelagar

$$C_{tg} = h + h_{slb} - C_{bg} \dots\dots\dots(3.10)$$

di mana:

C_{tg} = Garis berat atas gelagar (mm)

h , h_{slb} , C_{bg} , C_b seperti pada persamaan 3.9

Momen inersia gelagar

$$I_{cg} = I_g + Ag (C_{bg} - C_b)^2 + \frac{be \times h_{slb}^3}{12} + be \times h_{slb} \left(C_{tg} - \frac{h_{slb}}{2} \right) \dots\dots\dots(3.11)$$

di mana:

I_{cg} = Momen inersia komposit (mm^4)

I_g = Momen inersia balok (mm^4)

Modulus bagian atas gelagar

$$S_{tg} = \frac{I_{cg}}{C_{tg}} \dots\dots\dots(3.12)$$

di mana:

C_{tg} , I_{cg} seperti pada persamaan 3.10. dan 3.11.

Modulus bagian bawah balok gelagar

$$S_{bg} = \frac{I_{cg}}{C_{bg}} \dots\dots\dots(3.13)$$

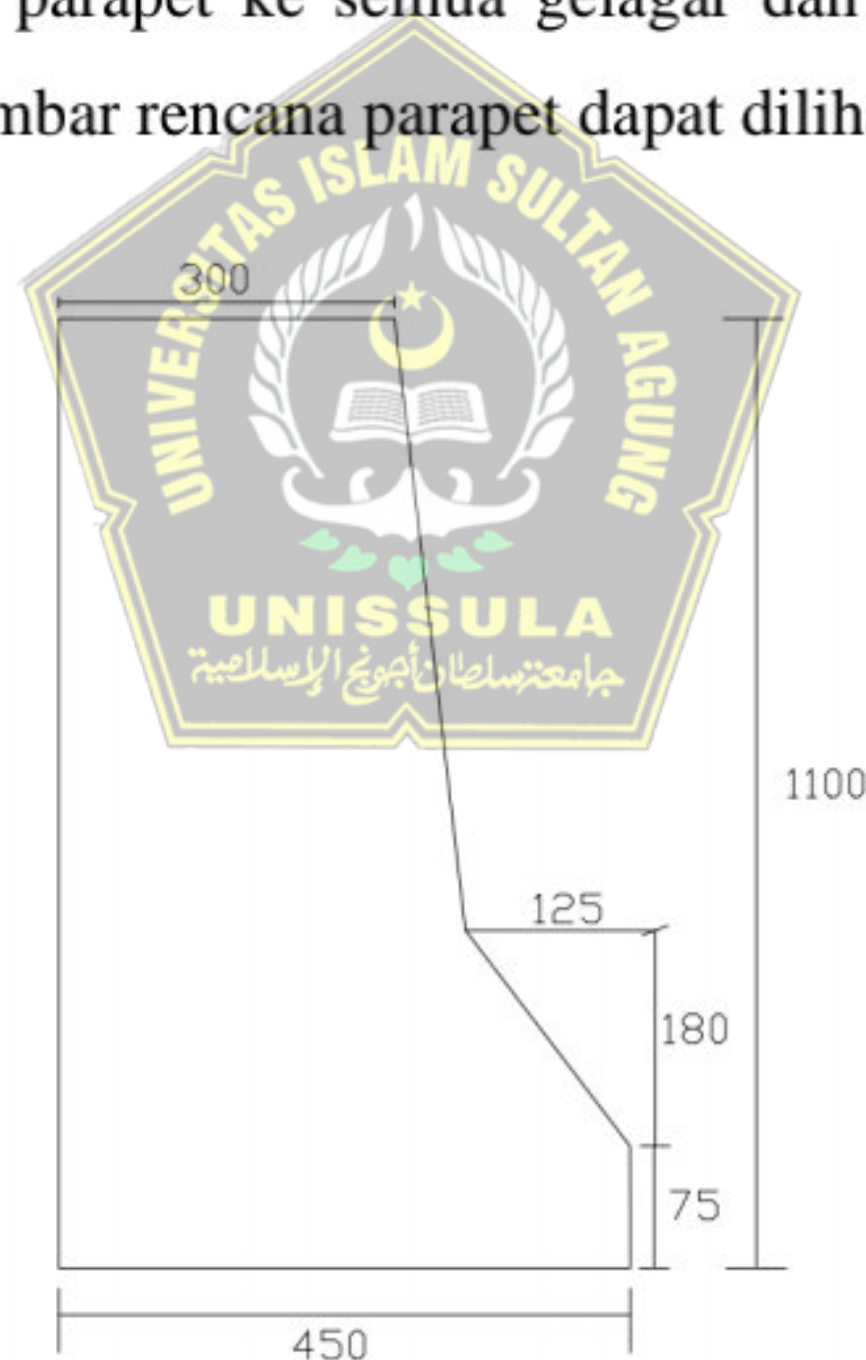
di mana:

S_{bg} = Modulus bagian bawah gelagar (mm^3)

C_{bg} , I_{cg} seperti pada persamaan 3.10. dan 3.12

3.2.5. Desain parapet (*barrier*)

Parapet (*barrier*) adalah bagian dari struktur jembatan yang berupa beton bertulang yang berfungsi sebagai batas tepi ujung jembatan untuk pengaman bagi pemakai lalu lintas yang melintas pada jembatan tersebut. Parapet merupakan salah satu beban permanen pada gelagar. Beban parapet dihitung dengan membagikan berat total parapet ke semua gelagar dan dianggap sebagai beban merata pada gelagar. Gambar rencana parapet dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Rencana parapet

Dalam desain parapet jembatan digunakan langkah-langkah berikut:

1. Memasukkan data desain yang digunakan untuk menghitung parapet, data tersebut yaitu spesifikasi dari dimensi jembatan.
2. Perhitungan parapet (*barrier*) dengan tinggi 110 cm, perhitungan tersebut meliputi:

a. Menghitung momen ultimate rencana, dihitung dengan persamaan:

$$M_u = P_{ult} \times H \dots\dots\dots(3.14)$$

b. Menghitung momen nominal, dihitung dengan persamaan:

$$M_n = \frac{M_u}{0,8} \dots\dots\dots(3.15)$$

c. Menghitung nilai R_n , dihitung dengan persamaan:

$$R_n = \frac{M_u}{\phi x b x d^2} \dots\dots\dots(3.16)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 x f_c} \dots\dots\dots(3.17)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(3.18)$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 x f_c' x \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance} \dots\dots\dots(3.20)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \dots\dots\dots(3.21)$$

$$A_s = \rho_{min} x b x d \dots\dots\dots(3.22)$$

3.3. Pembebanan Rencana jembatan

Dasar pembebanan rencana mengacu pada SNI 1725-2016 [6] mengenai pembebanan untuk jembatan. Perhitungan pembebanan ini meliputi, antara lain :

3.3.1. Berat sendiri (MS)

Pada perencanaan beban mati tambahan mengacu pada SNI 1725-2016 pasal 7.2 Tabel 3. Berat sendiri adalah berat dari profil dan elemen structural dan non structural yang direncanakan sejak awal dan tidak akan mengalami perubahan yang signifikan selama masa layan jembatan. Oleh karena itu, beban berat sendiri nilainya dianggap selalu tetap. Berat sendiri meliputi berat gelagar dan berat diafragma. Berikut merupakan rumus cara mencari berat sendiri (MS):

$$\text{Berat gelagar } W_1 = A_g \times \gamma_{cg} \dots\dots\dots(3.23)$$

$$\text{Berat diafragma } W_2 = A_{dp} \times t_{dp} \times n_{dp} / L_b \times \gamma_c \dots\dots\dots(3.24)$$

di mana:

A_g = luas penampang gelagar

γ_{cg} = berat jenis gelagar komposit

A_{dp} = luas penampang diafragma

t_{dp} = tebal diafragma

n_{dp} = jumlah diafragma

γ_c = berat jenis diafragma

L_b = panjang bentang jembatan

3.3.2. Beban mati (MA)

Pada perencanaan beban mati tambahan mengacu pada SNI 1725-2016 pasal 7.3 Tabel 4 pada perhitungan beban mati ini dihitung per bentang 36 meter dan terdiri dari bagian – bagian jembatan seperti pada gambar 3.6. berikut.



Gambar 3.6. Bagian-bagian jembatan

$$\text{Berat lapisan aspal } W_3 = b_p \times t_a \times \gamma_a \dots\dots\dots(3.25)$$

$$\text{Berat barrier } W_4 = W_p \times n_b / n_g \dots\dots\dots(3.26)$$

$$\text{Berat air hujan } W_{\text{air hujan}} = b_p \times t_{\text{air}} \times \gamma_{\text{air}} \dots\dots\dots(3.27)$$

di mana:

γ_a = berat jenis aspal
 b_p = berat pelat
 t_a = tebal aspal
 W_p = berat barrier
 n_g = jumlah gelagar

3.3.3. Perhitungan pengaruh beban mati maksimum terhadap momen dan geser

1) momen maksimum akibat MS dan MA adalah:

$$\text{Momen akibat berat gelagar} = M_{MS-G} = \frac{1}{8} \cdot W_g \cdot L_b^2 \dots\dots\dots(3.28)$$

$$\text{Momen akibat berat diafragma} = M_{MS-D} = \frac{1}{8} \cdot W_{dp} \cdot L_b^2 \dots\dots\dots(3.29)$$

$$\text{Momen akibat berat barrier} = M_{MA-B} = \frac{1}{8} \cdot W_{dp} \cdot L_b^2 \dots\dots\dots(3.30)$$

$$\text{Momen akibat berat aspal} = M_{MA-A} = \frac{1}{8} \cdot W_a \cdot L_b^2 \dots\dots\dots(3.31)$$

$$\text{Momen akibat berat air hujan} = M_{MA-air\ hujan} = \frac{1}{8} \cdot W_{air\ hujan} \cdot L_b^2 \dots\dots\dots(3.32)$$

2) gaya geser maksimum akibat MS dan MA adalah:

$$\text{Geser akibat berat gelagar} = M_{MS-G} = \frac{1}{2} \cdot W_g \cdot L_b \dots\dots\dots(3.33)$$

$$\text{Geser akibat berat diafragma} = M_{MS-D} = \frac{1}{2} \cdot W_{dp} \cdot L_b \dots\dots\dots(3.34)$$

$$\text{Geser akibat berat barrier} = M_{MA-B} = \frac{1}{2} \cdot W_{dp} \cdot L_b \dots\dots\dots(3.35)$$

$$\text{Geser akibat berat aspal} = M_{MA-A} = \frac{1}{2} \cdot W_a \cdot L_b \dots\dots\dots(3.36)$$

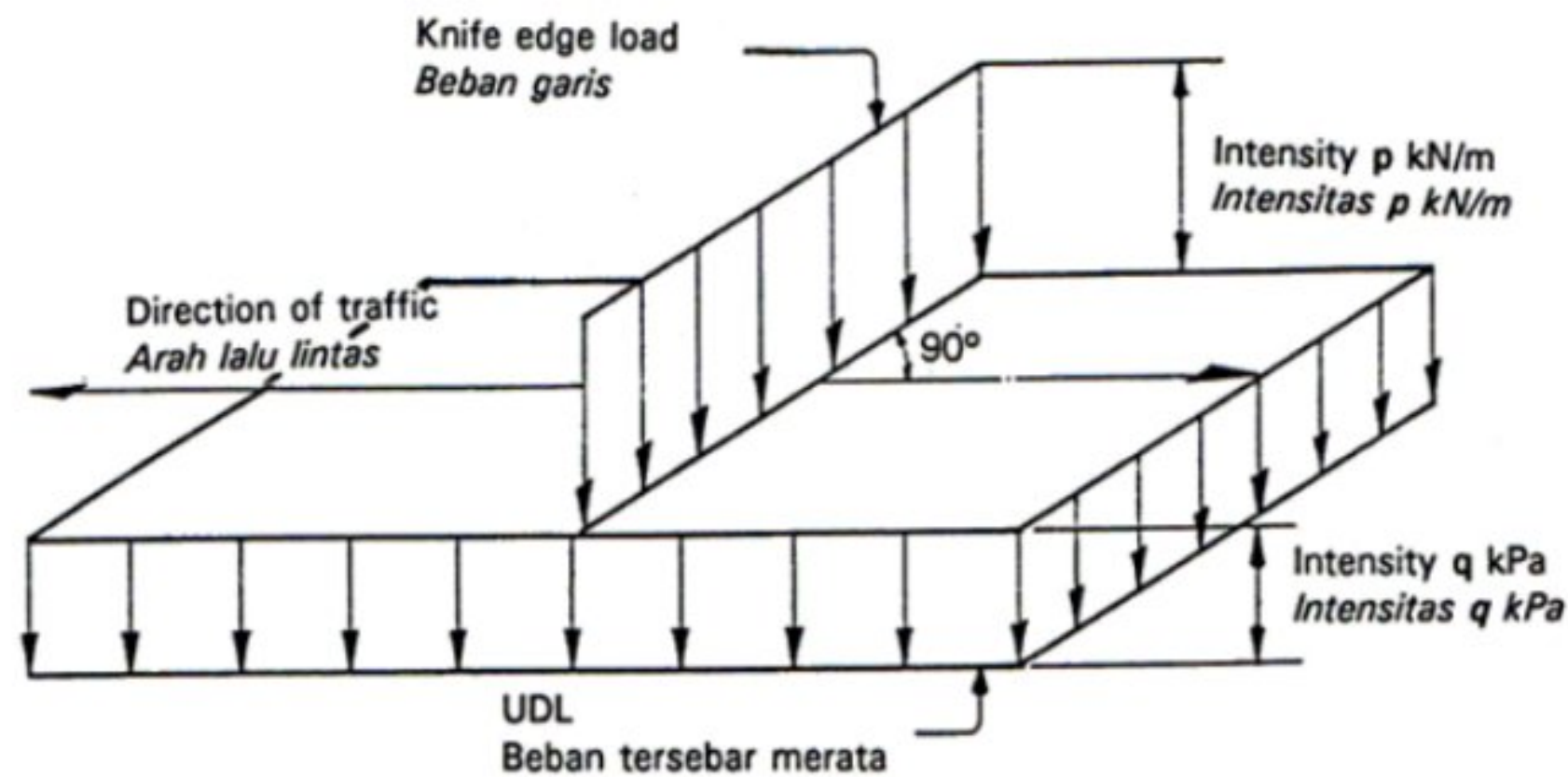
$$\text{Geser akibat berat air hujan} = M_{MA-air\ hujan} = \frac{1}{2} \cdot W_{air\ hujan} \cdot L_b \dots\dots\dots(3.37)$$

3.3.4. Beban Hidup

Sebagaimana disebutkan dalam sub-bab 8.1 pada SNI 1725:2016[6], beban lalu lintas terdiri dari baban lajur “D” dan beban truck “T”

1) Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” menurut SNI 1725:2016 pasal 8.1 terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT), seperti terlihat pada Gambar 3.7. berikut:



Gambar 3.7. Beban Lajur D [4]

Karena panjang jembatan 180 m, pembebanan dihitung per panjang bentang jembatan $L_b = 36$ m.

Intensitas beban BTR, $q_{BTR} = 9(0.5 + \frac{15}{L_b})$ (3.38)

Beban merata per meter BTR, $W_{BTR} = q_{BTR} \times w_s$ (3.39)

Beban BTR merupakan beban merata disepanjang bentang jembatan, sedangkan beban BGT merupakan beban terpusat yang diletakkan di tengah bentang. Besarnya beban BGT berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 8.3.1 adalah 49 kN/m. Dengan demikian beban BGT pada gelagar adalah sebesar:

Intensitas beban BGT, $P_{BGT} = 49 \text{ kN/m} \times w_s$ (3.40)

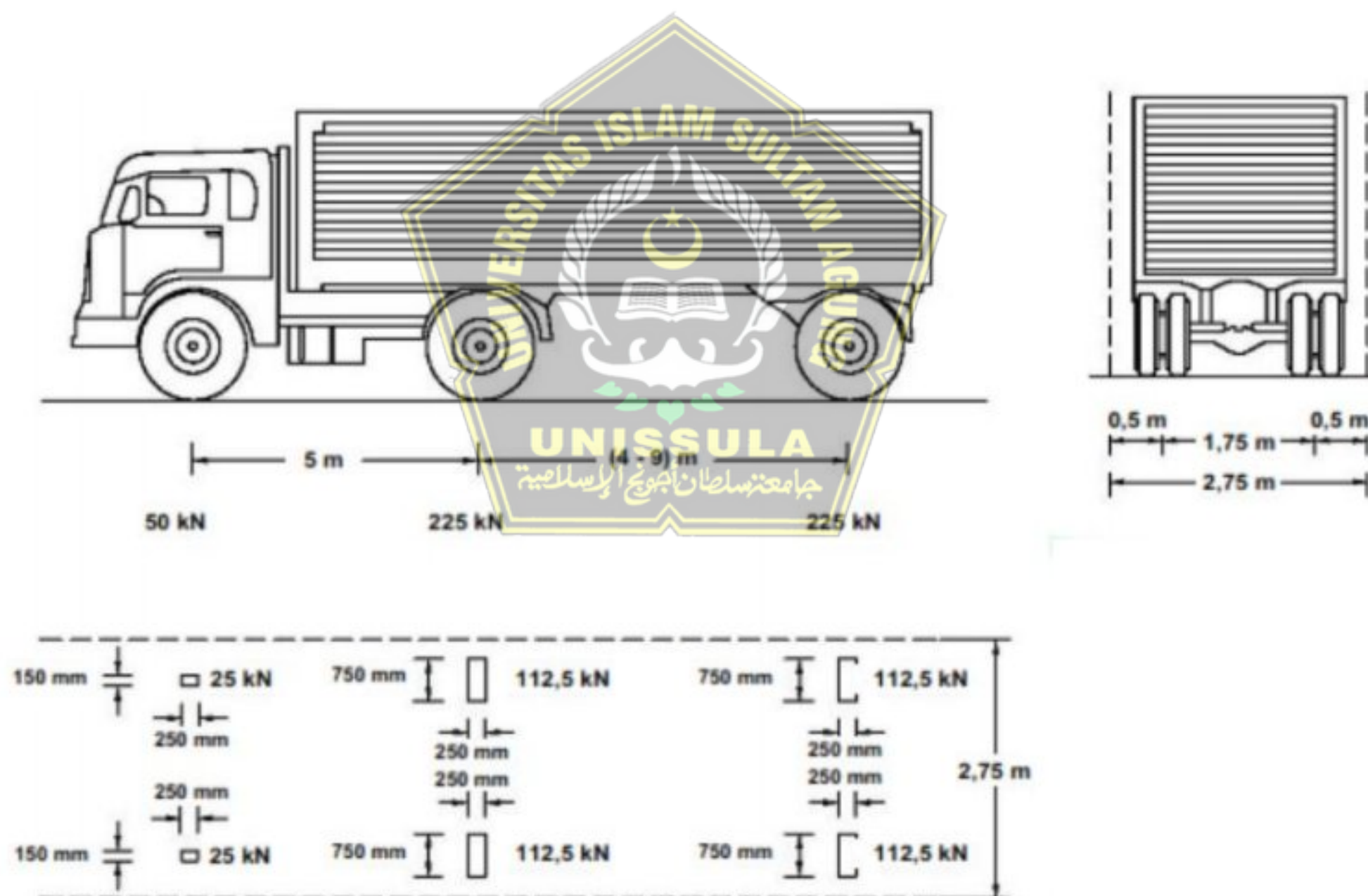
koefisien kejut, $K = 1 + \frac{20}{50+L}$ (3.41)

2) Beban Truk “T”

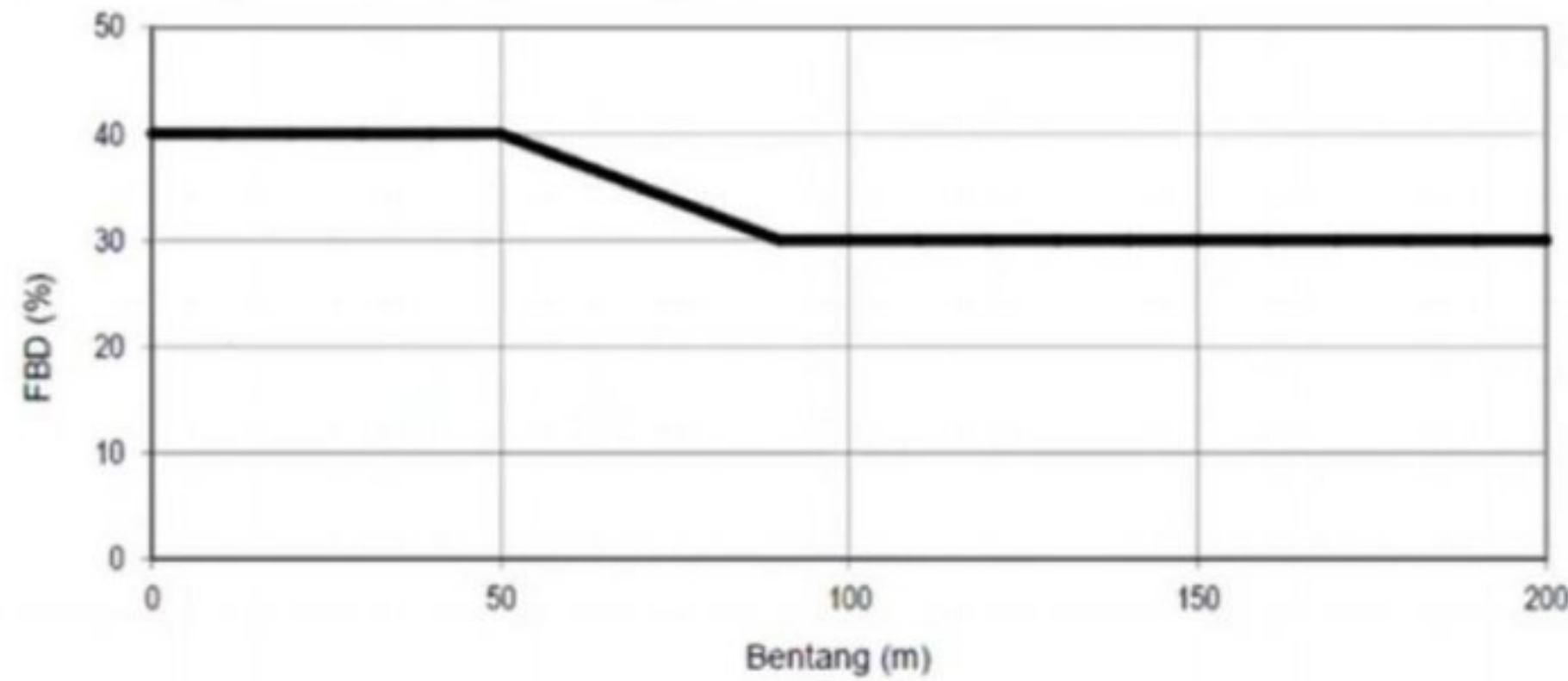
Beban truk “T” dengan beban sumbu konfigurasinya beban dari setiap sumbu dibagi merata menjadi dua beban merata bertujuan untuk menghasilkan efek maksimum longitudinal. Kendaraan truk “T” ini harus ditempatkan ditengah-

tengah lajur lalu lintas rencana dan hanya ada satu kendaraan yang biasa di tempatkan lajur lalu lintas rencana tersebut, seperti pada Gambar 3.8.

Besarnya beban truk berdasarkan SNI 1725 tahun 2016 pada pasal 8.4 adalah sebesar 500 kN. Karena beban hidup pada jembatan adalah beban dinamais, sedangkan dalam analisis pengaruh beban hidup yang dilakukan menggunakan metode beban statis, maka pengaruh beban hidup yang diperoleh dari analisis harus dikalikan dengan suatu faktor beban dinamis sebesar $1+FBD$. Nilai FBD diatur SNI 1725-2016 pasal 8.6 yang mana FBD merupakan fungsi dari panjang bentang jembatan. Bisa dilihat dari Gambar 3.9. maka diperoleh nilai FBD sebesar 40 %.



Gambar 3.8. Beban Truk T [4]



Gambar 3.9. Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D” [4]

3) Beban Rem

Beban rem berdasarkan SNI 1725:2016 pasal 8.7 untuk mengetahui besarnya beban rem t dihitung nilai terbesar dari:

- 25% berat gandar truk desain.
- 5% berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata yang bekerja setinggi 1800 mm diatas permukaan tanah.

4) Pengaruh beban hidup terhadap momen dan geser

Berdasarkan SNI nomor 1725 tahun 2016 pasal 8.6, beban BGT harus memperhitungkan pengaruh beban dinamis kendaraan sehingga beban BGT diperbesar dengan suatu faktor beban dinamis (FBD) yang pada kasus ini BGT diperbesar 40% sehingga:

$$M_{BTR} = \frac{1}{8} \cdot W_{BTR} \cdot L_b^2 \dots\dots\dots (3.24)$$

$$M_{BGT} = \frac{1}{4} \cdot P_{BGT} \cdot L_b \cdot (1 + FBD) \dots\dots\dots (3.43)$$

$$M_{LL} = M_{BTR} + M_{BGT} \dots\dots\dots (3.44)$$

di mana:

M_{BTR} = Momen beban merata (kNm)

M_{BGT} = Momen beban terpusat (kNm)

M_{LL} = Momen beban hidup (kNm)

Gaya geser tak terfaktor akibat beban D adalah:

$$V_{BTR} = \frac{W_{BTR} \cdot L_b}{2} \dots\dots\dots(3.45)$$

$$V_{BGT} = \frac{P_{BGT} \cdot (1 + FBD)}{2} \dots\dots\dots(3.46)$$

$$V_{LL} = V_{BTR} + V_{BGT} \dots\dots\dots(3.47)$$

di mana:

V_{BTR} = Gaya geser beban merata (kN)

V_{BGT} = Gaya geser beban terpusat (kN)

V_{LL} = Gaya geser beban hidup (kN)

5) Beban angin (EW)

Berdasarkan SNI nomor 1725 tahun 2016 pasal 9.6.1.1, angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Beban angin statik yang bekerja pada dek jembatan diperhitungkan sebesar luas ekivalen bagian samping jembatan. Beban yang bekerja didapat dari persamaan:

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_m)^2$$

$$\text{Koefisien serat } (C_w) = 1,2$$

$$\text{Kecepatan angin } (V_w) = 39 \text{ m/dt (tidak ambil ultimit)}$$

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_m)^2 \dots\dots\dots(3.48)$$

Bidang vertikal yang ditiup angin adalah bidang samping kendaraan dengan tinggi 2 m diatas jembatan

$$Q_{EW} = \left[\frac{1}{2} \times \frac{h}{X} \times T_{EW} \right] \dots\dots\dots(3.49)$$

$$\text{Perhitungan gaya geser} = \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times L \dots\dots\dots(3.50)$$

$$\text{Momen} = \frac{1}{8} \times Q_{EW} \times L^2 \dots\dots\dots (3.51)$$

6) Beban gempa (EQ)

Berdasarkan SNI nomor 1725 tahun 2016 pasal 9.7 dalam perencanaan jembatan harus memperhitungkan beban akibat pengaruh terjadinya gempa.

$$\text{Berat sendiri} \quad Q_{MS} = 22,4 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat mati tambahan} \quad Q_{MA} = 9,96 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat total} \quad W_t = (Q_{MS} + Q_{MA}) \times L \dots\dots\dots (3.52)$$

Koefisien beban gempa horizontal

$$K_h = C \times S \dots\dots\dots (3.53)$$

Koefisien beban gempa horizontal

$$K_v = 50\% \times K_h \dots\dots\dots (3.54)$$

Gaya gempa vertikal

$$T_{EQ} = K_v \times W_t \dots\dots\dots (3.55)$$

Beban gempa vertikal

$$Q_{ZQ} = \frac{T_{EQ}}{L} \dots\dots\dots (3.56)$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban gempa vertikal:

$$V_{EQ} = \frac{1}{2} \times Q_{EQ} \times L \dots\dots\dots (3.57)$$

$$M_{EQ} = \frac{1}{8} \times Q_{EQ} \times L^2 \dots\dots\dots (3.58)$$

7) Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban diatur dalam pasal 6.1 SNI 1725 tahun 2016. Kombinasi pembebanan dilakukan untuk mendapatkan nilai beban yang nantinya digunakan sebagai dasar penentuan dimensi struktur jembatan. Kombinasi pembebanan perlu diterapkan agar didapatkan dimensi yang aman dan efisien.

Berikut beban kombinasi yang dipergunakan:

$$\begin{aligned}
\text{Kuat 1} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,8 \text{ TD} + 1,8 \text{ TB} + 1,8 \text{ TP} + 0 \text{ TG} \dots\dots (3.59) \\
\text{Kuat 2} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,4 \text{ TD} + 1,4 \text{ TB} + 1,8 \text{ TP} + 0 \text{ TG} \dots\dots (3.60) \\
\text{Kuat 3} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,4 \text{ EW}_s + 0 \text{ TG} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3.61) \\
\text{Kuat 4} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3.62) \\
\text{Kuat 5} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,0 \text{ EW}_L + 0 \text{ TG} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (3.63) \\
\text{Ekstrem 1} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 0,5 \text{ TD} + 0,5 \text{ TB} + 0,5 \text{ TP} + 1,0 \text{ EQ} \dots\dots (3.64) \\
\text{Ekstrem 2} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 0,5 \text{ TD} + 0,5 \text{ TB} + 0,5 \text{ TP} \dots\dots\dots\dots\dots (3.65) \\
\text{Daya layan 1} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,0 \text{ TD} + 1,0 \text{ TB} + 1,0 \text{ EW}_L + 0,5 \text{ TG} \dots\dots (3.66) \\
\text{Daya layan 2} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,3 \text{ TD} + 1,3 \text{ TB} + 1,8 \text{ TP} \dots\dots\dots\dots\dots (3.67) \\
\text{Daya layan 3} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 0,8 \text{ TD} + 0,8 \text{ TB} + 0,8 \text{ TP} + 0,5 \text{ TG} \dots\dots (3.68) \\
\text{Daya layan 4} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 0,7 \text{ EW}_s \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (3.69)
\end{aligned}$$

3.3.5. Pengaruh gaya dalam penampang balok prategang

Berdasarkan RSNI T-12-2004 pasal 5.2.1 Besarnya momen dan gaya geser di dalam penampang balok diberikan pada Tabel 4.1.



$$\begin{aligned}
\text{Faktor reduksi lentur } (\phi) &= 0,8 \\
\text{Faktor reduksi lentur } (\phi_v) &= 0,75 \\
\text{Berat jenis beton } (\gamma_c) &= 24 \text{ kN/m}^3 \\
\text{Berat jenis beton prategang } (\gamma_{pt}) &= 25 \text{ kN/m}^3 \\
\text{Berat jenis baja } (\gamma_s) &= 78.5 \text{ kN/m}^3
\end{aligned}$$

Besarnya gaya M + V dalam balok

$$\text{Faktor momen tekuk,} \quad M_u = 1.3 (M_{sdl} + M_{dl}) + 2.2 M_L \dots\dots\dots (3.70)$$

$$\text{Faktor momen tumpuan} \quad M_t = 1.3 (M_{sdl} + M_{dl}) + 1.0 M_L \dots\dots\dots (3.71)$$

$$\text{Faktor gaya geser tekuk,} \quad V_u = 1.3 (V_{sdl} + V_{dl}) + 2.2 V_L \dots\dots\dots (3.72)$$

$$\text{Faktor gaya geser tumpuan,} \quad V_t = 1.3 (V_{sdl} + V_{dl}) + 1.0 V_L \dots\dots\dots (3.73)$$

di mana:

M_{sdl} = Momen beban mati superimposed (kNm)

M_{dl} = Momen beban mati gelagar (kNm)

M_L = Momen beban hidup (kNm)

V_{sdl} = Gaya geser beban mati superimposed (kN)

V_{dl} = Gaya geser beban mati gelagar (kN)

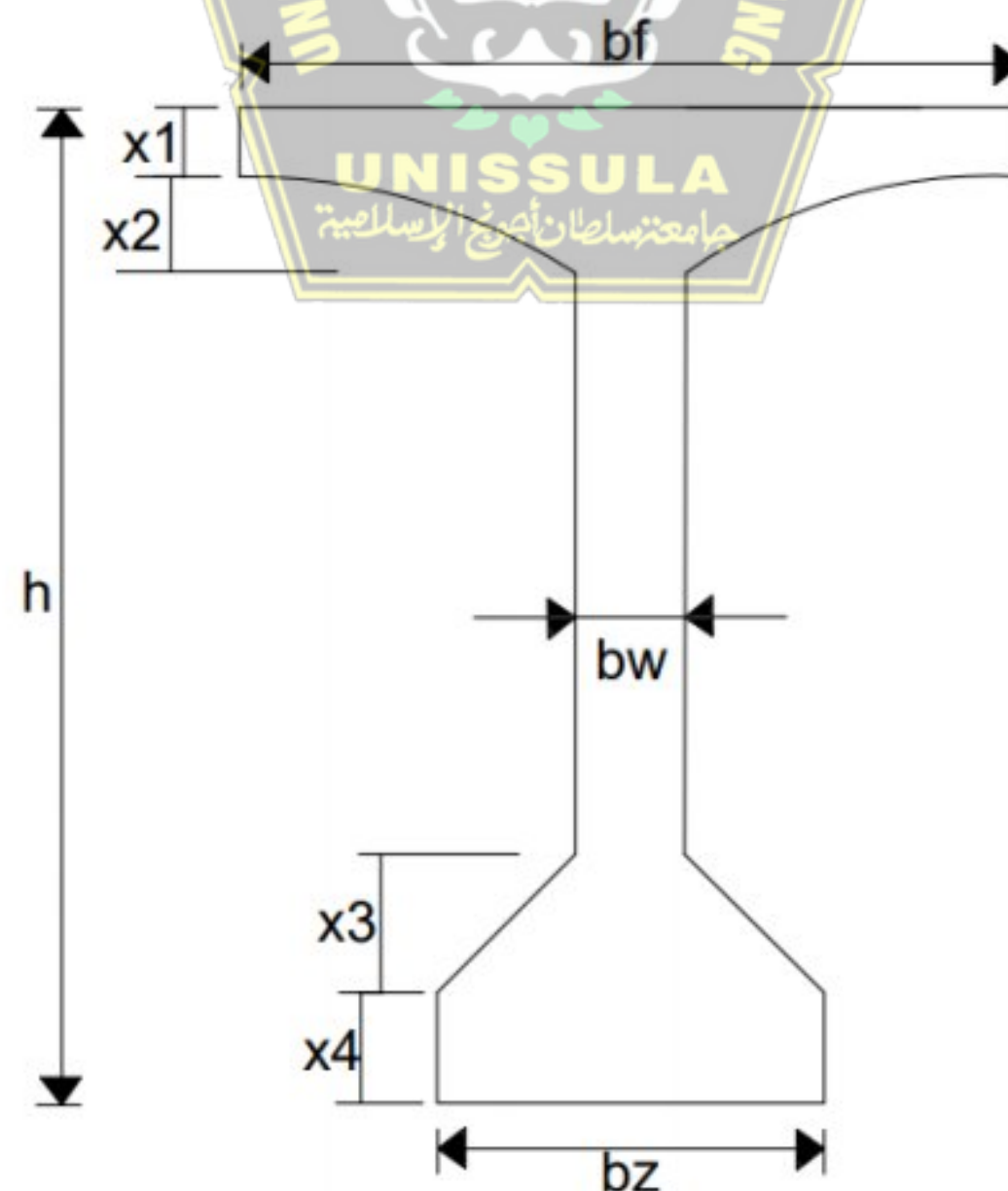
V_L = Gaya geser beban hidup (kN)

3.4. Perencanaan Struktur Bangunan Atas Jembatan

Perencanaan struktur bangunan atas jembatan meliputi penentuan dimensi-dimensi balok girder atau balok jembatan, sandaran jembatan dan penentuan beban-beban yang bekerja pada jembatan tersebut.

3.4.1. Perancangan balok jembatan

Girder beton merupakan sebuah balok yang berada di antara dua penyangga yang berupa pilar atau pangkal jembatan (*abutment*) untuk menerima beban lalu lintas dan beban rantai jembatan di atasnya. Dalam perencanaan jembatan ini digunakan balok penampang dengan tipe balok T-bulb. Penampang balok tipe T-bulb ini dianggap sebagai penampang balok yang efisien. Gambar 3.10. menunjukkan gambar balok tipe T-bulb.



Gambar 3.10. Penampang Balok T-bulb

Langkah-langkah untuk merancang dan menghitung penampang balok prategang tipe T-bulb adalah:

1. Memasukkan data yang akan digunakan untuk menghitung penampang balok T-bulp yang meliputi panjang bentang jembatan, lebar jembatan, dan jarak antar balok. Penampang balok prategang tipe T-bulp dapat dilihat pada Gambar 3.7.
2. Menentukan dimensi awal penampang balok T-bulp berdasarkan Tabel 3.1.
3. Menghitung gaya dalam penampang balok prategang, luas penampang dan sifat penampang balok prategang tipe T-bulp.
4. Menghitung semua jenis beban yang akan diterapkan pada balok penampang T-bulp berdasarkan SNI 1725-2016.



Tabel 3.1. Penampang Balok Prategang tipe I dan T-bulp [4]

Penampang	Span ft/ (m)	A in ² / (cm ⁴)	I in ⁴ / (cm ⁴)	Yb in/ (cm)	Sb in ³ / (cm ³)	St in ³ / (cm ³)
AASHTO 1	30-45	276	22,744.13	12.59	1,806.61	1,475.87
	(9.1)-(13.7)	(1780.64)	(946,682.12)	(31.98)	(29,605.09)	(24,185.22)
AASHTO 2	40-60	369	50,978.74	0,6826389	3,220.54	2,527.36
	(12.2)- (18.3)	(2380.64)	(2,121,895.52)	(40.21)	(52,775.15)	(41,416.05)
AASHTO 3	55-80	559.5	125,390.35	20.27	6,184.95	5,071.08
	(16.8)- (24.4)	(3609.67)	(5,219,140.35)	(51.49)	(101,353.19)	(83,100.16)
AASHTO 4	70-100	789	260,740.61	24.73	10,541.86	8,909.29
	(21.3)- (30.5)	(5090.31)	(10,852,843.43)	(62.82)	(172,750.08)	(145,997.05)
AASHTO 5	90-120	1,013	521,162.59	31.96	16,308.47	16,788.17
	(27.4)- (36.6)	(6535.47)	(21,692,424.73)	(81.17)	(267,247.90)	(275,108.88)
AASHTO 6	110-140	1,085	733,320.29	36.38	20,156.88	20,587.69
	(33.5)- (42.7)	(6999.99)	(30,523,095.12)	(92.41)	(330,312.08)	(337,371.82)

3.4.2. Pelat Lantai

Berdasarkan RSNI T-12-2004 pasal 5.5 tentang perencanaan pelat lantai kendaraan. Pelat lantai merupakan salah satu komponen dalam perencanaan jembatan atau jalan lalu lintas kendaraan. Dalam perencanaan jembatan ini dipergunakan penampang balok tipe T-bulb. Sehingga sayap penampang balok T-bulb tersebut sebagai pelat lantai. Ada beberapa komponen material pelat lantai, namun material utama pelat lantai adalah beton. Dikarenakan balok penampang yang dipergunakan adalah tipe T-bulb maka langkah untuk menentukan pelat lantai adalah sebagai berikut:

1. Memasukkan input desain yang digunakan untuk menghitung pelat lantai yaitu beban, dan kualitas beton rancangan.
2. Menghitung berat sendiri (MS), beban mati (MA), beban hidup (ML).
3. Menentukan tebal pelat lantai, dikarenakan penampang yang digunakan adalah balok penampang T-bulb maka dalam menentukan tebal pelat lantai, sayap penampang juga berfungsi sebagai pelat lantai, maka rumus yang dipergunakan dalam merencanakan pelat lantai yaitu:
 - a. Menghitung tebal sayap untuk menahan momen

$$A_c' = \frac{M_u}{\phi \times 0.68 \times h \times f_c} \dots\dots\dots (3.74)$$

di mana:

- A_c' = tinggi sayap (mm^2)
 M_u = faktor momen tekuk (kNm)
 ϕ = Faktor reduksi lentur
 h = Tinggi penampang balok (m)
 f_c = Mutu beton (MPa)

- b. Menghitung lebar pelat lantai efektif

$$b_{pl} = L_c$$

b_{pl} = jarak antar girder karena lebar pelat lantai sama dengan lebar sayap penampang balok sebagai plat

di mana:

b_{pl} = Lebar pelat efektif (m)

L_c = jarak antar balok as ke as (m)

c. Menghitung tebal sayap balok prategang minimum

$$h_f = \frac{Ac'}{b_{pl}} \dots\dots\dots (3.75)$$

di mana:

h_f = Tebal sayap balok minimum (mm)

A_c' dan b_{pl} seperti pada persamaan 3.74

d. Lebar efektif pelat, terkecil dari:

$$b_{pl} = \min \left[(b_w + 16 \times h_{slb} \times L_c \times \frac{L_{sl}}{4}) \right] \dots\dots\dots (3.76)$$

di mana:

b_w = tebal penampang

L_{sl} = panjang bentang jembatan

h_{slb} , L_c seperti pada persamaan 3.75

e. Tebal minimum sayap menurut AASHTO

$$t_{min} = \frac{1.2 \times (L_c + 3m)}{30} \dots\dots\dots \text{pers.3.48}$$

di mana:

t_{min} = Tebal minimum sayap (mm)

L_c seperti pada persamaan 3.75

3.4.3. Gaya Prategang Efektif

1. Eksentrisitas Tendon

$$e_m = h - 200 \text{ mm} - C_t \dots\dots\dots (3.78)$$

di mana:

e_m = Eksentrisitas Tendon (mm)

h = Tinggi penampang balok (m)

C_t = Garis berat atas (mm)

2. Estimasi berdasarkan kondisi tegangan akhir pada berat bawah

$$e = e_m$$

di mana e_m adalah eksentrisitas tendon.

3. Nilai awal $P_{eff} = 1 \text{ kN}$

$$\frac{-P_{eff}}{A_g} - \frac{P_{eff} \times e}{S_b} + \frac{M_{dl} + M_{sdl}}{S_b} + \frac{M_L}{S_{bk}} = F_t \dots\dots\dots (3.79)$$

di mana:

A_g = Luas penampang balok (mm^2)

S_b = Modulus bagian bawah (mm^3)

S_{bk} = Modulus bagian bawah balok komposit (mm^3)

M_{sdl}, M_{dl}, M_L seperti pada persamaan 3.70

4. Estimasi berdasarkan kekuatan batas penampang

$$\phi A_{ps} [0.8(h + h_{slb})] \times 0.9 \times f_{pu} \geq M_u \dots\dots\dots (3.80)$$

$$A_{ps} = \frac{M_u}{\phi \times [0.8(h + h_{slb})] \times 0.9 \times f_{pu}} \dots\dots\dots (3.81)$$

$$P_{f3} = A_{ps} \times f_{peff} \dots\dots\dots (3.82)$$

di mana:

h = Tinggi balok gelagar (m)

f_{peff} = Tegangan after immediate loss (kN)

M_u = Faktor momen tekuk (kNm)

A_{ps} = Kekuatan batas penampang (mm^2)

5. Gaya prategang efektif yang dibutuhkan

$$P_f = \max ((P_{f2}, P_{f3}))$$

$$A_{ps} = \frac{P_f}{f_{peff}} \dots\dots\dots (3.83)$$

$$n_{strand} = \left(\frac{A_{ps}}{A_{p1}} \right) \dots\dots\dots (3.84)$$

$$A_{ps} = n_{strand} A_{p1} \dots\dots\dots (3.85)$$

3.4.4. Kapasitas momen

$$\text{Diameter tulangan } (D_s) = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Faktor reduksi lentur } (\phi) = 0.8$$

$$\text{Luas tulangan } (A_{s1}) = 0.25\pi D_s^2$$

$$\text{Lebar tekan balok } (b_t) = b_e$$

$$\text{Luas penampang dari center ke sisi tarik (pendekatan } A_t = 50\% A_g)$$

$$A_t = 50\% A_g \dots\dots\dots (3.86)$$

di mana:

$$A_t = \text{Luas penampang dari center ke sisi tarik } (\text{mm}^2)$$

Pasang tulangan minimum

$$A_{smin} = 0.4\% A_t \dots\dots\dots (3.87)$$

Jadi banyaknya tulangan tarik

$$n_s = \frac{A_{smin}}{A_{s1}} \dots\dots\dots (3.88)$$

dimana:

n_s = banyaknya tulangan tarik

A_{s1} = luas tulangan (mm^2)

$A_{s\min}$ = Pasang tulangan minimum (mm^2)

Luas total tulangan tarik,

$$A_{st} = n_s \times A_{s1} \dots \dots \dots (3.89)$$

di mana:

A_{st} = Luas total tulangan tarik (mm^2)

n_s, A_{s1} seperti pada persamaan 3.88

Leng. Momen prategang

$$d_p = C_t + h_{slb} + e_m \dots \dots \dots (3.90)$$

di mana:

h_{slb} = Tebal pelat total asumsi (mm)

e_m = Eksentrisitas tendon (mm)

C_t = Garis berat atas (mm)

Leng. Momen tulangan Komposit

$$d = h + h_{slb} - d_c - \frac{D_s}{2} - 13 \text{ mm} \dots \dots \dots (3.91)$$

$$p_e = f_{peff} \cdot A_{ps} \dots \dots \dots (3.92)$$

di mana:

f_{peff} = Tegangan after immediate loss (MPa)

d_c = Cover beton (mm)

D_s = Diameter tulangan (mm)

A_{ps} = Kekuatan batas penampang (mm^2)

Maka : Nilai untuk γ_p dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\beta_1 = 0.85 \text{ if } f_c \leq 30 \text{ Mpa}$$

0.65 if $f_c \geq 55$ MPa

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{A_{ck}} \dots \dots \dots (3.93)$$

$$\rho_c = 0$$

$$\omega_c = 0$$

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_{ck}} \dots \dots \dots (3.94)$$

$$\omega_t = \rho_t \cdot \frac{f_y}{f_c} \dots \dots \dots (3.95)$$

$$F_{ps} = f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \left[\rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} \cdot (\omega_t - \omega_c) \right] \right] \dots \dots \dots (3.96)$$

$$\omega_p = \rho_p \cdot \frac{f_{ps}}{f_c} \dots \dots \dots (3.97)$$

3.4.5. Lebar stress blok pada beton

$$T_{ps} = f_{ps} \cdot A_{ps} \dots \dots \dots (3.98)$$

$$T_s = A_{st} \cdot f_y \dots \dots \dots (3.99)$$

$$a = \frac{T_{ps} + T_s}{0.85 \cdot f_c \cdot b} \dots \dots \dots (3.100)$$



3.4.6. Pemeriksaan tulangan maksimum

Berdasarkan ACI/NAWY (untuk balok segi-4)

$$\omega_p = \rho_p \cdot \frac{f_{ps}}{f_c} \dots \dots \dots (3.101)$$

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} \times (\omega_t - \omega_c) \dots \dots \dots (3.102)$$

Kedalaman tulangan efektif pada penampang:

$$d_e = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_{st} \cdot f_y \cdot d}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_{st} \cdot f_y} \dots \dots \dots (3.103)$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \dots \dots \dots (3.104)$$

$$M_n = T_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_{st} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots \dots \dots (3.105)$$

3.4.7. Periksa Momen Desain Ultimate

$$\phi . Mn \dots\dots\dots (3.106)$$

3.4.8. Periksa momen desain minimum

$$\text{Tegangan tarik retak (f}_r\text{)} = 0,7 \sqrt{f_c} \text{ Mpa} \dots\dots\dots (3.107)$$

3.4.9. menghitung momen retak pada penampang

Tegangan serat bawah girder akibat beban layan total, M_t

$$f_{akt} = \frac{-Pe}{Ag} - \frac{Pe.e}{S_b} + \frac{M_{dl} + M_{sdl}}{S_b} + \frac{M_L}{S_{bk}} \dots\dots\dots (3.108)$$

1) momen untuk meratakan penampang adalah

$$M_{cr} = (f_r - f_{akt}).S_{bk} + M_t \dots\dots\dots (3.109)$$

2) Periksa rasio momen kapasitas terhadap momen retak

$$\frac{\phi . Mn}{M_{cr}} \dots\dots\dots (3.110)$$



BAB IV

PERENCANAAN

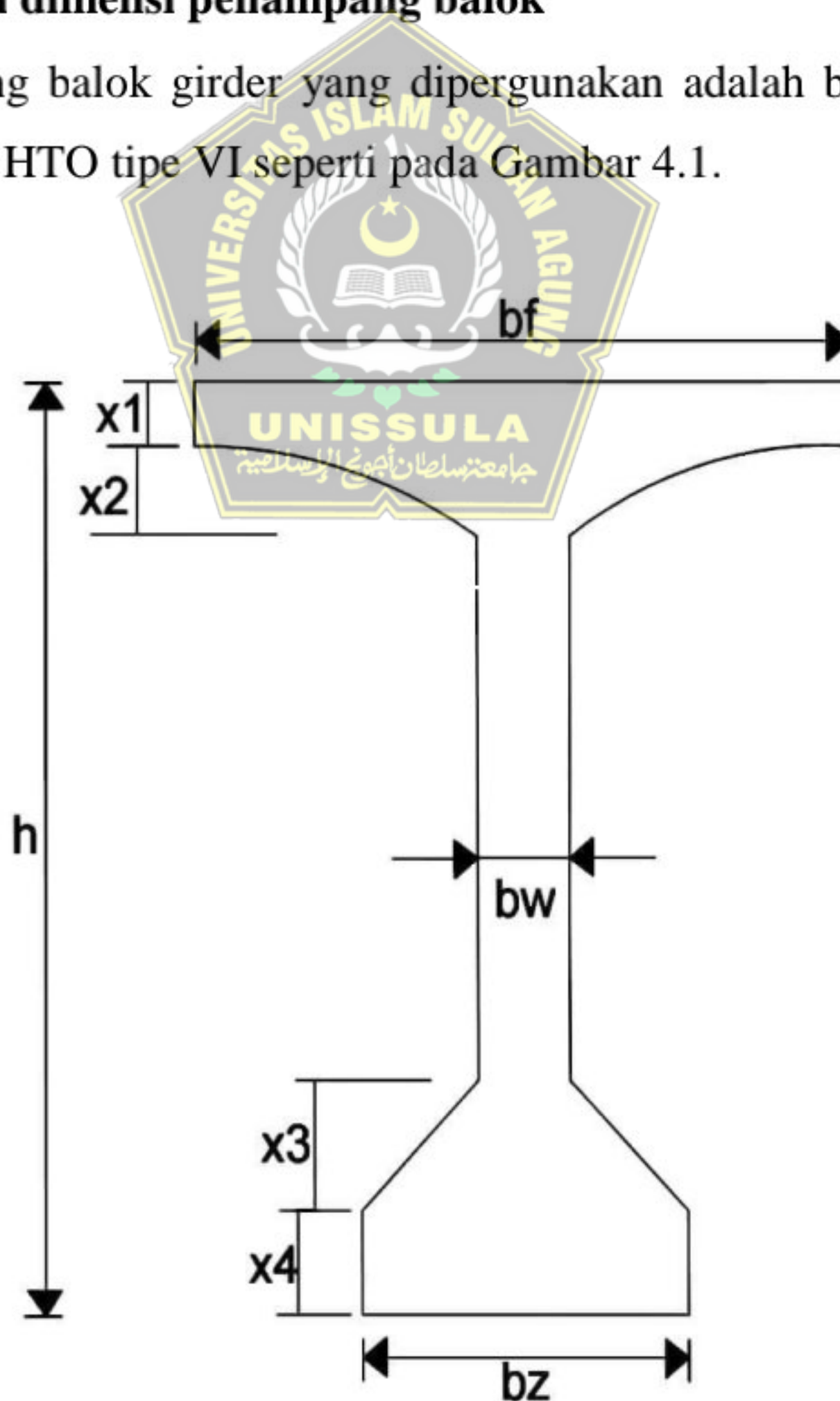
4.1. Pendahuluan

Bab ini disusun berdasarkan garis besar pada bab 3 tentang desain dan metodologi. Urutan desain sama dengan yang diberikan pada bab 3, yaitu dimulai dengan preliminary desain, perhitungan dimensi balok girder dan dilanjutkan dengan perhitungan struktur atas jembatan yang meliputi perhitungan penampang balok prategang, perhitungan sandaran dan bangunan pelengkap lainnya.

4.2. Langkah Perencanaan

4.2.1. Menentukan dimensi penampang balok

Dimensi penampang balok girder yang dipergunakan adalah balok T-bulb yang sesuai dengan AASHTO tipe VI seperti pada Gambar 4.1.



4.1. Gambar Penampang Balok T-Bulb

Dimensi balok penampang:

$$H = \text{Tinggi balok} = 2100 \text{ mm}$$

$$b_f = \text{Lebar sayap balok T} = 2100 \text{ mm}$$

$$x_1 = \text{Tebal sayap T bagian atas} = 250 \text{ mm}$$

$$x_2 = \text{Tebal bagian miring sayap T} = 120 \text{ mm}$$

$$b_w = \text{Tebal badan balok} = 250 \text{ mm}$$

$$x_3 = \text{Tebal bagian miring sayap bawah} = 250 \text{ mm}$$

$$x_4 = \text{Tebal bagian tepi T-bulp} = 250 \text{ mm}$$

$$b_z = \text{Lebar T-bulp} = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Momen inersia balok } (I_g) = 4,109 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$\text{Luas penampang balok } (A_g) = 749,50 \text{ mm}^2$$

$$\text{Garis berat bawah balok } (C_b) = 1008 \text{ mm}$$

$$\text{Garis berat atas } (C_t) = h - C_b \dots\dots\dots (3.1)$$

$$= 2100 - 1008 = 1092 \text{ mm}^3$$

$$\text{Modulus bagian atas } (S_t) = \frac{I_g}{C_t} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$= \frac{4,109 \times 10^{11}}{1.092} = 3,76 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$\text{Modulus bagian bawah } (S_b) = \frac{I_c}{C_b} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$= \frac{4,109 \times 10^{11}}{1008} = 4,08 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$\text{Jari-jari momen inersia } (r) = \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$= \sqrt{\frac{4,109 \times 10^{11}}{749.500}} = 740,43 \text{ mm}$$

$$\text{Batas inti balok bawah } (k_b) = \frac{r^2}{C_t} \dots\dots\dots (3.5)$$

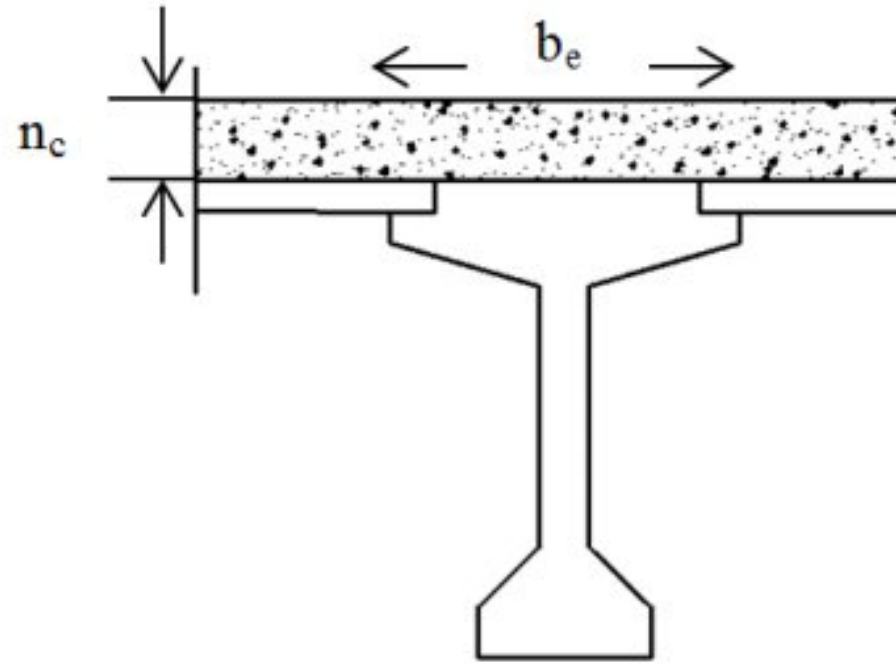
$$= \frac{740,427^2}{1.092} = 502,04 \text{ mm}$$

$$\text{Batas inti balok bawah } (k_t) = \frac{r^2}{C_b} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$= \frac{740,427^2}{1.008} = 543,88 \text{ mm}$$

4.2.2. Menghitung penampang balok

Setelah dek mengeras maka perlu properti gelagar, dimana gelagar momen inersia penampang dipengaruhi oleh luas pelat dek diatas jembatan. Penampang balok prategang terdapat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Penampang balok prategang

Modulus elastisitas girder (E_c) = 31.755.448 MPa

Angka ekivalen (n_c) = 1

Lebar sayap efektif (b_{pl}) = 2100 mm

Lebar sayap transform (b_e) = $n_c \times b_{pl}$ (3.7)
 $= 1 \times 2100$
 $= 2100 \text{ mm}$

Luas penampang gelagar

$$\begin{aligned} A_{cg} &= A_g + (b_e \times h_{slb}) \text{(3.8)} \\ &= 749500 + (2100 \times 250) \\ &= 1274500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Garis berat bawah balok prategang

$$\begin{aligned} C_{bg} &= \frac{b_e \times h_{slb} \times \left(h + \frac{h_{slb}}{2} \right) + A_g \times C_b}{A_{cg}} \text{(3.9)} \\ &= \frac{2100 \times 250 \times \left(2.100 + \frac{250}{2} \right) + 749500 \times 1008}{1274500} \\ &= 1509,31 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis berat atas gelagar

$$\begin{aligned} C_{tg} &= h + h_{slb} - C_{bg} \dots\dots\dots(3.10) \\ &= 2100 + 250 - 1509,31 \\ &= 840,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen inersia gelagar

$$\begin{aligned} I_{cg} &= I_g + A_g (C_{bg} - C_b)^2 + \frac{be \times h_{slb}^3}{12} + be \times h_{slb} \left(C_{tg} - \frac{h_{slb}}{2} \right) \dots\dots\dots(3.11) \\ &= 4,109 \times 10^{11} + 749500 (1509,31 - 1008)^2 + \frac{2100 \times 250^3}{12} + 2100 \times 250 \left(840,69 - \frac{250}{2} \right) \\ &= 5,86 \times 10^{11} \text{ mm}^4 \\ &= 0,586 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Modulus bagian atas gelagar

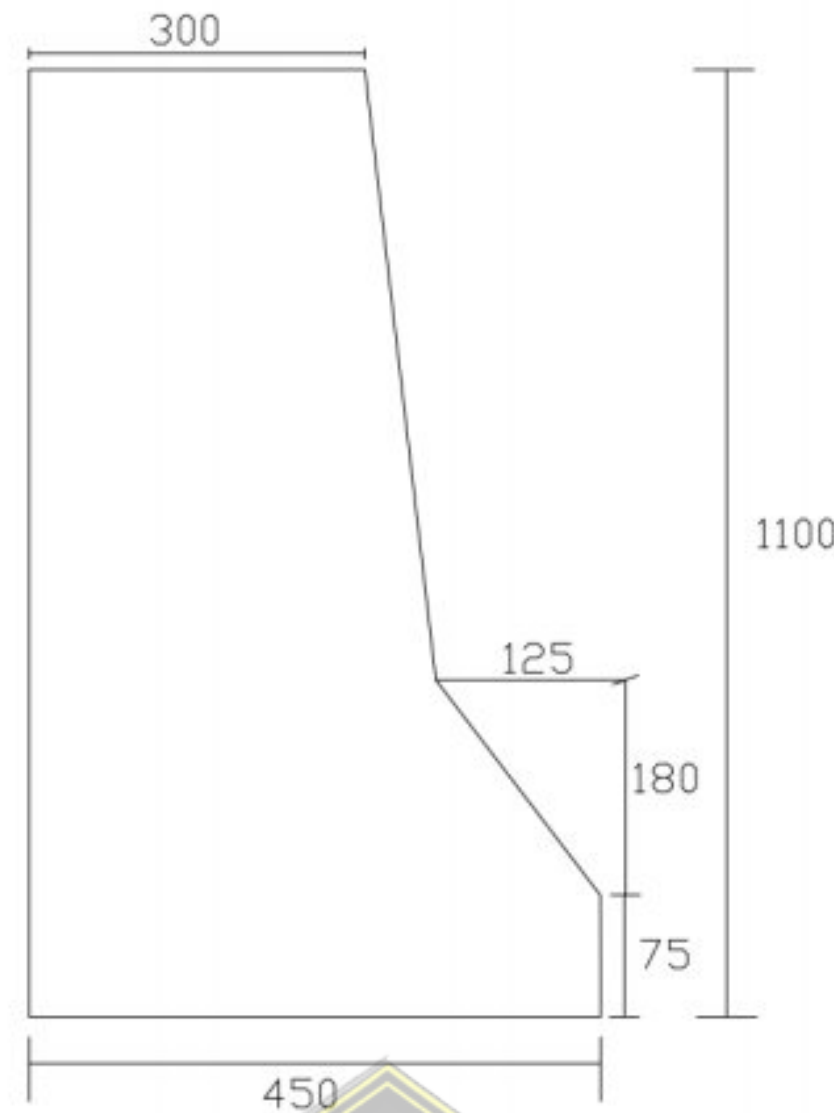
$$\begin{aligned} S_{tg} &= \frac{I_{cg}}{C_{tg}} \dots\dots\dots(3.12) \\ &= \frac{5,86 \times 10^{11}}{840,69} \\ &= 6,971 \times 10^8 \text{ mm}^3 \\ &= 0,697 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Modulus bagian bawah balok gelagar

$$\begin{aligned} S_{bg} &= \frac{I_{cg}}{C_{bg}} \dots\dots\dots(3.13) \\ &= \frac{5,86 \times 10^{11}}{1509,31} \\ &= 3,883 \times 10^8 \text{ mm}^3 \\ &= 0,883 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4.2.3. Perencanaan parapet (*barrier*)

Pada perencanaan ini digunakan tinggi 110 cm, dengan lebar 450 cm. Rencana parapet dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Rencana parapet (*barrier*)

Berikut ini langkah-langkah dalam merencanakan parapet dengan menghitung penulangan lentur parapet

Data yang digunakan pada rencana parapet adalah

Material = beton bertulang

Mutu beton (f_c') = 30 MPa

Mutu tulangan (f_y) = 250 MPa

Panjang = 1,5 m

Tebal selimut beton (d') = 30

Lebar samping bawah(d) = 450 cm

Diameter tulangan = 16 mm

Luas tulangan (A_s) = 200,96 mm²

Diameter sengkang = 10 mm

Luas tulangan sengkang (A_s')= 78,5 mm²

1. Menghitung nilai momen ultimate

$$M_u = P_{ult} \times H \dots\dots\dots(3.14)$$

$$\begin{aligned}
 &= 100 \times 1,1 \\
 &= 110 \text{ kNm} \\
 &= 110 \times 10^6 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Menghitung momen nominal

$$M_u \leq \phi M_n$$

$$110 \times 10^6 \leq 0,8 M_n$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{0,8} \dots\dots\dots(3.15) \\
 &= \frac{110 \times 10^6}{0,8} \\
 &= 137,5 \times 10^6 \text{ MPa} \\
 &= 137,5 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

3. Menghitung nilai R_n

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi x b x d^2} \dots\dots\dots(3.16) \\
 &= \frac{110 \times 10^6}{0,8 \times 1500 \times 450^2} \\
 &= 0,412 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 x f_c} \dots\dots\dots(3.17) \\
 &= \frac{250}{0,85 \times 30} \\
 &= 9,8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(3.18) \\
 &= \frac{1,4}{250} \\
 &= 0,0056
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 x f_c' x \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \dots\dots\dots(3.19) \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \times 0,85}{250} \times \frac{600}{600 + 250} \\
 &= 0,061
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \dots\dots\dots(3.20) \\
 &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,061 \\
 &= 0,0046
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \dots\dots\dots(3.21) \\ &= \frac{1}{9,8} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 9,8 \times 0,377}{250}} \right) \\ &= 0,00152\end{aligned}$$

Karena $\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$ maka yang dipakai ρ_{min} .

$$0,00152 < 0,056$$

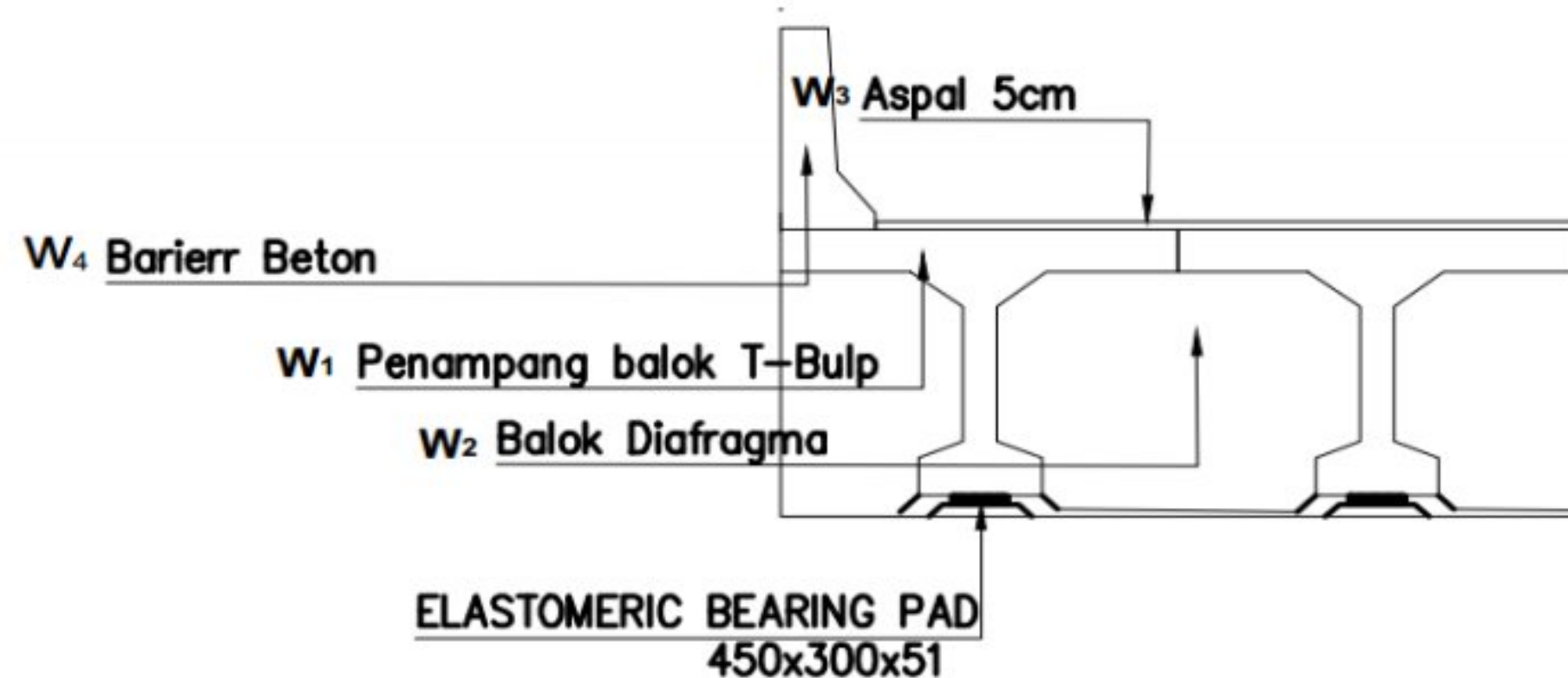
$$A_s = \rho_{\text{min}} \times b \times d \dots\dots\dots(3.22)$$

$$= 0,056 \times 1500 \times 450$$

$$= 3948$$

4.3. Analisa Pembebanan

Pembahasan berikut ini akan menghitung pembebanan jembatan berdasarkan SNI 1725:2016 [6] tentang pembebanan untuk jembatan yang meliputi beban mati, beban hidup, beban truk, beban rem, beban angin, dan beban gempa. Bagian-bagian jembatan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Bagian-bagian jembatan

4.3.1. Perhitungan beban berat sendiri (MS)

Pada perencanaan beban mati tambahan mengacu pada SNI 1725-2016 pasal 7.2 Tabel 3.

$$\begin{aligned}\text{Berat gelagar } W_1 &= A_g \times \gamma_{cg} \dots\dots\dots(3.23) \\ &= 500 \times 25 \\ &= 18,74 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat diafragma } W_2 &= A_{dp} \times t_{dp} \times n_{dp}/L_b \times \gamma_c \dots\dots\dots(3.24) \\ &= 3,04 \times 0,2 \times 9/36 \times 24 \\ &= 3,65 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Total } W_t &= W_1 + W_2 \\ &= 22,40 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

4.3.2. Perhitungan beban mati (MA)

Pada perencanaan beban mati tambahan mengacu pada SNI 1725-2016 pasal 7.3 Tabel 4 pada perhitungan beban mati ini dihitung per bentang 36 meter dan terdiri dari bagian – bagian jembatan seperti pada gambar 4.4.

$$\begin{aligned}\text{Berat lapisan aspal } W_3 &= b_p \times t_a \times \gamma_a \dots\dots\dots(3.25) \\ &= 2,1 \times 0,1 \times 22 \\ &= 4,62 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat barrier } W_4 &= W_p \times n_b / n_g \dots\dots\dots(3.26) \\ &= 9,696 \times 4/9 \\ &= 4,31 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat air hujan } W_{\text{air hujan}} &= b_p \times t_{\text{air}} \times \gamma_{\text{air}} \dots\dots\dots(3.27) \\ &= 2,1 \times 0,05 \times 9,81 \\ &= 1,03 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Total } W_t &= W_3 + W_4 + W_{\text{air hujan}} \\ &= 9,96 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

4.3.3. Perhitungan pengaruh beban mati maksimum terhadap momen dan geser

1) momen maksimum akibat MS dan MA adalah:

$$\text{Momen akibat berat gelagar} = M_{MS-G} = \frac{1}{8} \cdot W_g \cdot L_b^2 \dots\dots\dots (3.28)$$

$$= 3.035,88 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen akibat berat diafragma} = M_{MS-D} = \frac{1}{8} \cdot W_{dp} \cdot L_b^2 \dots\dots\dots (3.29)$$

$$= 593,41 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen akibat berat barrier} = M_{MA-B} = \frac{1}{8} \cdot W_{dp} \cdot L_b^2 \dots\dots\dots (3.30)$$

$$= 698,11 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen akibat berat aspal} = M_{MA-A} = \frac{1}{8} \cdot W_a \cdot L_b^2 \dots\dots\dots (3.31)$$

$$= 748,44 \text{ kNm}$$

$$\text{Momen akibat berat air hujan} = M_{MA-air \text{ hujan}} = \frac{1}{8} \cdot W_{air \text{ hujan}} \cdot L_b^2 \dots\dots\dots (3.32)$$

$$\text{Total gaya momen} = 5242,3 \text{ kNm}$$

2) gaya geser maksimum akibat MS dan MA adalah:

$$\text{Geser akibat berat gelagar} = M_{MS-G} = \frac{1}{2} \cdot W_g \cdot L_b \dots\dots\dots (3.33)$$

$$= 337,32 \text{ kN}$$

$$\text{Geser akibat berat diafragma} = M_{MS-D} = \frac{1}{2} \cdot W_{dp} \cdot L_b \dots\dots\dots (3.34)$$

$$= 65,592 \text{ kN}$$

$$\text{Geser akibat berat barrier} = M_{MA-B} = \frac{1}{2} \cdot W_{dp} \cdot L_b \dots\dots\dots (3.35)$$

$$= 45,36 \text{ kN}$$

$$\text{Geser akibat berat aspal} = M_{MA-A} = \frac{1}{2} \cdot W_a \cdot L_b \dots\dots\dots (3.36)$$

$$= 41,58 \text{ kN}$$

$$\text{Geser akibat berat air hujan} = M_{MA-air \text{ hujan}} = \frac{1}{2} \cdot W_{air \text{ hujan}} \cdot L_b \dots\dots\dots (3.37)$$

$$= 41,58 \text{ kN}$$

$$\text{Total gaya geser} = 582,48 \text{ kN}$$

4.3.4. Perhitungan beban hidup

1) Beban Lajur “D”

Beban lajur D terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) yang besarnya diatur dalam pasal 8.1 SNI 1725:2016 [6] tentang pembebanan jembatan. Karena panjang bentang jembatan 180 m, pembebanan dihitung per panjang bentang jembatan 36 m.

$$L_b = 36 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Intensitas beban BTR, } q_{\text{BTR}} &= 9(0.5 + \frac{15}{L_b}) \dots\dots\dots(3.38) \\ &= 8.25 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban merata per meter BTR, } W_{\text{BTR}} &= q_{\text{BTR}} \times w_s \dots\dots\dots(3.39) \\ &= 8.25 \times 2.3 \\ &= 18.975 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

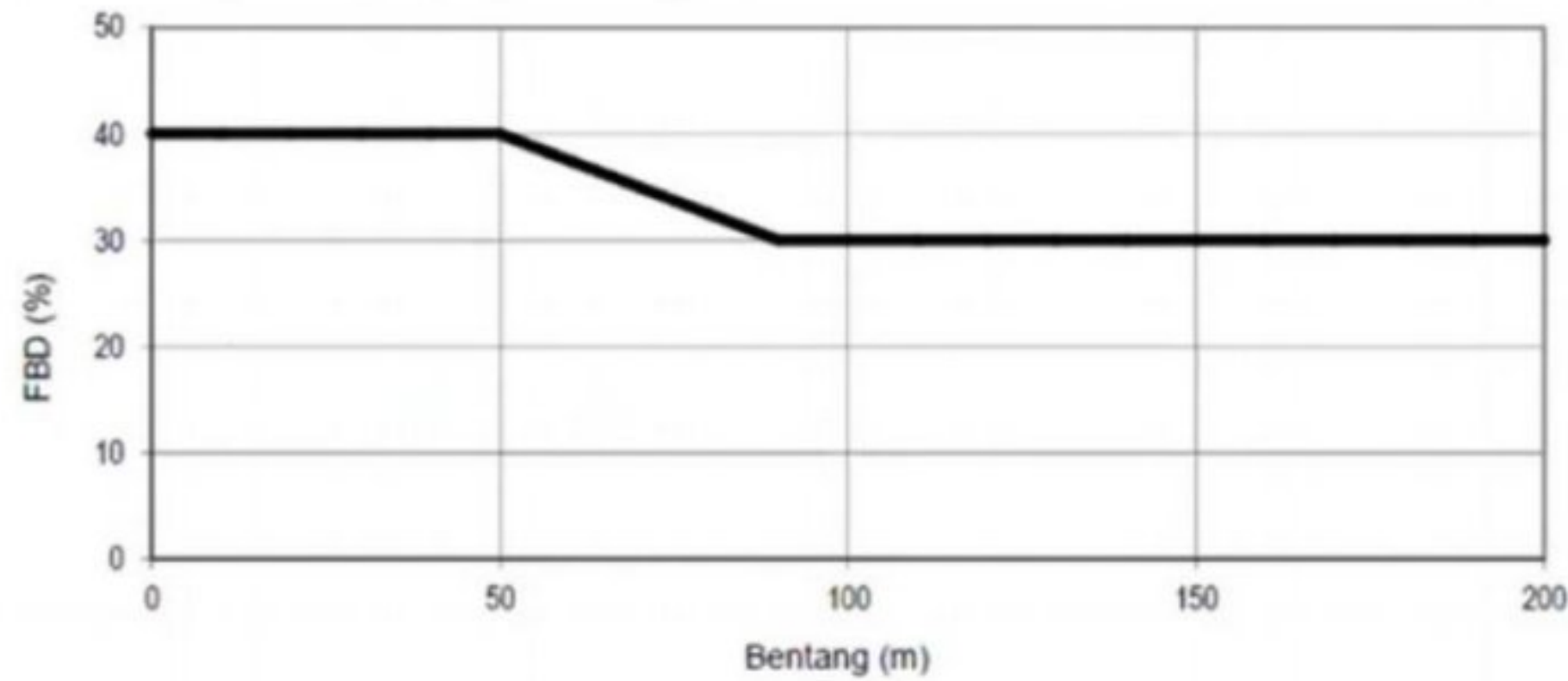
Beban BTR merupakan beban merata disepanjang bentang jembatan, sedangkan beban BGT merupakan beban terpusat yang diletakkan di tengah bentang. Besarnya beban BGT berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 8.3.1 adalah 49 kN/m. Dengan demikian beban BGT pada gelagar adalah sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Intensitas beban BGT, } P_{\text{BGT}} &= 49 \text{ kN/m} \times w_s \dots\dots\dots(3.40) \\ &= 49 \times 2.3 \\ &= 112.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{koefisien kejut, } K &= 1 + \frac{20}{50+L} \dots\dots\dots(3.41) \\ &= 1 + \frac{20}{50+36} \\ &= 1,233 \end{aligned}$$

2) Beban Truk “T”

Besarnya beban truk berdasarkan SNI 1725 tahun 2016 pada pasal 8.4 adalah sebesar 500 kN dan nilai FBD diatur SNI 1725 tahun 2016 pasal 8.6 yang mana FBD merupakan fungsi dari panjang bentang jembatan. Bisa dilihat dari Gambar 4.5. maka diperoleh nilai FBD sebesar 40 %.



Gambar 4.5. Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”

3) Beban Rem

Beban rem berdasarkan SNI 1725:2016 pasal 8.7 diambil dari nilai terbesar 25% berat gandar truk desain (W_{gt}) dan 5% berat truk rencana (W_t) ditambah beban lajur terbagi rata yang besarnya adalah:

1. $W_r = 25\% \cdot W_{gt} = 0.25 \times 28.4 = 7.1 \text{ ton/m} = 69,63 \text{ kN/m}$
2. $W_r = (5\% \cdot W_t) + W_{BTR} = (0.05 \cdot 500) + 18.975 = 43,975 \text{ kN/m}$

Diambi $W_r = 69,63 \text{ kN/m}$

Lengan terhadap titik berat balok, $y = 2,1 + 0,1 + 1,092 = 3,292$

Beban momen akibat gaya rem, $M = 229,22 \text{ kNm}$

Beban hidup total:

$$q = W_{BTR} + W_r = 130,93 \text{ kN/m}$$

$$P + \text{beban kejut} = 104,13 \text{ kN}$$

4) Perhitungan pengaruh beban hidup terhadap momen dan geser

Berdasarkan SNI nomor 1725 tahun 2016 pasal 8.6, beban BGT harus memperhitungkan pengaruh beban dinamis kendaraan sehingga beban BGT diperbesar dengan suatu faktor beban dinamis (FBD) yang pada kasus ini BGT diperbesar 40% sehingga:

$$W_{BR} = 17,325$$

$$FBD = 0,4$$

$$M_{BTR} = \frac{1}{8} \cdot W_{BTR} \cdot L_b^2 \dots\dots\dots(3.42)$$

$$= 2806,65 \text{ kNm}$$

$$M_{BGT} = \frac{1}{4} \cdot P_{BGT} \cdot L_b \cdot (1 + FBD) \dots\dots\dots(3.43)$$

$$= 1296,54 \text{ kNm}$$

$$M_{LL} = M_{BTR} + M_{BGT} \dots\dots\dots(3.44)$$

$$= 4103,19 \text{ kNm}$$

Gaya geser tak terfaktor akibat beban D adalah:

$$V_{BTR} = \frac{W_{BTR} \cdot L_b}{2} \dots\dots\dots(3.45)$$

$$= 311,85 \text{ kN}$$

$$V_{BGT} = \frac{P_{BGT} \cdot (1 + FBD)}{2} \dots\dots\dots(3.46)$$

$$= 72,03 \text{ kN}$$

$$V_{LL} = V_{BTR} + V_{BGT} \dots\dots\dots(3.47)$$

$$= 383,33 \text{ kN}$$



4.3.5. Beban angin (EW)

Berdasarkan SNI nomor 1725 tahun 2016 pasal 9.6.1.1, angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Beban angin statik yang bekerja pada dek jembatan diperhitungkan sebesar luas ekuivalen bagian samping jembatan. Beban yang bekerja didapat dari persamaan:

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_m)^2$$

$$\text{Koefisien serat } (C_w) = 1,2$$

$$\text{Kecepatan angin } (V_w) = 39 \text{ m/dt (tidak ambil ultimit)}$$

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_m)^2 \dots\dots\dots(3.48)$$

$$= 1,764 \text{ kN/m}$$

Bidang vertikal yang ditiup angin adalah bidang samping kendaraan dengan tinggi 2 m diatas jembatan

$$h = 2 \text{ m}$$

$$x = 1,75 \text{ m}$$

$$Q_{EW} = \left[\frac{1}{2} \times \frac{h}{x} \times T_{EW} \right] \dots \dots \dots (3.49)$$

$$= \left[\frac{1}{2} \times \frac{2}{1,75} \times T_{EW} \right]$$

$$= 1,008 \text{ kN/m}$$

$$\text{Perhitungan gaya geser} = \frac{1}{2} \times Q_{EW} \times L \dots \dots \dots (3.50)$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,008 \times 36$$

$$= 18,144 \text{ kN}$$

$$\text{Momen} = \frac{1}{8} \times Q_{EW} \times L^2 \dots \dots \dots (3.51)$$

$$= \frac{1}{8} \times 1,008 \times 36^2$$

$$= 163,296 \text{ kNm}$$

4.3.6. Beban gempa (EQ)

Berdasarkan SNI nomor 1725 tahun 2016 pasal 9.7 dalam perencanaan jembatan harus memperhitungkan beban akibat pengaruh terjadinya gempa.

$$\text{Berat sendiri} \quad Q_{MS} = 22,4 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat mati tambahan} \quad Q_{MA} = 9,96 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat total} \quad W_t = (Q_{MS} + Q_{MA}) \times L \dots \dots \dots (3.52)$$

$$= (22,4 + 9,96) \times 36$$

$$= 1164,96 \text{ kN/m}$$

Koefisien beban gempa horizontal

$$\begin{aligned} K_h &= C \times S \dots\dots\dots (3.53) \\ &= 0,2229 \end{aligned}$$

Koefisien beban gempa horizontal

$$\begin{aligned} K_v &= 50\% \times K_h \dots\dots\dots (3.54) \\ &= 0,114 > 0,8 \end{aligned}$$

Diambil $K_v = 0,11$

Gaya gempa vertikal

$$\begin{aligned} T_{EQ} &= K_v \times W_t \dots\dots\dots (3.55) \\ &= 0,11 \times 1164,96 \\ &= 128,146 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban gempa vertikal

$$\begin{aligned} Q_{ZQ} &= \frac{T_{EQ}}{L} \dots\dots\dots (3.56) \\ &= \frac{128,146}{36} \\ &= 3,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser dan momen maksimum akibat beban gempa vertikal:

$$\begin{aligned} V_{EQ} &= \frac{1}{2} \times Q_{EQ} \times L \dots\dots\dots (3.57) \\ &= \frac{1}{2} \times 3,56 \times 36 \\ &= 64,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= \frac{1}{8} \times Q_{EQ} \times L^2 \dots\dots\dots (3.58) \\ &= \frac{1}{8} \times 3,56 \times 36^2 \end{aligned}$$

4.3.7. Kombinasi pembebanan

Pengaruh beban momen dan geser yang diperoleh dari analisis struktur dijadikan sebagai kombinasi beban dalam proses desain gelagar. Kombinasi beban diatur dalam pasal 6.1 SNI 1725 tahun 2016. Hasil kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

$$\text{Kuat 1} = 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,8 \text{ TD} + 1,8 \text{ TB} + 1,8 \text{ TP} + 0 \text{ TG} \dots\dots (3.59)$$

$$\begin{aligned}
&= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (1,8 \times 4103,19) + (1,8 \times 229,22) + \\
&\quad (1,8 \times 0) + 0 \\
&= 13040,64 \\
\text{Kuat 2} \quad &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,4 \text{ TD} + 1,4 \text{ TB} + 1,8 \text{ TP} + 0 \text{ TG} \dots\dots\dots (3.60) \\
&= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (1,4 \times 4103,19) + (1,4 \times 229,22) + \\
&\quad (1,8 \times 0) + 0 \\
&= 11307,67 \\
\text{Kuat 3} \quad &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,4 \text{ EW}_s + 0 \text{ TG} \dots\dots\dots (3.61) \\
&= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (1,4 \times 163,296) + 0 \\
&= 5470,91 \\
\text{Kuat 4} \quad &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} \dots\dots\dots (3.62) \\
&= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) \\
\text{Kuat 5} \quad &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,0 \text{ EW}_L + 0 \text{ TG} \dots\dots\dots (3.63) \\
&= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (1,0 \times 163,296) + 0 \\
\text{Ekstrem 1} \quad &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 0,5 \text{ TD} + 0,5 \text{ TB} + 0,5 \text{ TP} + 1,0 \text{ EQ} \dots\dots\dots (3.64) \\
&= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (0,5 \times 4103,19) + (0,5 \times 229,22) \\
&\quad + (0,5 \times 0) + (1,0 \times 576,72) \\
&= 7985,23 \\
\text{Ekstrem 2} \quad &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 0,5 \text{ TD} + 0,5 \text{ TB} + 0,5 \text{ TP} \dots\dots\dots (3.65) \\
&= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (0,5 \times 4103,19) + (0,5 \times 229,22) \\
&\quad + (0,5 \times 0) \\
&= 7408,505 \\
\text{Daya layan 1} \quad &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,0 \text{ TD} + 1,0 \text{ TB} + 1,0 \text{ EW}_L + 0,5 \text{ TG} \dots\dots\dots (3.66) \\
&= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (1,0 \times 4103,19) + (1,0 \times 229,22) \\
&\quad + (1,0 \times 163,3) + (0,5 \times 0) \\
&= 9742,91 \\
\text{Daya layan 2} \quad &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 1,3 \text{ TD} + 1,3 \text{ TB} + 1,8 \text{ TP} \dots\dots\dots (3.67) \\
&= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (1,3 \times 4103,19) + (1,3 \times 229,22) \\
&\quad + (1,8 \times 0) \\
&= 10874,43 \\
\text{Daya layan 3} \quad &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 0,8 \text{ TD} + 0,8 \text{ TB} + 0,8 \text{ TP} + 0,5 \text{ TG} \dots\dots\dots (3.68)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (0,8 \times 4103,19) + (0,8 \times 229,22) \\
 &\quad + (0,8 \times 0) + (0,5 \times 0) \\
 &= 8713,133
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya layan 4} &= 1,0 \text{ MS} + 1,0 \text{ MA} + 0,7 \text{ EW}_s \dots\dots\dots (3.69) \\
 &= (1,0 \times 3628,88) + (1,0 \times 1613,42) + (0,7 \times 163,3) \\
 &= 5356,60
 \end{aligned}$$



Tabel 4.1 Kombinasi pembeban

Keadaan Batas	TA PR PL SH	TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	E _{un}	TG	ES	Gunakan salah satu			Hasil Kombinasi
										EQ	TC	TV	
Kuat I	γ_p		1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-	13040,64
Kuat II	γ_p		1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-	11307,67
Kuat III	γ_p		1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-	5470,91
Kuat IV	γ_p		1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-	5242,30
Kuat V	γ_p		1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-	5405,60
Ekstrim I	γ_p		1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	-	-	7985,225
Ekstrim II	γ_p		1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	7408,505
Daya Layan I	1,00		1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	1,0	1,0	9742,911
Daya Layan II	1,00		1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-	10874,433
Daya Layan III	1,00		1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-	8713,133
Daya Layan IV	1,00		1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-	5356,6072
Fatik	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4.4. Perhitungan pengaruh gaya dalam penampang balok prategang

Berdasarkan RSNI T-12-2004 pasal 5.2.1 Besarnya momen dan gaya geser di dalam penampang balok diberikan pada Tabel 4.2.

Faktor reduksi lentur (ϕ)	= 0,8
Faktor reduksi lentur (ϕ_v)	= 0,75
Berat jenis beton (γ_c)	= 24 kN/m ³
Berat jenis beton prategang (γ_{pt})	= 25 kN/m ³
Berat jenis baja (γ_s)	= 78.5 kN/m ³
Besarnya gaya M + V dalam balok	

Tabel 4.2. Besarnya Momen dan Gaya geser pada balok.

Parameter	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
Akibat Beban Mati Superimposed (Sdl)	1613,42	179,27
Beban Mati Akibat Berat Sendiri (dl)	3628,88	403,21
Akibat Beban Hidup	4103,19	383,33

Faktor momen tekuk, $M_u = 1.3 (M_{sdl} + M_{dl}) + 2.2 M_L \dots\dots\dots(3.70)$
 $= 15842,01 \text{ kNm}$

Faktor momen tumpuan $M_t = 1.3 (M_{sdl} + M_{dl}) + 1.0 M_L \dots\dots\dots(3.71)$
 $= 10918,18 \text{ kNm}$

Faktor gaya geser tekuk, $V_u = 1.3 (V_{sdl} + V_{dl}) + 2.2 V_L \dots\dots\dots(3.72)$
 $= 1600,55 \text{ kN}$

Faktor gaya geser tumpuan, $V_t = 1.3 (V_{sdl} + V_{dl}) + 1.0 V_L \dots\dots\dots(3.73)$
 $= 1140,55 \text{ kN}$

4.5. Menentukan tebal pelat lantai jembatan

Berdasarkan RSNI T-12-2004 pasal 5.5 tentang perencanaan pelat lantai kendaraan adapun langkah menentukan tebal pelat lantai yaitu:

Asumsi tebal plat lantai jembatan $h_{slb} = 250 \text{ mm}$.

1. Tinggi rata-rata sayap balok (A_c') untuk menahan momen

$$\begin{aligned}
 A_c' &= \frac{M_u}{\phi \times 0.68 \times h \times f_c} \dots\dots\dots (3.74) \\
 &= \frac{15842010}{0.8 \times 0,68 \times 2100 \times 0,04565} \\
 &= 303774,49 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

2. Lebar Pelat efektif

$$b_{pl} = L_c$$

$$b_{pl} = 2,1 \text{ m} = 2100 \text{ mm}$$

3. Tebal sayap minimum

$$\begin{aligned}
 h_f &= \frac{A_c'}{b_{pl}} \dots\dots\dots (3.75) \\
 &= \frac{303774,49}{2100} \\
 &= 144,65 \text{ mm} < h_{slb} = 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Keterangan: lebar asumsi pelat > lebar sayap minimum 'h_f' → memenuhi.

Tebal pelat lantai diambil 250 mm

4. Lebar efektif pelat, terkecil dari:

$$\begin{aligned}
 b_{pl} &= \min \left[(b_w + 16 \times h_{slb} \times L_c \times \frac{L_{sl}}{4}) \right] \dots\dots\dots (3.76) \\
 &= 2100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

5. Tebal minimum sayap menurut AASHTO:

$$\begin{aligned}
 t_{min} &= \frac{1.2 \times (L_c + 3m)}{30} \dots\dots\dots (3.77) \\
 &= \frac{1.2 \times (2.1 + 3m)}{30} = 0,204 \text{ m} = 204 \text{ mm} < h_{slb} = 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Keterangan : lebar asumsi plat > tebal minimum sayap menurut AASHTO

't_{min}' → memenuhi

4.6. Perkiraan Gaya Prategang Efektif

Gaya prategang beton efektif dihitung berdasarkan RSNI-T-2004.

1. Eksentrisitas Tendon(RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.7

$$\begin{aligned}
 e_m &= h - 200 \text{ mm} - C_t \dots\dots\dots (3.78) \\
 &= 2100 - 200 - 1092
 \end{aligned}$$

$$= 808 \text{ mm}$$

2. Estimasi berdasarkan kondisi tegangan akhir pada berat bawah

$$e = e_m = 808 \text{ mm}$$

$$F_t = 0 \text{ Mpa}$$

3. Nilai awal $P_{eff} = 1 \text{ Kn}$

$$\frac{-P_{eff}}{A_g} - \frac{P_{eff} \times e}{S_b} + \frac{M_{dl} + M_{sdl}}{S_b} + \frac{ML}{S_{bk}} = F_t \dots\dots\dots (3.79)$$

$$\frac{-P_{eff}}{749500} - \frac{P_{eff} \times 808}{4,076 \times 10^8} + \frac{3628,88 + 1613,42}{4,076 \times 10^8} + \frac{4103,19}{3,883 \times 10^8} = 0$$

$$P_{f2} = P_{eff} = 7063,14 \text{ kN}$$

4. Estimasi berdasarkan kekuatan batas penampang

$$\phi A_{ps} [0.8(h + h_{slb})] \times 0.9 \times f_{pu} \geq M_u \dots\dots\dots (3.80)$$

$$A_{ps} = \frac{M_u}{\phi \times [0.8(h + h_{slb})] \times 0.9 \times f_{pu}} \dots\dots\dots (3.81)$$

$$= \frac{15842010}{0.8 \times [0.8(2.100 + 250)] \times 0.9 \times 1,86}$$

$$= 6292,26 \text{ mm}^2$$

$$P_{f3} = A_{ps} \times f_{peff} \dots\dots\dots (3.82)$$

$$= 6543,95 \text{ kN}$$

5. Gaya prategang efektif yang dibutuhkan

$$P_f = \max ((P_{f2}, P_{f3}))$$

$$= 7063,14 \text{ kN}$$

$$A_{ps} = \frac{P_f}{f_{peff}} \dots\dots\dots (3.83)$$

$$= 6791,48 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter tendon } (\phi_s) = 12,7 \text{ mm}$$

$$\text{Luas efektif per tendon } (A_{p1}) = 98 \text{ mm}^2$$

$$n_{\text{strand}} = \left(\frac{A_{ps}}{A_{p1}} \right) \dots\dots\dots (3.84)$$

$$= 70 \text{ strand}$$

$$A_{ps} = n_{\text{strand}} A_{p1} \dots\dots\dots (3.85)$$

$$= 70 \times 98 = 6860 \text{ mm}^2$$

4.7. Menghitung kapasitas momen

Kapasitas momen dihitung berdasarkan RSNI-T-2004.

$$\text{Diameter tulangan } (D_s) = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Faktor reduksi lentur } (\phi) = 0.8$$

$$\text{Luas tulangan } (A_{s1}) = 0.25\pi D_s^2 = 0.25 \times 3.14 \times 16^2 = 200.96 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lebar tekan balok } (b_t) = b_e = 1.673.7 \text{ mm}$$

Luas penampang dari center ke sisi tarik (pendekatan $A_t = 50\% A_g$)

$$A_t = 50\% A_g \dots\dots\dots (3.86)$$

$$= 50\% \times 749.500$$

$$= 374750 \text{ mm}^2$$

Pasang tulangan minimum

$$A_{smin} = 0.4\% A_t \dots\dots\dots (3.87)$$

$$= 0.4\% \times 374.750$$

$$= 1499 \text{ mm}^2$$

Jadi banyaknya tulangan tarik

$$n_s = \frac{A_{smin}}{A_{s1}} \dots\dots\dots (3.88)$$

$$= 7.5 = 8$$

Luas total tulangan tarik,

$$A_{st} = n_s \times A_{s1} \dots\dots\dots (3.89)$$

$$= 8 \times 200.96$$

$$= 1607.68 \text{ mm}^2$$

Cover beton

$$d_c = 40 \text{ mm}$$

Leng. Momen prategang $C_t = 1092 \text{ mm}$

$$d_p = C_t + h_{slb} + e_m \dots\dots\dots (3.90)$$

$$= 1092 + 250 + 808$$

$$= 2150 \text{ mm}$$

Lengan Momen tulangan Komposit

$$d = h + h_{slb} - d_c - \frac{Ds}{2} - 13 \text{ mm} \dots \dots \dots (3.91)$$

$$= 2100 + 250 - 40 - \frac{16}{2} - 13$$

$$= 2289 \text{ mm}$$

$$p_e = f_{peff} \cdot A_{ps} \dots \dots \dots (3.92)$$

$$= 1041,6 \times 6860$$

$$= 7145376 \text{ kN}$$

$$f_{peff} = 1041,6 \text{ MPa} \geq 0.5 \cdot f_{pu} = 0,5 \times 1860 = 930 \text{ MPa} \dots \text{ OK !!}$$

Maka : Nilai untuk γ_p :

$$\frac{f_{py}}{f_{pu}} = 0,9$$

$$\gamma_p = 0,28$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ if } f_c \leq 30 \text{ MPa}$$

$$0,65 \text{ if } f_c \geq 55 \text{ MPa}$$

$$0,85 - 0,008 \left(\frac{f_c}{\text{Mpa}} - 30 \right) \text{ if } 30 \text{ Mpa} < f_c \leq 55 \text{ MPa}$$

$$\beta_1 = 0,725$$

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{A_{ck}} \dots \dots \dots (3.93)$$

$$= \frac{6860}{1274500} = 5,383 \times 10^{-3}$$

$$= 0,54\%$$

$$\rho_c = 0$$

$$\omega_c = 0$$

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_{ck}} \dots \dots \dots (3.94)$$

$$= \frac{1607,68}{1274500}$$

$$= 1,261 \times 10^{-3}$$

$$= 0,13\%$$

$$\omega_t = \rho_t \cdot \frac{f_y}{f_c} \dots \dots \dots (3.95)$$

$$= 0,13\% \times \frac{400}{45,65}$$

$$= 0,011$$

$$F_{ps} = f_{pu} \left[1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \cdot \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} \cdot (\omega t - \omega c) \right] \right] \dots \dots \dots (3.96)$$

$$= 1860 \left[1 - \frac{0,28}{0,725} \times \left[5,383 \times 10^{-3} \times \frac{1860}{45,65} + \frac{2289}{2150} (0,011 - 0) \right] \right]$$

$$= 1694,03 \text{ Mpa} = 1,694 \text{ kN/mm}^2$$

$$\omega_p = \rho_p \cdot \frac{f_{ps}}{f_c} \dots \dots \dots (3.97)$$

$$= 5,383 \times 10^{-3} \times \frac{1694,03}{45,65}$$

$$= 0,2$$

4.8. Lebar stress blok pada beton

$$T_{ps} = f_{ps} \cdot A_{ps} \dots \dots \dots (3.98)$$

$$= 1,693 \times 6860$$

$$= 11613,98 \text{ kN}$$

$$T_s = A_{st} \cdot f_y \dots \dots \dots (3.99)$$

$$= 1.607,68 \times 0.4$$

$$= 643,072 \text{ kN}$$

$$a = \frac{T_{ps} + T_s}{0.85 \cdot f_c \cdot b \cdot t} \dots \dots \dots (3.100)$$

$$= \frac{11613,98 + 643,072}{0,85 \times 0,04565 \times 2100} = 150 \text{ mm} < h_{slb} = 250 \text{ mm}$$

Tebal sayap yang diijinkan 'a' < Tebal sayap asumsi 'h_{slb}' "Memenuhi"

4.9. Pemeriksaan tulangan maksimum

Berdasarkan ACI/NAWY (untuk balok segi-4)

$$\omega_p = \rho_p \cdot \frac{f_{ps}}{f_c} \dots \dots \dots (3.101)$$

$$= 0,2 < 0.36 \cdot \beta_1 = 0,36 \times 0,725 = 0,261$$

OK (jika hanya prestressed)

$$\omega_p + \frac{d}{d_p} \times (\omega t - \omega c) \dots \dots \dots (3.102)$$

$$= 0,2 + \frac{2289}{2150} \times (0,011 - 0) < 0.36 \times \beta_1 = 0.36 \times 0.725$$

$$= 0.212 < 0.261$$

OK (jika besi tulangan diperhitungkan)

Keterangan:

jika rasio tulangan < 0.364 maka under-reinforced jika tidak maka over-reinforced.

$$\text{OVER} = \text{"Y"} \text{ if } \omega p + \frac{d}{dp} \cdot (\omega t - \omega c) > 0.36 \cdot \beta_1$$

“N” otherwise

$$\text{OVER} = \text{"N"}$$

Berdasarkan AASHTO 3rd Edition 2004, Sec. 5.7.3.3

Kedalaman tulangan efektif pada penampang:

$$d_e = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_{st} \cdot f_y \cdot d}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_{st} \cdot f_y} \dots\dots\dots (3.103)$$

$$= \frac{7.840 \times 1.857,623 \times 2.150 + 1.607,68 \times 400 \times 2.289}{7.840 \times 1.857,623 + 1.607,68 \times 400}$$

$$= 2.157 \text{ mm} = 2,157 \text{ m}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} \dots\dots\dots (3.104)$$

$$= \frac{150}{0,725}$$

$$= 206,90 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{d_e} = \frac{206,90}{2157,29} = 0,10 < 0,42 \dots \text{"OK"}$$



$$\text{OVER} = \text{"Y"} \text{ if } \frac{c}{d_e} > 0.42 \cdot \beta_1 \qquad \text{OVER} = \text{"N"}$$

$$M_n = T_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_{st} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \dots\dots\dots (3.105)$$

$$= 11613,98 \left(2150 - \frac{150}{2} \right) + 1607,68 \times 0,4 \times \left(2289 - \frac{150}{2} \right)$$

$$= 25522769,91 \text{ kN.mm}$$

4.10. Periksa Momen Desain Ultimate

Momen desain ultimate dihitung berdasarkan RSNI-T-2004.

Kekuatan Nominal M_n : = 25522,77 kN.m

Periksa:

$$\phi \cdot M_n \dots\dots\dots (3.106)$$

$$= 0,8 \times 25522,77$$

$$= 20418,22 \text{ kNm} > M_u = 15842,01 \text{ kNm} \text{ "OK"}$$

4.11. Periksa momen desain minimum

$$A_g = 749.500 \text{ mm}^2$$

$$P_e = 8.166,144 \text{ kN}$$

$$I_g = 4,109 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$\text{Tegangan tarik retak } (f_r) = 0,7 \sqrt{f_c} \text{ Mpa} \dots\dots\dots (3.107)$$

$$= 0,7 \sqrt{45,65 \text{ MPa}} = 4,73 \text{ Mpa}$$

4.12. Menghitung momen retak pada penampang

tegangan serat bawah girder akibat beban layan total, M_t

$$f_{akt} = \frac{-Pe}{A_g} - \frac{Pe.e}{S_b} + \frac{M_{dl} + M_{sdl}}{S_b} + \frac{M_L}{S_{bk}} \dots\dots\dots (3.108)$$

$$= \frac{-7063,14}{749500} - \frac{7063,14 \times 808}{4,076 \times 10^8} + \frac{3628,88 + 1613,42}{4,076 \times 10^8} + \frac{4103,19}{3,883 \times 10^8} = 0 \text{ Mpa}$$

1) momen untuk meratakan penampang

$$M_{cr} = (f_r - f_{akt}) \cdot S_{bk} + M_t \dots\dots\dots (3.109)$$

$$= (0,00473 - (0)) \times 0,388 + 10918,18$$

$$= 10918,18 \text{ kN.m}$$

2) Periksa rasio momen kapasitas terhadap momen retak

$$\frac{\phi \cdot M_n}{M_{cr}} \dots\dots\dots (3.110)$$

$$= \frac{\phi \cdot M_n}{M_{cr}} = \frac{20418,22}{10918,18} = 1,87 > 1,2 = \text{SF} \rightarrow \text{memenuhi persyaratan}$$

4.13. Merencanakan kapasitas geser balok T

Gaya prategang beton efektif dihitung berdasarkan RSNI-T-2004.

Bentang $L = 36 \text{ m}$

1) Penampang

$$\text{Tinggi penampang} = 2100 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar badan bw} = 250 \text{ mm}$$

$$A_c = 749500 \text{ mm}^2$$

$$Y_t = 2100 : 2 = 1050 \text{ mm}$$

$$S_b = 4,076 \times 10^8 \text{ mm}^3$$

$$P_e = 7063,14 \text{ kN}$$

$$A_{ps} = 6860 \text{ mm}^2$$

$$D_p = 2150 \text{ mm}$$

$$F_{pe} = \frac{P_e}{A_{ps}} = 1029,61 \text{ Mpa}$$

layout kabel mengikuti persamaan parabolik sebagai berikut:

$$e_x(x) = \alpha_1 \cdot x^2 + \beta_1 \cdot x + \gamma_1$$

$$\alpha_1 = -0,0022 \text{ m}^{-1}$$

$$\beta_1 = 0,0805$$

$$\gamma_1 = 0 \text{ m}$$

$$\text{Cek : } e_x(0,5L) = 0,808 \text{ m} = e_m$$

2) Material

$$\text{Faktor reduksi } (\phi) = 0,75$$

$$\text{Kuat tekan beton } (f_c) = 45,65 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh tulangan } (f_y) = 400 \text{ MPa}$$

3) Beban

$$Q_{dl} = 22,40 \text{ kN/m}$$

$$Q_{sdl} = 9,96 \text{ kN/m}$$

$$Q_{LL} = 17,325 \text{ kN/m}$$

$$Q_U = Q_{UDL} + Q_{USDL} + Q_{ULL}$$

$$= 22,40 + 9,96 + 17,325$$

$$= 49,69 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}\Delta Q_U &= Q_{UDL} + Q_{ULL} \\ &= 9,96 + 17,325 \\ &= 27,29 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

4.14. Gaya-gaya dalam

Saat beban layan belum bekerja (geser hanya ditahan oleh girder beban konstruksi yang bekerja = 1 kN/m^2)

1) Momen

$$M_{UDL}(x) = Q_{UDL} \left[\frac{L}{2} \cdot x - \frac{x^2}{2} \right]$$

$$M_U(x) = Q_U \left[\frac{L}{2} \cdot x - \frac{x^2}{2} \right]$$

$$\Delta M_U(x) = \Delta Q_U \left[\frac{L}{2} \cdot x - \frac{x^2}{2} \right]$$

Untuk $x=10;20;30$

$$M_{UDL(10;20;30)} = 3166,8 \text{ kNm} ; 3897,6 \text{ kNm} ; 2192,4 \text{ kNm}$$

$$M_{U(10;20;30)} = 8738,08 \text{ kNm} ; 10754,56 ; 6049,44 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{U(10;20;30)} = 5571,8 \text{ kNm} ; 6857,6 \text{ kNm} ; 3857,4 \text{ kNm}$$

2) Geser

$$V_{UDL}(x) = Q_{UDL} \left[\frac{L}{2} - x \right]$$

$$V_U(x) = Q_U \left[\frac{L}{2} - x \right]$$

$$\Delta V_U(x) = \Delta Q_U \left[\frac{L}{2} - x \right]$$

Untuk $x=10;20;30$

$$V_{UDL(10;20;30)} = 194,88 \text{ kN} ; -292,32 \text{ kN} ; -48,72 \text{ kN}$$

$$V_{U(10;20;30)} = 537,76 \text{ kN} ; -134,44 ; -806,64 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{U(10;20;30)} = 342,88 \text{ kN} ; -85,72 \text{ kN} ; -514,32 \text{ kN}$$

Diketahui:

$$x_1 = \frac{h}{2} = \frac{2,10}{2} = 1,05 \text{ m}$$

$$x_2 = 0,25L = 0,25 \times 36 = 9 \text{ m}$$

$$x_3 = 0,5L = 0,5 \times 36 = 18 \text{ m}$$

3) Momen

$$M_{u1} = M_{u(x1)} = 911,75 \text{ kNm}$$

$$M_{u2} = M_{u(x2)} = 6035,34 \text{ kNm}$$

$$M_{u3} = M_{u(x3)} = 8049,78 \text{ kNm}$$

4) Geser

$$V_{u1} = V_{u(x1)} = 842,25 \text{ kN}$$

$$V_{u2} = V_{u(x2)} = 447,21 \text{ kN}$$

$$V_{u3} = V_{u(x3)} = 0 \text{ kN}$$

5) Jarak serat atas ke pusat prategang, d_p

$$\begin{aligned} d_{p1} &= Y_t + e_x(x_1) \\ &= 1,90 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{p2} &= Y_t + e_x(x_2) \\ &= 8,32 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{p3} &= Y_t + e_x(x_3) \\ &= 14,54 \text{ m} \end{aligned}$$

persyaratan geser menurut ACI:

$$0,4f_{pu} = \text{MPa} < f_{pe} = \text{MPa}$$

Dapat menggunakan metode sederhana sebagai berikut:

$$V_c = \frac{1}{20} \cdot \sqrt{\frac{f_c}{\text{MPa}}} + \left(4,8x \frac{V_u \cdot d_p}{M_u}\right)$$

$$\frac{V_u \cdot d_p}{M_u} \leq 1$$

$$\frac{V_{u1} \cdot d_{p1}}{M_{u1}} = 0,97$$

$$\frac{V_{u2} \cdot d_{p2}}{M_{u2}} = 0,08$$



$$\frac{v_{u3} \cdot d_{p3}}{M_{u3}} = 0$$

$$V_{c1} = \left(\frac{1}{20} \cdot \sqrt{\frac{f_c}{\text{MPa}}} + (4,8 \times 1) \right) \cdot \text{MPa}$$

$$= 5,14 \text{ MPa}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{1}{20} \cdot \sqrt{\frac{f_c}{\text{MPa}}} + (4,8 \times 0,08) \right) \cdot \text{MPa}$$

$$= 0,85 \text{ MPa}$$

$$V_{c3} = \left(\frac{1}{20} \cdot \sqrt{\frac{f_c}{\text{MPa}}} + (4,8 \times 0) \right) \cdot \text{MPa}$$

$$= 0,34 \text{ MPa}$$

$\lambda = 1$ (untuk beto normal)

$$V_{c1} = 0,4 \sqrt{f_c \cdot (\text{MPa})} \text{ jika } V_{c1} > 0,4 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c \cdot (\text{MPa})}$$

$$= \frac{\lambda}{6} \cdot \sqrt{f_c \cdot (\text{MPa})} \text{ jika } V_{c1} \leq \frac{\lambda}{6} \cdot \sqrt{f_c \cdot (\text{MPa})}$$

$$V_{c1} = 2,703 \text{ MPa}$$

$$V_{c2} = 1,13 \text{ MPa}$$

$$V_{c3} = 1,13 \text{ MPa}$$



6) Saat beban layan bekerja

a. Pada titik 1

$$x_1 = 1,05 \text{ m}$$

$$V_{u1} = 842,25 \text{ kN} < \phi \cdot v_{c1} \cdot b_w \cdot d_{p1} \dots \dots \dots \text{RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.7}$$

$$= 0,75 \times 2703 \times 0,250 \times 1,9$$

$$= 962,94 \text{ kN}$$

Jika gaya geser rencana terfaktor V_u tidak melebihi kekuatan geser rencana balok maka diperlukan tulangan geser minimum.

Menentukan spasi, $s_{\text{act}} = 400 \text{ mm}$ (praktis)

$$s = \min \left(\begin{array}{c} 0,75h \\ 600\text{mm} \\ s_{\text{act}} \end{array} \right)$$

$$s = 400 \text{ mm}$$

luas tulangan minimum

$$\begin{aligned} A_{vmin} &= \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots \text{RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.6} \\ &= \frac{0,25 \times 0,4}{3 \times 400} = 83,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Bila gaya prategang efektif tidak kurang dari 40% dari kekuatan Tarik tulangan, tulangan geser minimum dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{v1} &= \left(\frac{V_{u1}}{\phi} - v_{c1} \cdot b_w \cdot d_{p1} \right) \cdot \frac{s}{f_y \cdot d} \dots\dots\dots \text{RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.6} \\ &= \left(\frac{962,94}{0,75} - 5,14 \times 250 \times 8320 \right) \cdot \frac{400}{400 \times 13} \\ &= 187,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan geser diameter = 13 mm

$$\begin{aligned} A_{v1act} &= 0,25 \cdot \pi \cdot dia^2 \cdot 2 \\ &= 265,33 \text{ mm}^2 > A_{v1} \text{ "OK"} \end{aligned}$$

b. Pada titik 2

$$x_2 = 9 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_{u2} &= 447,21 \text{ kN} < \phi \cdot v_{c2} \cdot b_w \cdot d_{p2} \dots\dots\dots \text{RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.7} \\ &= 0,75 \times 850 \times 0,250 \times 8,32 \\ &= 1762,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jika gaya geser rencana terfaktor V_u tidak melebihi kekuatan geser rencana balok maka diperlukan tulangan geser minimum.

Menentukan spasi, $s_{act} = 400 \text{ mm}$ (praktis)

$$s = \min \begin{pmatrix} 0,75h \\ 600 \text{ mm} \\ s_{act} \end{pmatrix}$$

$$s = 400 \text{ mm}$$

luas tulangan minimum

$$\begin{aligned} A_{vmin} &= \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots \text{RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.6} \\ &= \frac{0,25 \times 0,4}{3 \times 400} = 83,33 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menentukan luas tulangan geser, A_v

$$\begin{aligned} A_{v2} &= \left(\frac{V_{u2}}{\phi} - v_{c2} \cdot b_w \cdot d_{p2} \right) \cdot \frac{s}{f_y \cdot d} \dots\dots\dots \text{RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.6} \\ &= \left(\frac{447,21}{0,75} - 1,13 \times 250 \times 1900 \right) \cdot \frac{400}{400 \times 13} \\ &= 165,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan geser diameter = 13 mm

$$\begin{aligned} A_{vlact} &= 0,25 \cdot \pi \cdot dia^2 \cdot 2 \\ &= 265,33 \text{ mm}^2 > A_{v2} \text{ "OK"} \end{aligned}$$

c. Pada titik 3

$$x_2 = 18 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_{u3} &= 447,21 \text{ kN} < \phi \cdot v_{c3} \cdot b_w \cdot d_{p3} \dots\dots\dots \text{RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.7} \\ &= 0,75 \times 390 \times 0,250 \times 14,54 \\ &= 1063,24 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jika gaya geser rencana terfaktor V_u tidak melebihi kekuatan geser rencana balok maka diperlukan tulangan geser minimum.

Menentukan spasi, $s_{act} = 400 \text{ mm}$ (praktis)

$$s = \min \left(\begin{array}{c} 0,75h \\ 600 \text{ mm} \\ s_{act} \end{array} \right)$$

$$s = 400 \text{ mm}$$

luas tulangan minimum

$$A_{vmin} = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} \dots\dots\dots \text{RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.6}$$

$$= \frac{0,25 \times 0,4}{3 \times 400} = 83,33 \text{ mm}^2$$

Menentukan luas tulangan geser, A_v

$$A_{v3} = \left(\frac{V_{u3}}{\phi} - v_{c3} \cdot b_w \cdot d_{p3} \right) \cdot \frac{s}{f_y \cdot d} \dots\dots\dots \text{RSNI-T-2004 pasal 6.8.10.6}$$

$$= \left(\frac{0}{0,75} - 0,34 \times 250 \times 1454 \right) \cdot \frac{400}{400 \times 13}$$

$$= 68,74 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser diameter = 13 mm

$$A_{v1act} = 0,25 \cdot \pi \cdot dia^2 \cdot 2$$

$$= 265,33 \text{ mm}^2 > A_{v3} \text{ "OK"}$$

4.15. Menghitung tegangan ijin

Berdasarkan RSNI T-12-2004 pasal 4.4.1.2 tegangan tekan dalam penampang beton, akibat beban kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur atau aksial tekan tidak boleh melampaui nilai $0,45 f_c'$.

1) Tegangan ijin layan:

$$\sigma_{ts} = 0,5 \sqrt{f_c} \dots\dots\dots \text{RSNI-T-2004 pasal 4.4.1.2.3}$$

$$\sigma_{ts} = 0,5 \sqrt{45,65} = 3,38 \text{ Mpa (Tarik)}$$

$$\sigma_{cs} = -0,45 f_c$$

$$\sigma_{cs} = -0,45 \times 45,65 = -20,54 \text{ Mpa (Tekan)}$$

2) Tegangan ijin initial

$$\sigma_{ti} = 0,25 \sqrt{f_c}$$

$$\sigma_{ti} = 0,25 \sqrt{45,65} = 1,69 \text{ Mpa (Tarik)}$$

$$\sigma_{ci} = -0,6 f_c$$

$$\sigma_{ci} = -0,6 \times 45,65 = -27,39 \text{ Mpa (Tekan)}$$

- 3) Periksa tegangan pada serat atas dan bawah pada kondisi transfer

$$P_i = \frac{P_{eff}}{\eta} = \frac{7063,14}{0,83} = 8509,81 \text{ kN}$$

$$\sigma_a = \frac{-P_i}{A_g} + \frac{P_i \cdot e}{S_t} - \frac{M_{dl}}{S_t} = \frac{-8509,81}{749500} + \frac{8509,81 \times 808}{376300000} - \frac{3628880}{376300000} = -0,27 \text{ MPa} \leq \sigma_{ti}$$

$$= 1,69 \text{ MPa (tarik)}$$

$$\sigma_b = \frac{-P_i}{A_g} - \frac{P_i \cdot e}{S_b} + \frac{M_{dl}}{S_b} = \frac{-8509,81}{749500} - \frac{8509,81 \times 808}{407600000} + \frac{3628880}{407600000} = -27,33 \text{ MPa} \geq$$

$$\sigma_{ci} = -27,39 \text{ MPa (Tekan)}$$

- 4) Periksa tegangan pada serat atas dan bawah pada kondisi layan

$$\sigma_a = \frac{-P_i}{A_g} + \frac{P_i \cdot e}{S_t} - \frac{M_{max}}{S_t} = \frac{-8509,81}{749500} + \frac{8509,81 \times 808}{376300000} - \frac{7732070}{376300000} = -13,63 \text{ MPa} \geq$$

$$\sigma_{cs} = -20,54 \text{ MPa (Tekan)}$$

$$\sigma_b = \frac{-P_i}{A_g} - \frac{P_i \cdot e}{S_b} + \frac{M_{max}}{S_b} = \frac{-8509,81}{749500} - \frac{8509,81 \times 808}{407600000} + \frac{7732070}{407600000} = -9,08 \text{ MPa} \leq$$

$$\sigma_{ts} = 3,38 \text{ MPa (Tarik)}$$

4.16. Periksa Lendutan

$$f_c = 45,65 \text{ Mpa}$$

$$f_{ci} = 0,65 \cdot f_c = 29,67 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 31755,45 \text{ Mpa}$$

$$E_{ci} = 25600,98 \text{ Mpa}$$

$$\text{Beban mati saat layan: } q_{DL} = 22,40 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban hidup saat layan: } q_L = 17,35 \text{ kN/m}$$

- 1) Lendutan Awal

Chamber akibat prestress saja

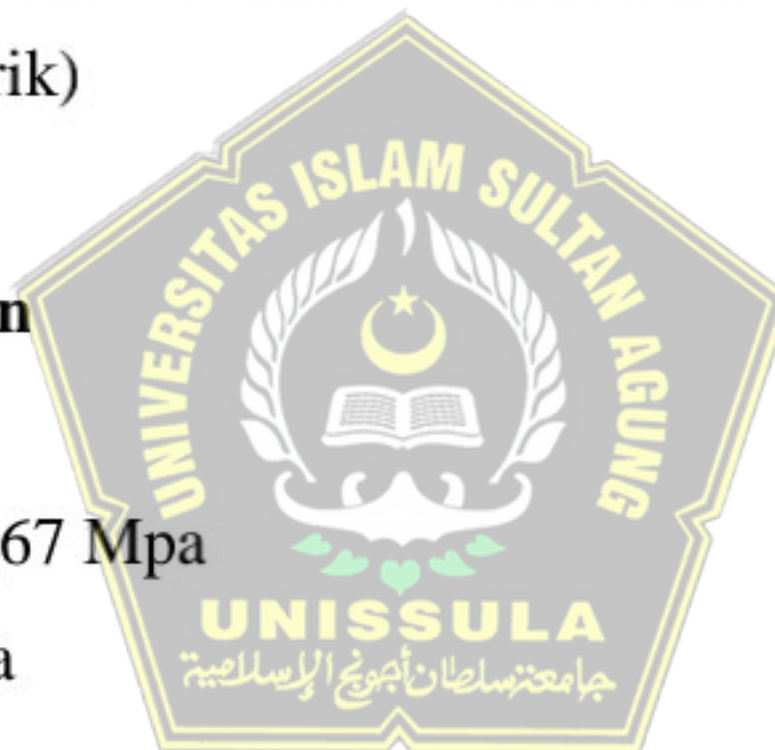
$$\Delta_{Pi} = \frac{-5 \cdot P_i \cdot e \cdot L^2}{48 \cdot E_{ci} \cdot I} = \frac{-5 \times 8509,81 \times 808 \times 36000^2}{48 \times 25,60098 \times 4,109 \times 10^{11}} = -88,24 \text{ mm (keatas)}$$

Defleksi akibat berat sendiri

$$\Delta_{bs} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{DL} \cdot L^4}{E_c \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,0224 \times 36000^4}{31,75545 \times 4,109 \times 10^{11}} = 37,54 \text{ mm (kebawah)}$$

Defleksi jangka panjang

$$\Delta_1 = 1,8 \Delta_{Pi} + 1,85 \Delta_{bs} = -89,38 \text{ mm (keatas)}$$



2) Lendutan akhir

Defleksi akibat beban hidup

$$\Delta_L = \frac{5}{384} \cdot \frac{qDL.L^4}{Ec.I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,01735 \times 36000^4}{31,75545 \times 4,109 \times 10^{11}} = 29,08 \text{ mm (kebawah)}$$

$$\text{Kontrol defleksi, } DL < \frac{L}{800} = \frac{36000}{800} = 45 \text{ mm OK!}$$

Defleksi jangka panjang total:

$$\Delta_2 = 2,45 \Delta_{Pi} + 2,7 \Delta_{bs} = -114,83 \text{ mm (keatas)}$$

Defleksi total:

$$\Delta_t = \Delta_2 - \Delta_1 + \Delta_L = 3,63 \text{ mm (kebawah)}$$



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

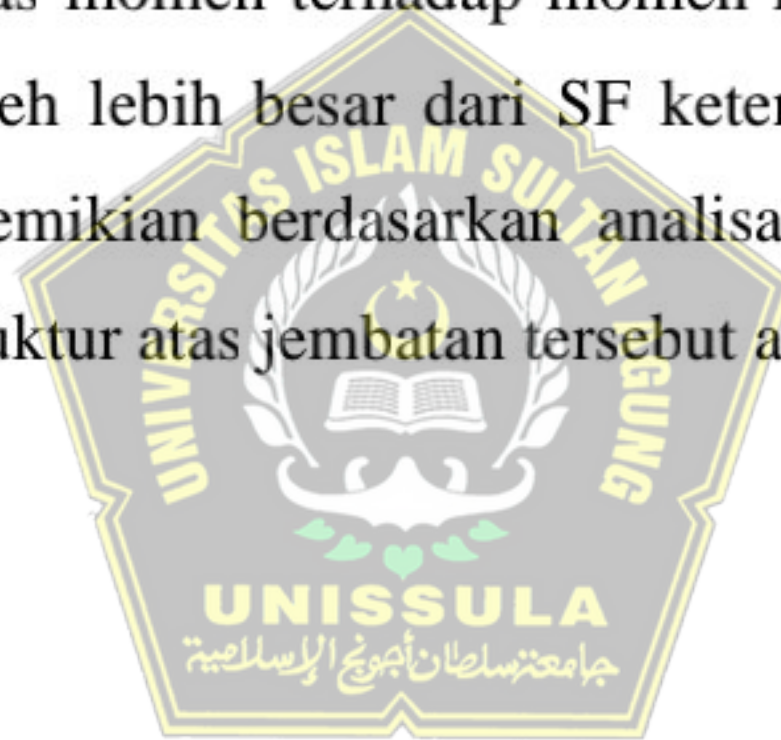
5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan, struktur bangunan atas jembatan layang jalan Tol Semarang – Demak adalah berupa jembatan dengan panjang 180 meter, terdiri dari lima bentang @ 36 meter dengan menggunakan sembilan balok Girder T-bulp berjarak 2,10 meter dan tebal plat lantai jembatan yang merupakan tebal sayap atas balok T-bulp 25cm, akan dapat menahan beban sesuai dengan Peraturan Pembebanan Jembatan dari SNI 1725 nomor 2016.

Dari analisa perhitungan momen peretakan penampang diperoleh momen maksimum yang dapat meretakan penampang adalah sebesar 10918,18 kN.m, dan diperiksa rasio kapasitas momen terhadap momen retak diperoleh SF 1,87, yang mana SF yang diperoleh lebih besar dari SF ketentuan pada Bina Marga yang sebesar 1,2 dengan demikian berdasarkan analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa struktur atas jembatan tersebut aman.

5.2. Saran

Mempertimbangkan hasil-hasil tersebut, maka disarankan untuk merancang dan menghitung struktur pondasi untuk mendapatkan hasil yang lengkap.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyu, KZ, 2019, *Proyek Tol Demak-Semarang Sepanjang 27 km dimenangkan PP dan Wika*. Diakses pada 25 Juli 2019 pada jam 10:07 <https://www.klikfakta.com/2019/07/proyek-tol-demak-semarang-sepanjang-27-km-dimenangkan-pp-dan-wika.html>
- [2] Lin, T.Y, & Burns, N.H., 1982, *Design of Prestressed Concrete Structur*, 3rded., John Wiley & Sons Inc., New York, USA.
- [3] Soetoyo, 2011, *Konstruksi Beton Pratekan*. Jakarta. Diakses pada 2011 <https://dokumen.tips/documents/konstruksi-beton-pratekan-ir-soetoyo-1-pendahuluan-seperti-.html>
- [4] Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2015. No. 07/SE/M/2015 tentang *Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan*.
- [5] Ditjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum. 1992. *Perencanaan Jembatan*.
- [6] Badan Standardisasi Nasional. 2016. *Pembebanan untuk Jembatan*. SNI 1725:2016. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. 2004. *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. RSNI T-12-2004. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.



LAMPIRAN





FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN
AGUNG SEMARANG

PERENCANAAN JEMBATAN
PADA JALAN TOL
SEMARANG-DEMAK

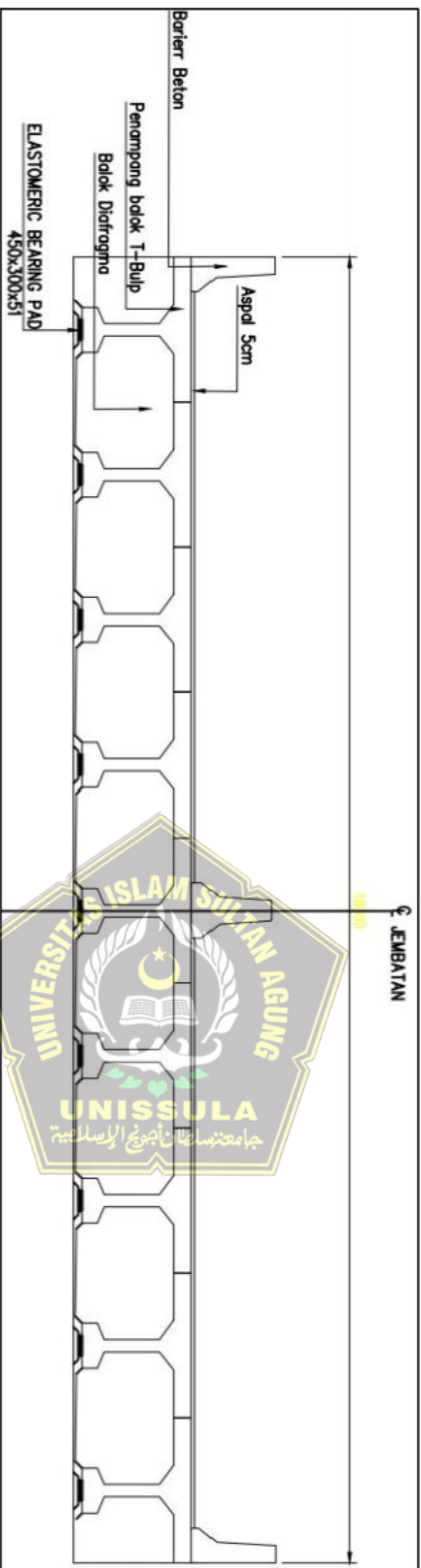
GAMBAR JEMBATAN T-Bulb

DIKERJAKAN:
1. HANIDA ISNA REZA P.
30201700077
2. HESTI WINARNI
30201700081

DIPERIKSA OLEH:

Ir. Gatot Rumbintardjo, M.R.Eng, Ph.D

SKALA	HALAMAN
1:10	
KETERANGAN:	

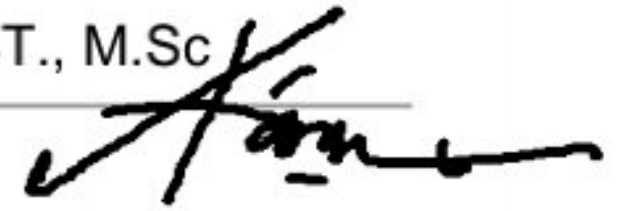


GAMBAR JEMBATAN T-Bulb
SKALA 1:10

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN LAYANG JALAN TOL SEMARANG-DEMAK

ORIGINALITY REPORT

Sudah diperiksa tgl 05/08/2021 oleh Ari Sentani, ST., M.Sc



23%

SIMILARITY INDEX

22%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	edoc.pub Internet Source	1 %
2	ejournal.itn.ac.id Internet Source	1 %
3	repositori.unsil.ac.id Internet Source	1 %
4	lib.unnes.ac.id Internet Source	1 %
5	doku.pub Internet Source	1 %
6	dokumen.tips Internet Source	1 %
7	repository.untag-sby.ac.id Internet Source	1 %
8	eprints.polsri.ac.id Internet Source	1 %
9	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	1 %



10	fr.scribd.com Internet Source	1 %
11	Submitted to Sultan Agung Islamic University Student Paper	1 %
12	idoc.pub Internet Source	1 %
13	digilib.unmuhjember.ac.id Internet Source	<1 %
14	frizalestari.blogspot.com Internet Source	<1 %
15	repository.ubb.ac.id Internet Source	<1 %
16	ejournal.ust.ac.id Internet Source	<1 %
17	media.neliti.com Internet Source	<1 %
18	dspace.uui.ac.id Internet Source	<1 %
19	zadoco.site Internet Source	<1 %
20	digilib.its.ac.id Internet Source	<1 %
21	www.scribd.com Internet Source	<1 %



22	digilib.polban.ac.id Internet Source	<1 %
23	tekniksipilblog006.wordpress.com Internet Source	<1 %
24	Submitted to iGroup Student Paper	<1 %
25	jurnal.umj.ac.id Internet Source	<1 %
26	ejurnal.untag-smd.ac.id Internet Source	<1 %
27	stt-pln.e-journal.id Internet Source	<1 %
28	adithhadi.blogspot.com Internet Source	<1 %
29	docplayer.info Internet Source	<1 %
30	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
31	paulusmarchel.wordpress.com Internet Source	<1 %
32	es.scribd.com Internet Source	<1 %
33	id.scribd.com Internet Source	<1 %



34	repository.stie-mce.ac.id Internet Source	<1 %
35	library.binus.ac.id Internet Source	<1 %
36	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
37	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
38	Repository.umy.ac.id Internet Source	<1 %
39	repository.unpar.ac.id Internet Source	<1 %
40	Nunung Widyaningsih, Sofyan Dimas Susena. "STUDI EVALUASI KEBUTUHAN PELAYANAN PEJALAN KAKI JALAN MERUYA SELATAN, KEMBANGAN, JAKARTA BARAT (DEPAN UNIVERSITAS MERCU BUANA)", Jurnal Pengembangan Rekayasa dan Teknologi, 2019 Publication	<1 %
41	eprints.itn.ac.id Internet Source	<1 %
42	eprints.uniska-bjm.ac.id Internet Source	<1 %
43	sastrasipilindonesia.wordpress.com Internet Source	<1 %

44	yakaligapunyablog.blogspot.com Internet Source	<1 %
45	Mulyadi Mulyadi, M. Ichwanul Yusup, Bambang Hariyanto. "PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN ATAS JEMBATAN RANGKAS PANJANG KECAMATAN KRAGILAN KABUPATEN SERANG", Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE), 2020 Publication	<1 %
46	ejurnal.itenas.ac.id Internet Source	<1 %
47	publication.petra.ac.id Internet Source	<1 %
48	www.klikfakta.com Internet Source	<1 %
49	repository.usd.ac.id Internet Source	<1 %
50	e-jurnal.pnl.ac.id Internet Source	<1 %
51	eprints.ums.ac.id Internet Source	<1 %
52	id.123dok.com Internet Source	<1 %
53	Submitted to Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya Student Paper	<1 %

54	repository.uinjkt.ac.id Internet Source	<1 %
55	Submitted to University of Balamand Student Paper	<1 %
56	123dok.com Internet Source	<1 %
57	core.ac.uk Internet Source	<1 %
58	jurnal.unismuhpalu.ac.id Internet Source	<1 %
59	repository.ummat.ac.id Internet Source	<1 %
60	Submitted to Udayana University Student Paper	<1 %
61	adoc.tips Internet Source	<1 %
62	eprints.uns.ac.id Internet Source	<1 %
63	1library.net Internet Source	<1 %
64	Submitted to Universitas Tidar Student Paper	<1 %
65	asiacon.co.id Internet Source	<1 %



66	barakalap.wordpress.com Internet Source	<1 %
67	journal.eng.unila.ac.id Internet Source	<1 %
68	www.digilib.its.ac.id Internet Source	<1 %
69	Sihabudin Sihabudin, Bambang Hariyanto, M Ichwanul Yusup. "PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN BAWAH JEMBATAN RANGKAS PANJANG KECAMATAN KRAGILAN KABUPATEN SERANG", Journal of Sustainable Civil Engineering (JOSCE), 2021 Publication	<1 %
70	ejournal.upnjatim.ac.id Internet Source	<1 %
71	eprints.itenas.ac.id Internet Source	<1 %
72	repo.itera.ac.id Internet Source	<1 %
73	repository.ar-raniry.ac.id Internet Source	<1 %
74	repository.bakrie.ac.id Internet Source	<1 %
75	Taly, . "Loads on Highway Bridge Structures", Highway Bridge Superstructure Engineering,	<1 %

2014.
Publication

76	docobook.com Internet Source	<1 %
77	documents.tips Internet Source	<1 %
78	earchive.tpu.ru Internet Source	<1 %
79	jurnal.ugj.ac.id Internet Source	<1 %
80	library.universitaspertamina.ac.id Internet Source	<1 %
81	repository.undhirabali.ac.id Internet Source	<1 %
82	Paterson, C., Wilson, S. K., Duffy, B. R.. "Strongly coupled interaction between a ridge of fluid and an inviscid airflow", 'AIP Publishing', 2015 Internet Source	<1 %
83	etheses.uin-malang.ac.id Internet Source	<1 %
84	moam.info Internet Source	<1 %
85	muhfarhan56.blogspot.com Internet Source	<1 %

86

repository.its.ac.id
Internet Source

<1 %

87

repository.ub.ac.id
Internet Source

<1 %

88

qdoc.tips
Internet Source

<1 %

89

repository.unpas.ac.id
Internet Source

<1 %

Exclude quotes Off
Exclude bibliography Off

Exclude matches Off





YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024)6583584 (8 sal) Fax. 6582455.
Email: informasi@unissula.ac.id web: www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

**DOSEN PENGUJI
SEMINAR TUGAS AKHIR**

Hari : Kamis
Tanggal : 22 Juli 2021
Jam : 13.00 WIB

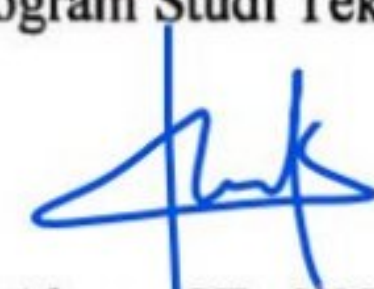
Judul Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Atas Jembatan Access Sayang Dengan Balok Prategang

1	Hanida Isna Reza Pahlevi	30201700077	1
2	Hesti Winarni	30201700081	2

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng	
2	Ir. Gatot Rusbintardjo, Msc.,Ph.D	
3	M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng	

Semarang, 22 Juli 2021
Ketua Program Studi Teknik Sipil


M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng

NIK. 210216089



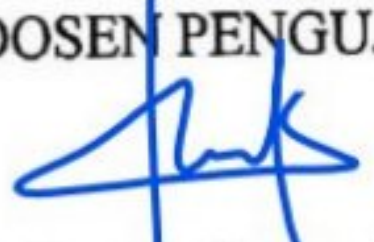
YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax. (024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM : Hanida Ima P-P / 30201900077 ; Hesti Winarni / 30201900081
Hari / Tanggal : Kamis, 22 Juli 2021
Judul TA : Perencanaan Struktur Atas Jembatan Layang Jalan Tol Semarang - Demak

NO	
1	- PDF halaman 5 - Laporan dari Mr. word dicetak kedalam format pdf, jangan disusun dalam format picture
2	- Abstrak dibuat ke dalam 3 paragraf : latar belakang, metode, hasil. - PDF halaman sg. gunakan lo kombinasi : kuat 1, kuat 2, dlt ; ekstim 1,2 dst - Bab IV (tentang hasil dan diskusi). Perhatikan urutan pengerjaan yang
3	Pertama adalah perhitungan pembebanan jembatan, kedua analisis struktur untuk mencari gaya dalam, yang ketiga desain struktur untuk mencari tingkat kenyamanan pengguna
4	- PDF hal 91-95 setiap gambar dan tabel harus ada judul dan deskripsi penjelasannya. - kesimpulan (PDF hal 96) harus menjawab tujuan penelitian (PDF hal 218) - Berikan rangkuman parameter hasil desain struktur : mutu material, jumlah tendon,
5	untasan tendon, jumlah tulangan, gambar penampang, dsb. - Penulisan desimal - tabel dibuat sebagai teks, tidak boleh crop dari printscreen.
DOSEN PENGUJI  M. Rusli Ahyar, ST, M. Eng	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax.(024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM : Hanida Isha R.P / 30201900077 ; Hesti Winarni / 30201900081
Hari / Tanggal : Kamis, 22 Juli 2021
Judul TA : Perencanaan Struktur Atas Jembatan Layang Jalan Tol Semarang - Demak

NO	
1	JUDUL AKADEMIK
2	"PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN LAYANG JALAN TOL SEMARANG - DEMAK DI PANGUNG"
3	Hal 38, 24 DETIL TERBUKA.
4	
5	

DOSEN PENGUJI





YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax (024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / NIM : Hanida Ina Peta P / 30201900077 ; Hesti Winarni / 30201700081
Hari / Tanggal : Kamis, 22 Juli 2021
Judul TA : Perencanaan Struktur Atas Jembatan
Layang Jalan Tol Semarang - Demak

NO	
1	- Setiap gambar dan tabel diberi keterangan dan direbut dalam teks - Beri satuan pada daftar ringkasan - Penulisan desimal dua angka dibelakang koma
2	- Notasi persamaan
3	
4	
5	

DOSEN PENGUJI

Lisa Fitriyana, S.T., M. Eng.



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km 4 Semarang 50112 Telp. (024) 6583584 (8 Sal) Fax (024) 6582455
email : informasi@unissula.ac.id web : www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

SEMINAR TUGAS AKHIR
MAHASISWA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

Hari : Kamis
Tanggal : 22 Juli 2021
Tempat :

NO	NAMA	NIM	TANDA TANGAN
1	Aisyah Rizkang		1
2	Alma Mra		2
3	Ana Khoirunnada Fiqiyanto		3
4	Citra Dian		4
5	Dera Kartika Puspa Mega		5
6			6
7			7
8			8
9			9
10			10
11			11
12			12
13			13
14			14
15			15
16			16
17			17
18			18
19			19
20			20
MENGETAHUI			
DOSEN PENGUJI		DOSEN PENGUJI	



UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024)6583584 (8 sal) Fax. 6582455.

Email: Informasi@unissula.ac.id web: www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

Nomor : 06 / A.3 / SA – T / VII / 2021

Pada hari in, Kamis Tanggal 22 Juli 2021 telah dilaksanakan

Seminar Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut :

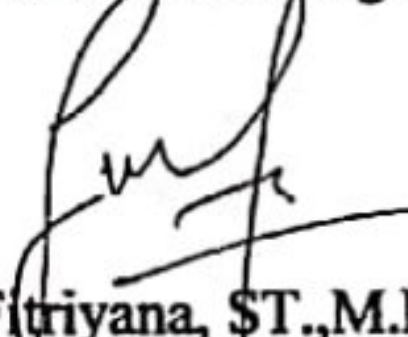
1 Nama	Hanida Isna Reza P	30201700077
2 Nama	Hesti Winarni	30201700081

Judul TA Perencanaan Struktur Atas Jembatan *LAHAN JALAN DOLO - D*
DAUNAN *Access Sayung dengan Balok Prategang*

Dengan Hasil : *Di terima dengan perbaikan*
perbaikan kebetulan
konstruksi

Demikian berita acara seminar tugas akhir ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya.

Dosen Pembimbing I


Lisa Fitriyana, ST., M.Eng

Dosen Pembimbing II


Ir. Gatot Rusbintardjo, Msc., Ph.D

Dosen Pembimbing


M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng


Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
Jl. Raya Kaligawe Km.4 Semarang 50112 Telp. (024)6583584 (8 sal) Fax. 6582455.
Email: informasi@unissula.ac.id web: www.unissula.ac.id

FAKULTAS TEKNIK

Bismillah Membangun Generasi Khaira Ummah

**JUDUL TUGAS AKHIR
DALAM BAHASA INGGRIS**

Hari
Tanggal
Jam

Kamis
22 Juli 2021
13.00 WIB

Judul Tugas Akhir

Perencanaan Struktur Atas Jembatan Access Sayung Dengan Balok Prategang

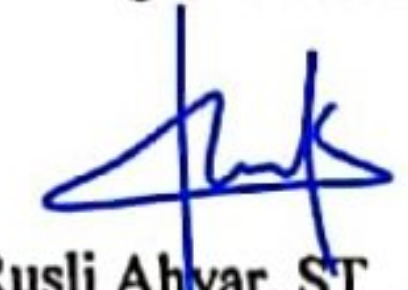
JUDUL TUGAS AKHIR DALAM BAHASA INGGRIS

Struktural planning of the superstructure of Semarang - Demak toll road flyover.

1	Hanida Isna Reza Pahlevi	30201700077	1
2	Hesti Winarni	30201700081	2

NO	NAMA	TANDA TANGAN
1	Lisa Fitriyana, ST.,M.Eng	
2	Ir. Gatot Rusbintardjo, Msc.,Ph.D	

Semarang, 22 Juli 2021
Ketua Program Studi Teknik Sipil


M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng
NIK. 210216089