

SKRIPSI
PERANCANGAN BETON PRATEGANG TIPE *I-GIRDER*
PADA JEMBATAN SAMOTA SUMBAWA

Diajukan Sebagai Syarat Menyelesaikan Studi
Pada Program Studi Teknik Sipil Jenjang Strata I
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram



DISUSUN OLEH :

NOVI SURYADITA RAHMADANI
2019D1B096

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMDIYAH MATARAM
2023

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

TUGAS AKHIR / SKRIPSI

**PERANCANGAN BETON PRATEGANG TIPE *I-GIRDER*
PADA JEMBATAN SAMOTA SUMBAWA**

Disusun Oleh:

NOVI SURYADITA RAHMADANI
2019D1B096

Mataram, 20 Juni 2023

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I


Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng)
NIDN. 0027107301

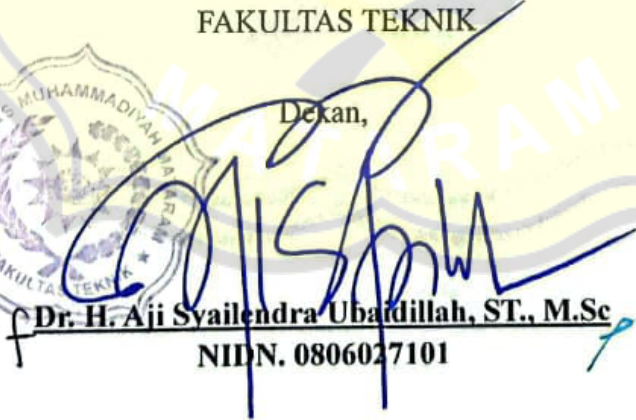
Pembimbing II


Nurul Hidayati, ST., M. Eng
NIDN. 0815049401

Mengetahui.

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
FAKULTAS TEKNIK

Dekan,


Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc
NIDN. 0806027101

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI
TUGAS AKHIR / SKRIPSI
**PERANCANGAN BETON PRATEGANG TIPE I-GIRDER
PADA JEMBATAN SAMOTA SUMBAWA**

Disusun Oleh:

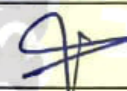
NOVI SURYADITA RAHMADANI
2019D1B096

Telah dipertahankan didepan Tim Penguji

Pada hari Sabtu, 24 Juni 2023

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

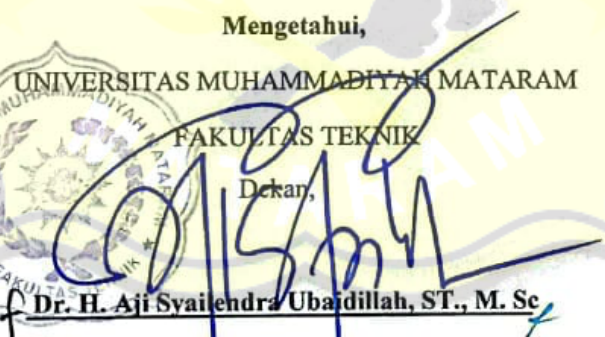
- | | | |
|----------------|--------------------------------------|---|
| 1. Penguji I | : Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng) |  |
| 2. Penguji II | : Nurul Hidayati, ST., M. Eng |  |
| 3. Penguji III | : Maya Saridewi Pascanawaty, ST., MT |  |

Mengetahui,

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

FAKULTAS TEKNIK

Dekan,


Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M. Sc

NIDN. 0806027101

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Novi Suryadita Rahmadani
NIM : 2019D1B096
Fakultas/Prodi : Teknik/Teknik Sipil
Judul Skripsi : “Perancangan Beton Prategang Tipe *I-Girder* Pada Jembatan Samota Sumbawa”

Menyatakan dengan benar-benar bahwa skripsi dengan judul “Perancangan Beton Prategang Tipe *I-Girder* Pada Jembatan Samota Sumbawa” adalah hasil karya tulis sendiri dan tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik suatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diberikan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebut dalam sumber kutipan pada daftar pustaka.

Apabila didalam naskah skripsi ini terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini untuk digunakan dan gelar akademik yang telah saya peroleh strata satu (S-1) dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003 Pasal 25 ayat 2 dan ayat 27).

Demikian, pernyataan ini saya buat tanpa paksaan dan tekanan dari pihak manapun serta dalam keadaan sadar akan tanggungjawab dan konsekuensi tersebut.

Mataram, 29 Juni 2023

Yang membuat pernyataan



(NOVI SURYADITA RAHMADANI)
NIM. 2019D1B096



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Novi Suryadita Rahmadani
NIM : 2019013096
Tempat/Tgl Lahir : Ampanan, 30 November 2000
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp : 087755157447
Email : novisuryadita0730@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

Perancangan Beton Prategang Tipe I- Girder Pada Jembatan
Samota Sumbawa

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 37%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milih orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya **bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum** sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikain surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 05 Juli 2023
Penulis

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

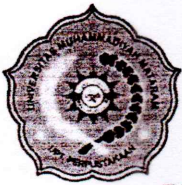


Novi Suryadita Rahmadani
NIM. 2019013096



Iskandar, S.Sos.,M.A.
NIDN. 0802048904

*pilih salah satu yang sesuai



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT**

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

**SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Novi Suryadita Rahmadani
NIM : 2019018096
Tempat/Tgl Lahir : Ampenan, 30 November 2000
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 087755157447
Jenis Penelitian : ☒ Skripsi ☐ KTI ☐ Tesis ☐

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama ***tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta*** atas karya ilmiah saya berjudul:

Perancangan Beton Prategang Tipe I-Girder Pada Jembatan
Samota Sumbawa

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

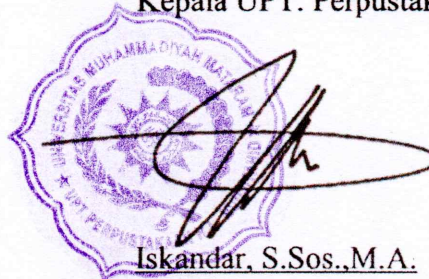
Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, 05 Juli 2023
Penulis

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Novi Suryadita Rahmadani
NIM. 2019018096



Iskandar, S.Sos.,M.A.
NIDN. 0802048904

HALAMAN MOTTO

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”
- QS. Al-Insyirah:6

***“Aku mencintai permasalahanku, karena kutahu yang memberi permasalahan
juga mencintaiku”***
- Jalaludin Rumi

“That’s okay”
- D.O.

“Your time is yet to come, be patient and utilize every second of it!”

“Pasisi sipapasi si apasii sii sii”
- Opet



PRAKATA PENULIS

Dengan mengucapkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT atas limpahan Rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“PERANCANGAN BETON PRATEGANG TIPE *I-GIRDER* PADA JEMBATAN SAMOTA SUMBAWA”** shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta para sahabat dan keluarga beliau yang patut menjadi suri tauladan yang baik dalam menjalankan kehidupan dunia.

Tugas akhir ini merupakan bagian dari salah satu kurikulum yang wajib diikuti bagi setiap mahasiswa guna memperoleh derajat kesarjanaan S-1 pada program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram. Untuk itu perkenankan penulis menghaturkan ucapan terimakasih kepada:

1. Drs. Abdul Wahab, M.A. selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M. Sc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Adryan Fitrayudha, ST., MT., selaku ketua Kaprodi Rekayasa Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng) selaku Dosen Pembimbing Utama.
5. Nurul Hidayati, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bantuannya selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
6. Semua pihak yang telah terlibat.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun sangat penulis butuhkan dimasa depan.

Mataram, 29 Juni 2023

Novi Suryadita Rahmadani

ABSTRAK

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai atau saluran irigasi, lembah atau melintasi jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Jembatan Samota adalah jembatan yang melintasi Sungai Brang Biji, Labuan Sumbawa, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Jembatan Samota akan direncanakan ulang (*redesign*) menggunakan beton prategang dengan jenis balok girder yang digunakan adalah *PC I Girder (Prestressed Concrete I Girder)* dengan bentang 80 m dan lebar 11 m untuk mengetahui kemampuan menahan beban-beban yang bekerja pada jembatan, sehingga didapat suatu struktur jembatan yang aman.

Perencanaan dimulai dengan pengumpulan data-data yang diperlukan seperti panjang dan lebar jembatan, lebar trotoar dan lainnya. Dasar perencanaan jembatan yang digunakan adalah Pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016) dan Perencanaan jembatan terhadap beban gempa (SNI 2833:2016). Data-data perencanaan tersebut kemudian digunakan sebagai perencanaan awal penampang dan perhitungan pembebanan. Adapun penampang yang akan didesain menggunakan *PC I-Girder (Precast Concrete I Girder)* standar dari PT Waskita Precast Tbk. Pada tahap awal perencanaan yang dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi utama seperti tiang sandaran, lantai kendaraan sampai analisa pembebanan yang terjadi yaitu analisa beban sendiri, beban mati, beban mati tambahan, pengaruh temperatur, pengaruh susut dan rangkai, gaya rem, beban gempa, beban angin, analisa kehilangan prategang, lendutan serta momen. Kemudian, dilakukan perhitungan penulangan pada *PC I-Girder* sampai kepada perencanaan elastomer jembatan.

Hasil dari perencanaan Jembatan Samota dengan bentang 80 m (40+40) didapatkan tinggi *PC I-Girder* adalah 2.10 m yang terdiri dari 4 tendon 2 dikiri dan 2 dikanan dengan 12 *strands* pada setiap tendon. Diameter *strands* 15.24 mm dan diameter *duct* 85 mm. Beban yang diterima *PC- I Girder* adalah 636777.600 kg.m untuk beban mati sendiri (MS), 59153.044 kg.m untuk beban mati tambahan (MA), 406980 kg.m untuk beban lajur "D", 8183.250 kg.m untuk gaya rem, 3003.250 kg.m untuk beban angin dan 179378.728 kg.m untuk beban gempa. Total kehilangan prategang akibat gesekan ankur, gesekan pada kabel, akibat rangkai dan susut, relaksasi dan perpendekan elastis beton adalah 2965.791 kN dengan presentase kehilangan prategang 29.626%.

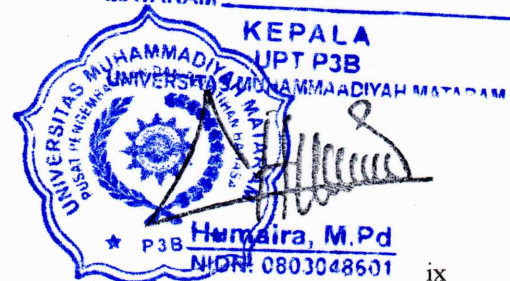
Kata Kunci : Jembatan, Beton Prategang *PC I Girder*, Jembatan Samota

ABSTRACT

The bridge serves as a structural edifice facilitating the passage of roads over bodies of water, irrigation canals, valleys, or other roads that are not at the same elevation. The Samota Bridge, situated in the Sumbawa Regency of West Nusa Tenggara, spans the Brang Biji River. The reconstruction of the Samota Bridge will entail the utilization of prestressed concrete, specifically employing PC I Girder (Prestressed Concrete I Girder) beams measuring 80 meters in length and 11 meters in width. This redevelopment aims to assess the bridge's capacity to withstand applied loads, ensuring its structural integrity. The planning process commences with the collection of pertinent data, encompassing bridge dimensions, sidewalk width, and other relevant parameters. The bridge planning is based on the Loading for Bridges (SNI 1725:2016) and the Bridge Planning against Earthquake Loads (SNI 2833:2016) standards. The acquired planning data is then employed to initiate the initial cross-sectional planning and loading calculations. The designated cross-section follows the design specifications of a standard PC I-Girder (Precast Concrete I Girder) sourced from PT Waskita Precast Tbk. The initial stages of planning involve determining key dimensions, such as support beams and vehicle floor, and conducting a comprehensive analysis of applied loads, including self-loads, dead loads, additional dead loads, temperature effects, shrinkage and creep effects, braking forces, seismic loads, wind loads, prestress loss analysis, deflection, and moment. Subsequently, reinforcement calculations are performed on the PC I-Girder, culminating in the elastomeric design of the bridge. The planning results for the Samota Bridge with an 80-meter span (40+40) reveal that the PC I-Girder has a height of 2.10 meters, comprising four tendons (two on each side) with 12 strands per tendon. The strands possess a diameter of 15.24 millimeters, while the ducts exhibit a diameter of 85 millimeters. The applied loads experienced by the PC I-Girder are as follows: 636,777.600 kg.m for self-loading (MS), 59,153.044 kg.m for additional dead load (MA), 406,980 kg.m for lane "D" load, 8,183.250 kg.m for brake force, 3,003.250 kg.m for wind loads, and 179,378.728 kg.m for earthquake loads. The total prestress loss, attributed to anchor friction, cable friction, creep and shrinkage, relaxation, and elastic shortening of the concrete, amounts to 2965.791 kN, corresponding to a prestress loss percentage of 29.626%.

Keywords: Bridge, PC I Girder Prestressed Concrete, Samota Bridge

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
HALAMAN PENGESAHAN KEASLIAN	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS.....	vi
HALAMAN MOTTO	vii
PRAKATA.....	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xx
DAFTAR SINGKATAN	xxii
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka.....	4
2.2. Landasan Teori	6
2.2.1. Pengertian jembatan	6
2.2.2. Jembatan gelagar beton	7
2.2.3. Jenis jenis girder jembatan	8
2.3. Dasar-dasar Perencanaan Jembatan	11

2.4. Analisa Pembebanan Jembatan.....	11
2.4.1. Beban permanen (mati)	11
2.4.2. Beban lalu lintas	13
2.4.3. Gaya rem (TB).....	16
2.4.4. Beban pejalan kaki (TP)	16
2.4.5. Beban angin (EW)	16
2.4.6. Gaya akibat perbedaan suhu (EUn).....	18
2.4.7. Beban gempa (EQ)	20
2.4.8. Pengaruh rangkai dan susut (SH)	21
2.4.9. Pengaruh prategang (PR).....	21
2.5. Kombinasi Pembebanan	22
2.6. Beton Prategang.....	24
2.7. Konsep Beton Prategang.....	26
2.8. Material Beton Prategang	26
2.8.1. Beton prategang.....	26
2.8.2. Baja prategang	27
2.8.3. Kontrol tegangan setelah kehilangan gaya prategang	28
2.9. Kehilangan Gaya Prategang.....	29
2.9.1. Kehilangan elastis segera (<i>immediate elastic losses</i>)	30
2.9.2. Kehilangan prategang jangka panjang	32
2.10. Pekerjaan <i>Prestressing</i>	35
BAB III METODELOGI PERENCANAAN.....	37
3.1. Lokasi Perencanaan	37
3.2. Data Konstruksi Jembatan	37
3.3. Analisis Data.....	39
3.4. Studi Literatur	39
3.5. Tahapan Penelitian.....	40
3.6. Langkah Umum Perencanaan Struktur	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1. Perhitungan Struktur Atas Jembatan.....	42

4.1.1. Perhitungan tiang sandaran	42
4.1.2. Perencanaan kerb.....	50
4.1.3. Perencanaan trotoar	54
4.1.4. Pelat lantai jembatan	60
4.1.5. <i>Deck slab precast</i>	73
4.1.6. Diafragma	78
4.1.7. Balok prategang bentang 40 m.....	84
4.1.7.1 Pendimensian dan analisis penampang <i>I-Girder</i> bentang 40 m.....	84
4.1.7.2 Analisis pembebanan gelagar bentang 40 m	91
4.1.7.3 Kombinasi beban bentang 40 m.....	112
4.1.7.4 Gaya prestress, eksentrisitas dan jumlah tendon bentang 40 m	113
4.1.7.5 Kehilangan gaya prategang bentang 40 m	126
4.1.7.6 Tegangan yang terjadi pada <i>I-Girder</i> bentang 40 m.....	134
4.1.7.7 Lendutan <i>I-Girder</i> bentang 40 m	160
4.1.7.8 Tinjauan momen ultimit <i>I-Girder</i> bentang 40 m.....	170
4.1.7.9 Penulangan <i>end block</i> bentang 40 m	177
4.1.7.10 Penulangan <i>I-Girder</i> bentang 40 m.....	182
4.1.7.11 Perhitungan penghubung geser (<i>shear connector</i>)	189
4.1.8. Perencanaan bantalan elastomer.....	192
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	197
5.1. Kesimpulan	197
5.2. Saran	198
DAFTAR PUSTAKA	199
LAMPIRAN.....	200

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian-bagian jembatan	6
Gambar 2.2	Jembatan gelagar beton.....	8
Gambar 2.3	<i>PC I-Girder</i>	9
Gambar 2.4	<i>PC U-Girder</i>	9
Gambar 2.5	<i>Box Girder</i>	10
Gambar 2.6	<i>PC voided slab</i>	10
Gambar 2.7	Beban lajur “ <i>D</i> ”	14
Gambar 2.8	Pembebanan truk “ <i>T</i> ”	15
Gambar 2.9	Prinsip pra-tarik (<i>pre-tension</i>)	25
Gambar 2.10	Prinsip pasca-tarik (<i>post-tension</i>)	26
Gambar 2.11	Jenis-jenis baja yang dipakai untuk beton prategang	28
Gambar 2.12	<i>Duct</i> pembungkus beton	35
Gambar 2.13	Angkur pada girder (angkur hidup dan ankur mati)	35
Gambar 3.1	Lokasi jembatan.....	37
Gambar 3.2	Angkur hidup tipe SA (Annex 1).....	38
Gambar 3.3	Angkur mati tipe SA (Annex 1).....	38
Gambar 3.4	Potongan <i>existing</i> jembatan	39
Gambar 3.5	Bagan alir penelitian	41
Gambar 4.1	Desain tiang sandaran	42
Gambar 4.2	Pembebanan pada pipa sandaran	43
Gambar 4.3	Pembebanan (beban merata) pada pipa sandaran	44
Gambar 4.4	Diameter pipa sandaran	45
Gambar 4.5	Beban hidup <i>railing</i>	46
Gambar 4.6	Detail tulangan tiang sandaran.....	50
Gambar 4.7	Pembebanan pada kerb	50
Gambar 4.8	Detail tulangan kerb.....	54
Gambar 4.9	Pembebanan berat sendiri trotoar	55

Gambar 4.10	Pembebanan berat beban hidup	56
Gambar 4.11	Detail tulangan <i>slab</i> lantai trotoar.....	60
Gambar 4.12	Kondisi batas plat beton.....	60
Gambar 4.13	Penyebaran beban roda	62
Gambar 4.14	Beban hidup kondisi I.....	62
Gambar 4.15	Beban hidup kondisi II dengan roda	63
Gambar 4.16	Beban hidup kondisi III	64
Gambar 4.17	Garis netral untuk menentukan nilai a dan b arah melintang	69
Gambar 4.18	Garis netral untuk menentukan nilai a dan b arah memanjang.....	72
Gambar 4.19	Dimensi <i>deck slab precast</i>	73
Gambar 4.20	Dimensi balok diafragma.....	79
Gambar 4.21	Detail tulangan diafragma.....	83
Gambar 4.22	Bentuk dan dimensi PC I H210	84
Gambar 4.23	Garis netral penampang gelagar prategang (L= 40 m)	86
Gambar 4.24	Penampang gelagar komposit (L= 40 m).....	88
Gambar 4.25	Garis netral penampang gelagar komposit (L=40 m)	90
Gambar 4.26	Beban merata akibat berat sendiri gelagar.....	91
Gambar 4.27	Beban terpusat akibat berat diafragma	93
Gambar 4.28	Beban merata akibat beban mati sendiri (L=40 m)	95
Gambar 4.29	Diameter pipa.....	98
Gambar 4.30	Beban merata akibat beban mati tambahan (L=40 m).....	98
Gambar 4.31	Beban lajur “D”	100
Gambar 4.32	Faktor beban dinamis untuk bentang 40 m.....	101
Gambar 4.33	Letak gaya rem (L=40 m).....	104
Gambar 4.34	Beban merata akibat beban gempa (L=40 m).....	110
Gambar 4.35	Rencana <i>layout</i> tendon.....	116
Gambar 4.36	Posisi tendon ditengah bentang	117

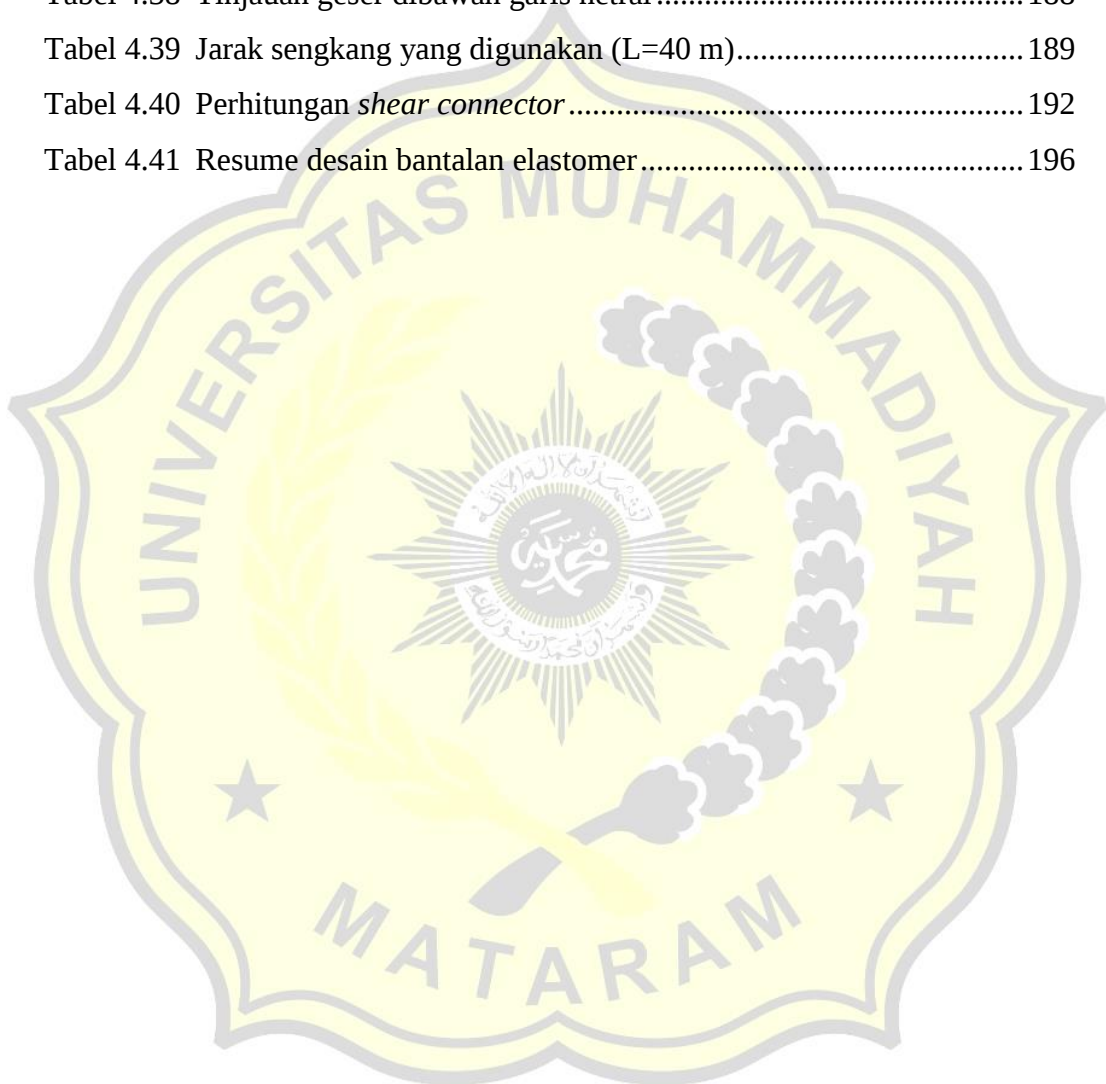
Gambar 4.37 Posisi tendon ditumpuan bentang	119
Gambar 4.38 Kepala angkur	120
Gambar 4.39 Plat angkur	120
Gambar 4.40 Trumpet tipe A.....	121
Gambar 4.41 Daerah lintasan tendon	126
Gambar 4.42 Tegangan ditengah bentang saat transfer (L=40 m)	135
Gambar 4.43 Tegangan ditengah bentang saat <i>lost of prestress</i> (L=40 m).....	137
Gambar 4.44 Tegangan ditengah bentang setelah plat lantai dicor (L=40 m).....	139
Gambar 4.45 Tegangan akibat beban mati sendiri (L=40 m).....	143
Gambar 4.46 Posisi <i>end block</i> pada tumpuan.....	177
Gambar 4.47 Letak titik berat.....	178
Gambar 4.48 Pelat angkur	179
Gambar 4.49 Sengkan <i>bursting force</i> yang digunakan	182
Gambar 4.50 Pembagian gelagar penampang I	182
Gambar 4.51 Gaya-gaya yang terjadi pada tendon.....	184
Gambar 4.52 Desain elastomer rencana	196

DAFTAR TABEL

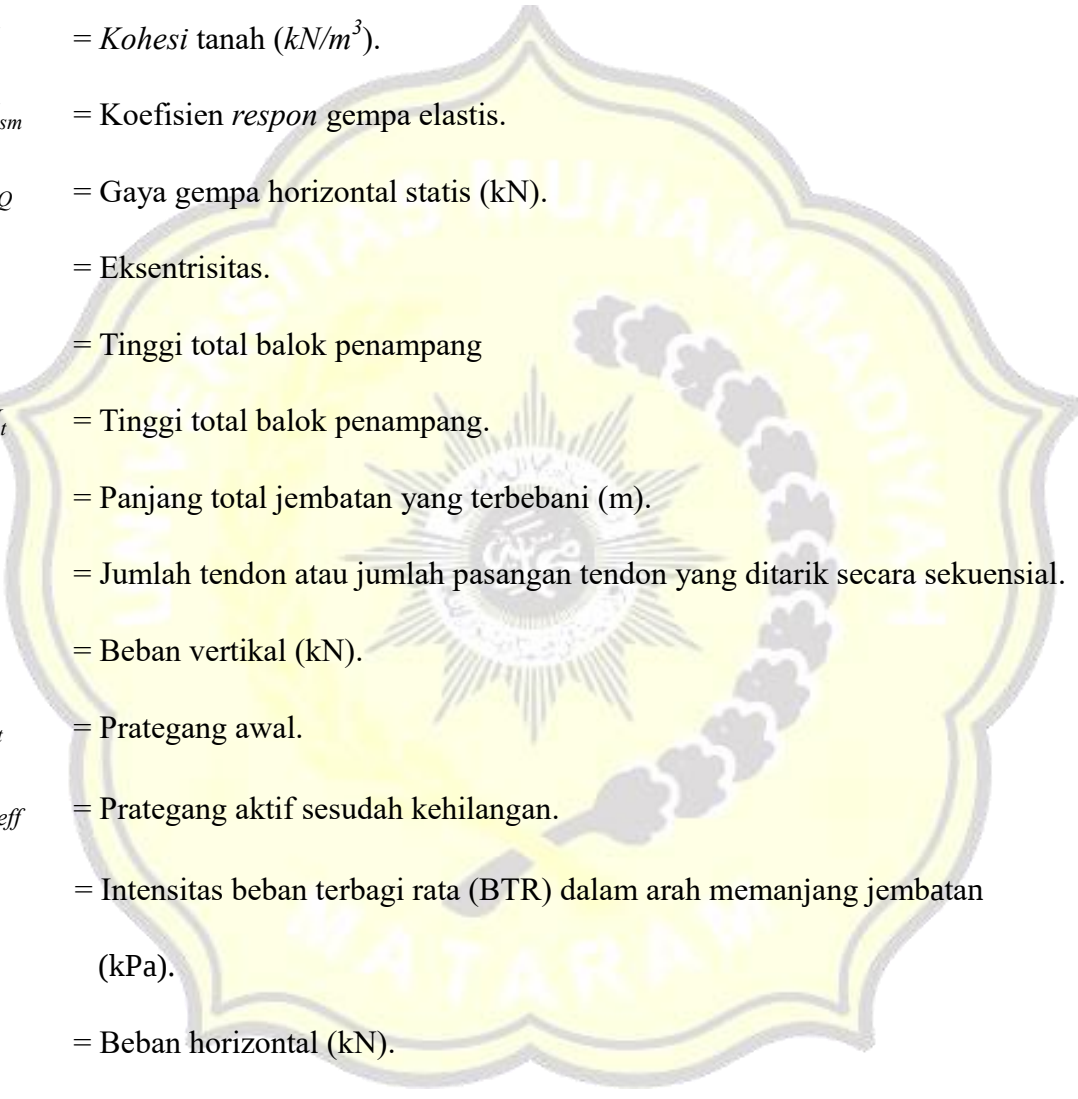
Tabel 2.1	Berat isi untuk beban	11
Tabel 2.2	Faktor beban untuk berat sendiri	12
Tabel 2.3	Faktor beban untuk beban mati tambahan.....	12
Tabel 2.4	Faktor beban untuk beban lajur “D”	13
Tabel 2.5	Faktor beban untuk beban lajur “T”	15
Tabel 2.6	Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai varian kondisi permukaan hulu....	17
Tabel 2.7	Tekanan angin dasar	18
Tabel 2.8	Tekanan angin yang bekerja pada kendaraan.....	18
Tabel 2.9	Temperatur jembatan rata-rata nominal	19
Tabel 2.10	Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur.....	20
Tabel 2.11	Faktor beban akibat susut dan rangkai	21
Tabel 2.12	Faktor beban akibat pengaruh prategang.....	21
Tabel 2.13	Kombinasi pembebanan dan gaya	22
Tabel 2.14	Koefisien-koefisien kelengkungan dan <i>wobble</i>	32
Tabel 2.15	Koefisien susut (nilai K_{SH}).....	34
Tabel 4.1	Berat sendiri dan momen pada trotoar.....	55
Tabel 4.2	Gaya dan momen akibat beban hidup	56
Tabel 4.3	Rekapitulasi momen	66
Tabel 4.4	Hasil analisis penampang gelagar prategang (L=40 m)	85
Tabel 4.5	Hasil analisis penampang gelagar komposit (L= 40 m)	89
Tabel 4.6	Perhitungan momen dan gaya geser akibat berat sendiri balok (L= 40 m).....	92
Tabel 4.7	Perhitungan momen dan gaya geser akibat diafragma (L= 40 m).....	94
Tabel 4.8	Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban mati sendiri (beban merata)	96
Tabel 4.9	Perhitungan beban tambahan (L= 40 m)	98

Tabel 4.10 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban mati tambahan (L= 40 m)	99
Tabel 4.11 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban lajur “D” (L= 40 m)	102
Tabel 4.12 Perhitungan momen dan gaya geser akibat gaya rem (L=40 m) ...	105
Tabel 4.13 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban angin (L= 40 m)	107
Tabel 4.14 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban gempa (L= 40 m)	111
Tabel 4.15 Rekapitulasi momen dan gaya geser maksimum (L= 40 m)	112
Tabel 4.16 Kombinasi momen maksimum (L= 40 m)	112
Tabel 4.17 Kombinasi gaya geser maksimum (L= 40 m)	113
Tabel 4.18 Momen statis terhadap pusat tendon	118
Tabel 4.19 Eksentrisitas masing-masing tendon	119
Tabel 4.20 Lintasan inti tendon	122
Tabel 4.21 Sudut angkur	123
Tabel 4.22 Tata letak dan <i>trace</i> kabel tendon (L= 40 m)	124
Tabel 4.23 Momen akibat temperatur	153
Tabel 4.24 Rekapitulasi tegangan yang terjadi akibat beban (L=40 m)	154
Tabel 4.25 Rekapitulasi kombinasi tegangan yang terjadi pada gelagar I dengan bentang (L = 40 m)	160
Tabel 4.26 Rekapitulasi lendutan yang terjadi akibat beban (L=40 m)	167
Tabel 4.27 Rekapitulasi kombinasi lendutan (L= 40 m)	170
Tabel 4.28 Rekapitulasi momen akibat balok (L= 40 m)	174
Tabel 4.29 Rekapitulasi momen balok ultimit	177
Tabel 4.30 Data angkur	178
Tabel 4.31 Momen statis luasan bagian atas penampang (Sxa)	179
Tabel 4.32 Momen statis luasan bagian bawah (Sxb)	179
Tabel 4.33 Perhitungan sengkang arah vertikal	181

Tabel 4.34	Perhitungan sengkang arah horizontal.....	181
Tabel 4.35	Jumlah sengkang yang digunakan untuk <i>bursting force</i>	181
Tabel 4.36	Momen dan gaya geser maksimum kombinasi 6 (ekstrem I).....	186
Tabel 4.37	Tinjauan geser diatas garis netral	187
Tabel 4.38	Tinjauan geser dibawah garis netral	188
Tabel 4.39	Jarak sengkang yang digunakan ($L=40$ m).....	189
Tabel 4.40	Perhitungan <i>shear connector</i>	192
Tabel 4.41	Resume desain bantalan elastomer.....	196



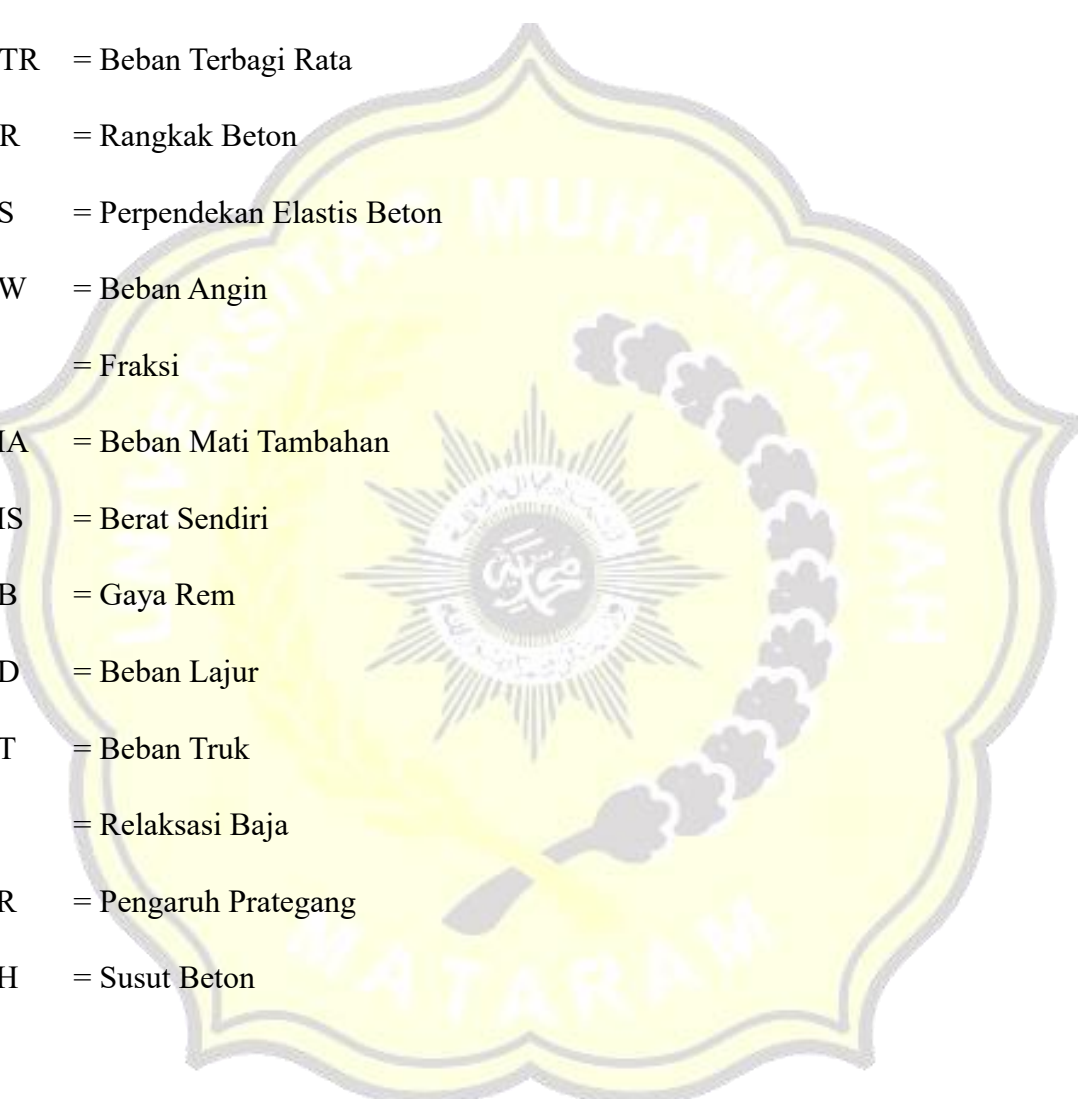
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL



A	= Luas penampang.
A_C	= Luas penampang.
C	= <i>Kohesi</i> tanah (kN/m^3).
C_{sm}	= Koefisien <i>respon</i> gempa elastis.
E_Q	= Gaya gempa horizontal statis (kN).
e_s	= Eksentrisitas.
h	= Tinggi total balok penampang
H_t	= Tinggi total balok penampang.
L	= Panjang total jembatan yang terbebani (m).
n	= Jumlah tendon atau jumlah pasangan tendon yang ditarik secara sekuensial.
P	= Beban vertikal (kN).
P_t	= Prategang awal.
P_{eff}	= Prategang aktif sesudah kehilangan.
q	= Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa).
T	= Beban horizontal (kN).
R_d	= Modifikasi respons.
VB	= Kecepatan angin rencana yaitu 90 km/jam hingga 126 km/jam.
VDZ	= Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam).

- $V0$ = Kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi.
- $V10$ = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air rencana (km/jam).
- Wa = Tahanan momen sisi atas.
- Wb = Tahanan momen sisi bawah.
- Wt = Berat total struktur dari beban mati dan beban hidup (kN).
- Y = Titik berat penampang.
- ya = Jarak titik berat penampang terhadap serat atas.
- yb = Jarak titik berat penampang terhadap serat bawah.
- Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm).
- Δf_{pA} = Kehilangan prategang akibat slip ankur.
- Δf_{pCR} = Kehilangan prategang akibat rangkai pada beton.
- Δf_{pES} = Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton.
- Δf_{pF} = Kehilangan prategang akibat friksi/gesekan.
- Δf_{pT} = Kehilangan prategang total.
- Δf_{pPR} = Kehilangan prategang akibat relaksasi tendon.
- Δf_{pSH} = Kehilangan prategang akibat susut pada beton.

DAFTAR SINGKATAN



A	= Slip angkur
BGT	= Beban Garis Terpusat
BTR	= Beban Terbagi Rata
CR	= Rangkak Beton
ES	= Perpendekan Elastis Beton
EW	= Beban Angin
F	= Fraksi
MA	= Beban Mati Tambahan
MS	= Berat Sendiri
TB	= Gaya Rem
TD	= Beban Lajur
TT	= Beban Truk
R	= Relaksasi Baja
PR	= Pengaruh Prategang
SH	= Susut Beton

DAFTAR LAMPIRAN

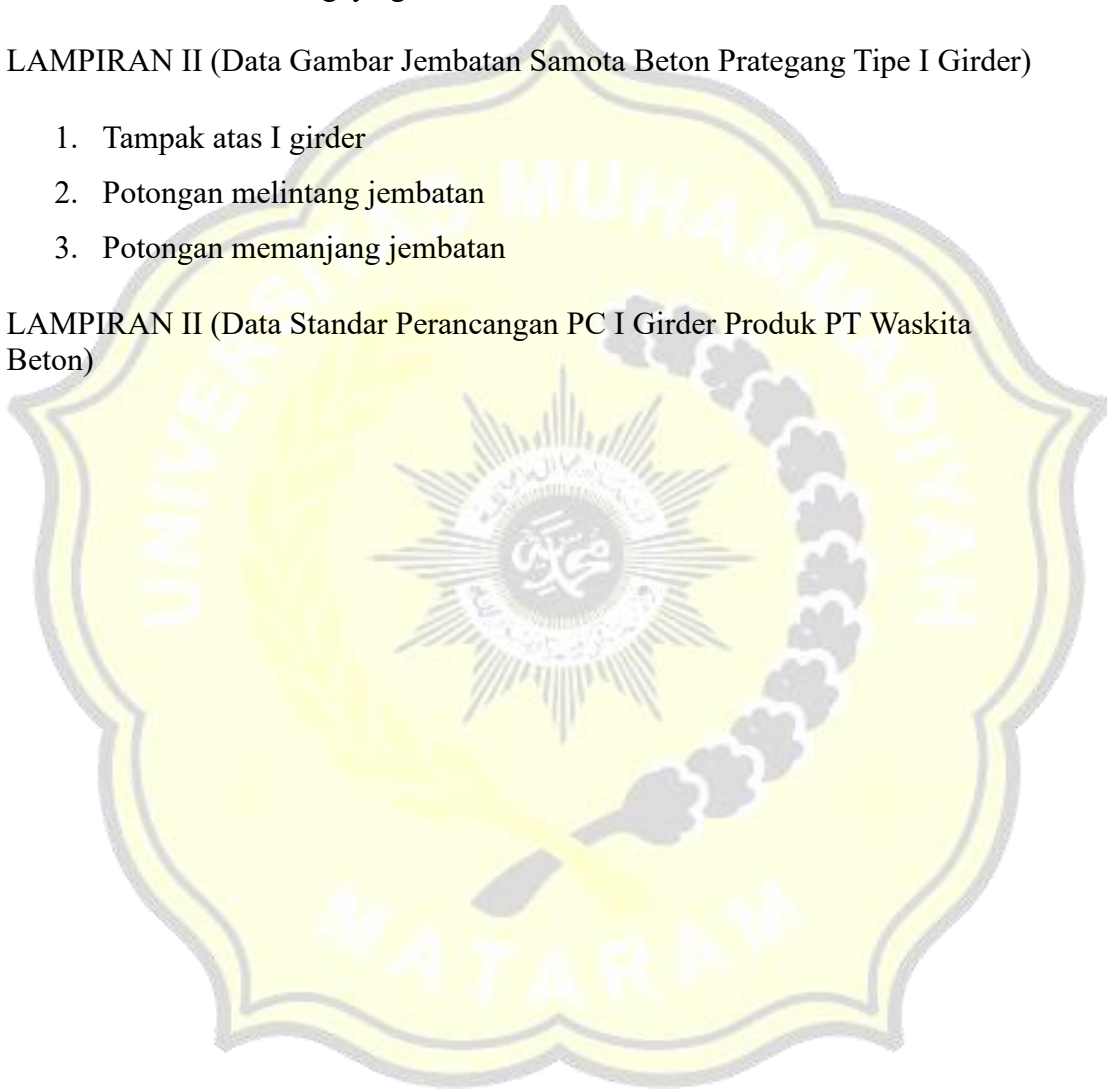
LAMPIRAN I (Perhitungan Beban Kombinasi)

1. Tabel kombinasi momen akibat beban
2. Tabel kombinasi gaya geser akibat beban

LAMPIRAN II (Data Gambar Jembatan Samota Beton Prategang Tipe I Girder)

1. Tampak atas I girder
2. Potongan melintang jembatan
3. Potongan memanjang jembatan

LAMPIRAN II (Data Standar Perancangan PC I Girder Produk PT Waskita Beton)



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Provinsi Nusa Tenggara Barat merupakan Provinsi yang terbagi dalam dua pulau besar yakni Pulau Sumbawa dan Pulau Lombok. Secara administrasi, Nusa Tenggara Barat terdiri dari 2 kota dan 8 kabupaten 117 kecamatan dan 1.140 desa/wujud perkembangan infrastruktur di pulau Sumbawa yaitu dengan dilakukan pembangunan infrastruktur jalan-jembatan.

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyalang sungai atau saluran irigasi, lembah atau melintasi jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi aspek lalu lintas, aspek teknis dan aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Sebagai salah satu konstruksi vital jembatan harus didesain sedemikian rupa agar mampu menerima pembebanan yang bekerja pada waktu yang ditentukan berdasarkan umur rencana.

Jembatan dapat diklasifikasikan menjadi berbagai macam jenis menurut fungsi, keberadaan (lokasi), bahan konstruksi yang digunakan dan tipe strukturnya. Klasifikasi jembatan menurut bahan konstruksinya terdiri dari jembatan kayu (*log ridge*), jembatan baja (*steel bridge*), jembatan beton (*concrete bridge*), jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*) dan jembatan komposit (*composite bridge*) (Agus, 1995).

Studi kasus pada penelitian tugas akhir ini akan meninjau Jembatan Samota dimana jembatan ini memiliki desain pelengkung yang merupakan jembatan pelengkung pertama di Pulau Sumbawa, dibangun pada tahun 2015 serta aktif digunakan pada tahun 2018. Jembatan Samota akan direncanakan ulang (*redesign*) menggunakan beton prategang dengan jenis balok girder yang digunakan adalah *PC I Girder (Prestressed Concrete I Girder)* dengan bentang 80 m dan lebar 11 m untuk mengetahui kemampuan menahan beban-beban yang bekerja pada jembatan, sehingga didapat suatu struktur jembatan yang aman.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada bagian latar belakang, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut.

1. Berapa besar beban yang bekerja pada struktur bangunan atas jembatan?
2. Berapakah dimensi *PC-I Girder* yang dapat digunakan pada perencanaan Jembatan Samota?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari perencanaan ulang jembatan beton prategang tipe *I-Girder* ini sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui besar beban yang bekerja pada struktur bangunan atas jembatan beton prategang tipe *I-Girder*.
2. Untuk mengetahui berapakah dimensi *PC-I Girder* yang tepat digunakan dalam perencanaan jembatan samota.

1.4. Batasan Masalah

Penyusunan tugas akhir ini dibatasi oleh batasan masalah agar pembahasan dapat difokuskan pada struktur jembatan, berikut adalah batasan masalah sebagai berikut.

1. Perencanaan ini hanya membahas struktur atas Jembatan Samota
2. Perencanaan jembatan mengacu pada SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan
3. Perencanaan jembatan mengacu pada SNI 2833:2016 Perencanaan jembatan terhadap beban gempa
4. Perhitungan dan analisa beban yang bekerja pada bangunan atas jembatan dilakukan menggunakan aplikasi Microsoft Excel
5. Penggambaran permodelan jembatan menggunakan aplikasi Autocad 2007
6. Data jembatan diperoleh dari Dinas PUPR NTB
7. Tidak membahas struktur bawah jembatan dan perkerasan jalan
8. Tidak menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB)

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut.

1. Diharapkan dapat memberi manfaat berupa pembelajaran bagi penulis dalam perencanaan struktur jembatan beton prategang tipe *I-Girder*.
2. Dari hasil perencanaan struktur jembatan gelagar beton prategang tipe *I-Girder* tersebut diharapkan dapat menjadi referensi bagi pembaca dalam merencanakan struktur jembatan.



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Jauhari (2021) melakukan desain *PC I-Girder* untuk bentang 42 m berdasarkan pembebanan SNI 1725:2016 dengan studi kasus pada Jalan Soebrantas, Desa Sei. Injab. Untuk jembatan bentang 42 m dibutuhkan girder prategang yang ideal dengan tinggi 170 cm dan berdasarkan SNI 1725:2016 tentang pembebanan untuk jembatan, *PC I-Girder* bentang 42 m dibutuhkan jumlah tendon sebanyak 4 buah tiap tendon terdiri 12 *strands* dengan diameter 12,7 mm. Digunakan 4 buah girder dengan jarak antar girder 2 m dengan momen ultimit (M_u) dan geser ultimit (V_u) secara berturut-turut sebesar 1086,71 kNm dan 1618,81 kN. Kehilangan pratenggang yang digunakan pada asumsi awal desain sebesar 25,23 % pada balok girder.

Apriyanto (2021) melakukan perencanaan girder jembatan beton prategang di Jalan Raya Sememi Benowo Surabaya section 0 -152. Metode perencanaan dilakukan dengan menggunakan sistem penahan gaya vertikal dan gempa lateral dalam SNI 1726:2012 serta sistem struktur yang dipilih adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus untuk zona gempa 6 dengan mutu beton f'_c digunakan 45 MPa dan mutu baja f_y untuk tulangan adalah 400 MPa. Dari hasil perhitungan dan perencanaan Jembatan Beton Prategang Jalan Raya Sememi Benowo Surabaya section 0 - 152 dengan *Girder* pratekan tipe I diperoleh hasil yaitu perencanaan struktur atas jembatan terdiri dari sandaran, trotoar, pelat lantai, balok induk dan diafragma. Didapatkan hasil perhitungan pelat lantai kendaraan direncanakan menggunakan beton bertulang dengan ketebalan 20 cm dan plat cor insitu dengan tulangan D12-50 mm. Balok diafragma direncanakan menggunakan dimensi 165 x 127.5 x 20 cm³ dengan jarak antar balok 1.77 m. Panjang total jembatan 80 m dibagi menjadi 2 bentang masing-masing 40 m + 40 m dengan lebar total jembatan 11.5 m. Gelagar utama direncanakan sebanyak 6 buah dengan jarak as ke as 1.85 m. *Concrete barrier* dari beton dengan tulangan 14Ø16 dengan tinggi 1 m serta pelat lantai kendaraan digunakan tebal 25 cm.

Haning (2020) mengenai studi alternatif struktur atas jembatan dengan balok girder prategang tipe I, studi kasus pada Jembatan Langgaliru Kecamatan Umbu Ratunggay Kabupaten Sumba Tengah. Bentuk penampang balok girder yang digunakan pada perencanaan adalah balok girder tipe I. Pemberian tegangan dilakukan dengan metode Pasca Tarik (*Post-Tensioning*) dimana *compressive force* diinduksi ke dalam struktur beton dengan menggunakan *high strength steel tendon* yang dipasang dalam *ducts embedded* dalam beton. Tendon *distressing* setelah beton dicor dan *dicuring* sampai kuat tekan beton yang disyaratkan. Jumlah tendon yang digunakan 3 buah yang masing-masing tendon terdiri dari 15 untai (*strands*). Tulangan Geser yang digunakan adalah D19–250, penghubung geser yang digunakan adalah D19 –700, tulangan pecah ledak arah vertikal yang digunakan adalah D10-550, tulangan pecah ledak arah horizontal yang digunakan adalah D10-550, tulangan pecah gumpal arah vertikal yang digunakan adalah D36–60, tulangan pecah gumpal arah horizontal yang digunakan adalah D36-240 dengan tegangan efektif yang dibutuhkan adalah sebesar 77056.69 kN.

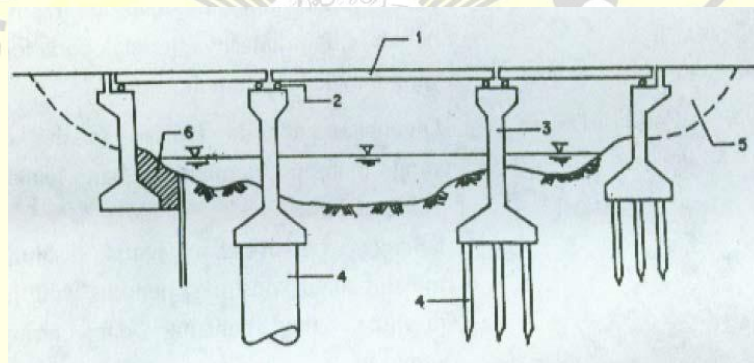
Armin (2018) perencanaan balok girder profil I pada jembatan *prestressed* dengan variasi bentang. Direncanakan sebuah jembatan *prestressed* dengan metode *post tension* yang menggunakan girder profil I sebagai struktur utamanya. Kabel *prestress* yang digunakan adalah jenis *strands Uncoated 7 wire super strands ASTM 416 Grade 270 Low Relaxation*. Perencanaan dilakukan dengan dua model perencanaan, model perencanaan yang pertama adalah memvariasikan bentang jembatan, dimensi girder profil I, serta jumlah tendon yang digunakan. Sedangkan model perencanaan yang kedua adalah dimensi girder profil I dipertahankan dan penggunaan tendonnya dioptimalkan (hanya digunakan 2 tendon untuk masing-masing bentang jembatan). Girder profil I *prestressed* untuk bentang jembatan 20 m adalah $b = 0.47$ m dan $h = 0.95$ m, dengan $P_t = 3745$ kN, $n_t = 2$ tendon serta $n_s = 30$ *strands*, dimensi girder profil I *prestressed* untuk bentang jembatan 30 m adalah $b = 0.60$ m dan $h = 1.36$ m dengan $P_t = 6026$ kN, $n_t = 3$ tendon serta $n_s = 48$ *strands*. Jika dimensi girder profil I dipertahankan dan penggunaan tendonnya dioptimalkan (hanya digunakan 2 tendon saja), maka diperoleh $P_t = 6150$ kN, dan $n_s = 46$ *strands*, dimensi girder

profil I *prestressed* untuk bentang jembatan 40 m adalah $b = 0.80$ m dan $h = 1.74$ m dengan $P_t = 9415$ kN, $n_t = 4$ tendon serta $n_s = 72$ *strands*. Jika dimensi girder profil I dipertahankan dan penggunaan tendonnya dioptimalkan (hanya digunakan 2 tendon saja), maka diperoleh $P_t = 9500$ kN, dan $n_s = 70$ *strands*.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pengertian jembatan

Jembatan adalah suatu bangunan struktural yang digunakan untuk melewati orang atau kendaraan di atas dua daerah/kawasan atau ruang yang terpisah oleh sungai, lembah, jurang, jalan atau hambatan fisik lainnya. Jembatan mempunyai fungsi sebagai penghubung dua daerah yang terpisah untuk melancarkan dan memudahkan kegiatan manusia (BSN, 2008). Adapun bagian-bagian jembatan ditampilkan pada Gambar 2.1 sebagai berikut.



Gambar 2.1 Bagian-bagian jembatan

(Sumber : Longa, 2015)

Dengan :

1. Bangunan atas
2. Landasan (biasanya terletak pada pilar/abutment)
3. Bangunan bawah, berfungsi memikul beban pada bangunan atas dan pada bangunan bawahnya sendiri untuk disalurkan ke pondasi, kemudian dari pondasi disalurkan ke tanah
4. Pondasi
5. Oprit, terletak dibelakang abutment

Secara umum bentuk dan bagian -bagian suatu struktur jembatan dapat dibagi dalam empat bagian utama, yaitu : struktur bawah, struktur atas, jalan pendekat dan bangunan pengaman. Konstruksi jembatan dibagi menjadi 2 (dua) bagian pokok yaitu :

1. Bagian bawah (*sub structure*)

- Abutment (kepala jembatan)
- Pondasi
- Pilar

2. Bangunan atas (*upper structure*)

- Trotoar, yang berupa :
 - a. Sandaran dan tiang sandaran
 - b. Peninggian trotoar (kerb)
 - c. Lantai trotoar
- Lantai kendaraan/jembatan
- Gelagar induk/balok jembatan
- Balok diafragma
- Ikatan pengaku (ikatan angin dan ikatan melintang)
- Tumpuan (*bearing*)

2.2.2. Jembatan gelagar beton

Jembatan gelagar beton berdasarkan macam konstruksi terdiri atas jembatan beton non prategang/beton bertulang dan jembatan beton prategang. Jembatan beton non prategang/beton bertulang, adalah struktur jembatan yang memakai bahan beton dan penulangan baja. Jembatan beton prategang, adalah struktur jembatan yang memakai bahan beton dan kawat baja bermutu tinggi, dimana kawat baja tersebut harus ditarik terlebih dahulu sebelum bekerjanya beban luar. Penarikan baja ini menyebabkan tertekannya beton yang ada disekitarnya, sehingga beton menjadi mampu menahan beban yang lebih tinggi sebelum mengalami keretakan (Supriadi dan Muntohar, 2007). Gelagar jembatan atau balok jembatan merupakan struktur atas pada jembatan yang berfungsi untuk

memikul pembebanan akibat aksi tetap, aksi lalu lintas, maupun aksi lingkungan. Contoh jembatan gelagar beton dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Jembatan gelagar beton
(Sumber : Sari, 2018)

2.2.3. Jenis-jenis girder jembatan

Girder jembatan memiliki fungsi untuk penyalur beban di atas konstruksi jembatan ke bagian bawah yang disebut abutment agar bisa diredam. Dalam bidang konstruksi jembatan, girder adalah balok yang posisinya ada di antara dua penyangga yang bisa berupa pilar atau abutment. Berikut berbagai beberapa jenis girder untuk konstruksi jembatan.

1. Gelagar I (*PC I-Girder*)

PC I-Girder merupakan girder jembatan yang memiliki bentuk penampang I dengan penampang bagian tengah lebih langsing daripada bagian pinggir. *PC I-Girder* merupakan girder dengan penampang yang kecil dibanding dengan jenis girder lainnya dan memiliki berat sendiri yang relatif lebih ringan per-unitnya. Penampang *I-Girder* dapat dilihat pada Gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 *PC I-Girder*

(Sumber : <https://produk.wika-beton.co.id>, 2023)

2. Gelagar U (*PC U-Girder*)

PC U-Girder merupakan girder jembatan yang memiliki bentuk penampang yang lebar namun pada bagian tengah bentang penampangnya cukup langsing. Berdasarkan dari bentuknya, *PC U-Girder* cukup memenuhi nilai estetika jembatan. Menurut spesifikasi produksi girder, *PC U-Girder* memiliki bentang terpanjang sepanjang 42 meter. Gambar *PC U-Girder* dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 2.4 *PC U-Girder*

(Sumber : <https://www.web.waskitaprecast.co.id>, 2023)

3. Gelagar berbentuk kotak atau trapesium (*Box Girder*)

Box girder merupakan girder jembatan yang dalam spesifikasi produksi tidak memiliki batasan panjang bentang. Dalam tahapan pekerjaan, *box girder* terlebih dahulu mengalami proses erection dan diangkat per-

segmental. Proses *stressing* dilakukan setelah tahapan *erection*. Bentuk dari *Box girder* juga cukup memenuhi nilai estetika pada bangunan jembatan. Gambar *Box girder* dapat dilihat pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 *Box girder*
(Sumber : <https://produk.wika-beton.co.id>, 2023)

4. *PC Voided Slab*

PC voided slab merupakan girder jembatan yang menggabungkan fungsi girder sekaligus slab. *PC voided slab* biasanya digunakan pada jembatan bentang pendek. Bentang terpanjang untuk jenis girder ini adalah 17 meter. Gambar *PC voided slab* dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 2.6. *PC voided slab*
(Sumber : Sari, 2018)

2.3. Dasar-dasar Perencanaan Jembatan

Pada perencanaan tugas akhir ini mengacu pada beberapa peraturan sebagai berikut.

1. Pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016).
2. Perencanaan jembatan terhadap beban gempa (SNI 2833-2016).

2.4. Analisa Pembebanan Jembatan

Dalam perencanaan jembatan hal yang diperhatikan adalah pembebanan yang terjadi. Beban ini akan mempengaruhi ukuran struktur jembatan dan jumlah tulangan yang dibutuhkan. Pembebanan perancangan jembatan ini mengacu pada SNI 1725:2016 dimana data pembebanan sebagai berikut.

2.4.1. Beban permanen (mati)

Menurut SNI 1725:2016, massa setiap bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang ditunjukkan dalam gambar serta berat jenis bahan yang digunakan. Berat setiap bagian bangunan adalah massa dikalikan percepatan gravitasi (g). Beban permanen dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Berat isi untuk beban mati

No.	Bahan	Berat Isi(kN/m ³)	Kecepatan Massa (kN/m ³)
1.	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2.	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3.	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4.	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8 – 22,7	1920 – 2315
5.	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0 – 25,0	1250 – 2000
6.	Beton ringan (<i>low density</i>)	22,0	2245
7.	Beton $f'c < 35$ Mpa	22,0 – 25,00	2320
	$35 < f'c < 105$ Mpa	$22 + 0,022f'c$	$2240 + 2,29.f'c$
8.	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9.	Kayu (ringan)	7,8	800
10.	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

(Sumber : SNI 1725:2016)

1. Beban Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini.

Tabel 2.2 Faktor beban untuk berat sendiri

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

(Sumber : SNI 1725:2016)

2. Beban Mati Tambahan/Utilitas (MA)

Beban mati tambahan merupakan berat semua material yang membentuk beban jembatan merupakan elemen non-struktural yang besarnya bervariasi selama umur jembatan. Dalam beberapa kasus, nilai faktor beban mati tambahan berbeda dari yang ditentukan dalam Tabel 2.3. boleh 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.

Tabel 2.3 Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimate (γ_{MA}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,0 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,0	1,40	0,80
Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

(Sumber : SNI 1725:2016)

2.4.2. Beban lalu lintas

Beban lalu lintas untuk desain jembatan dibagi atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” adalah beban yang bekerja diseluruh lebar jalur kendaraan dan menyebabkan pada jembatan akan setara dengan iring-iringan kendaraan sebenarnya. Jumlah keseluruhan lajur “D” yang bekerja bergantung dengan lebar jalur kendaraan itu sendiri. Pada umumnya, beban “D” menjadi beban penentu untuk perhitungan jembatan dengan bentang menengah dan panjang. Lain halnya dengan beban “T” sebagai beban penentu untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

1. Beban lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.7. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti pada Tabel 2.4 dibawah ini.

Tabel 2.4 Faktor beban untuk beban Lajur “D”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,0	1,8
	Boks Girder Baja	1,0	2,0

(Sumber : SNI 1725:2016)

- Intensitas beban “D”

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 dibawah ini:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.2)$$

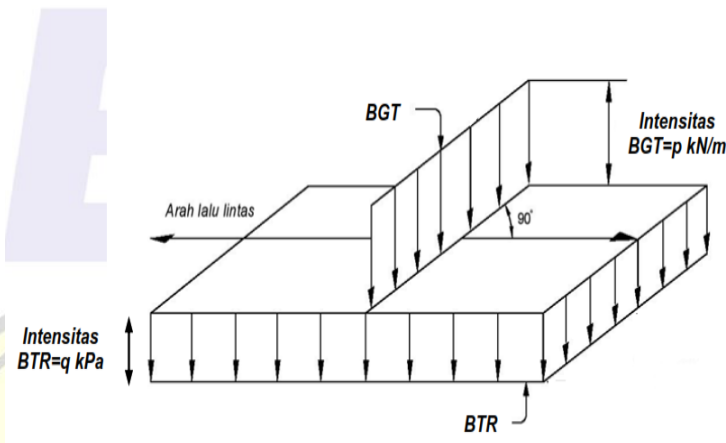
Dengan :

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

jembatan (kPa)

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Adapun beban lajur “D” disajikan pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Beban lajur “D”
(Sumber : SNI 1725-2016)

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

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

2. Beban truk “T”

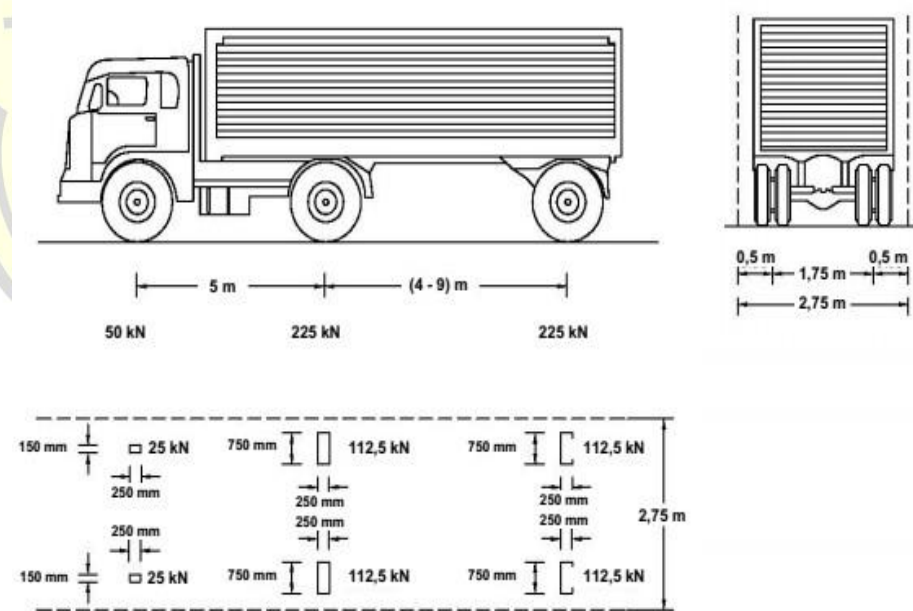
Selain beban “D” terhadap beban lalu lintas lain yakni beban truk “T”. Beban truk “T” tidak bisa dipakai secara bersama dengan beban “D”. Beban truk bisa dipakai untuk menghitung struktur lantai. Mengenai faktor beban untuk beban “T” bisa dilihat pada Tabel 2.5 dibawah ini.

Tabel 2.5 Faktor beban untuk beban lajur “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^L)	Keadaan Batas Ultimate (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1,0	1,8
	Boks Girder Baja	1,0	2,0

(Sumber : SNI 1725:2016)

Besarnya pembebanan truk “T” bisa dilihat pada Gambar 2.8. dibawah ini.



Gambar 2.8. Pembebanan truk “T” (500 kN)

(Sumber : SNI 1725:2016)

2.4.3. Gaya rem (TB)

Menurut SNI 1725:2016 pasal 8.7 gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% dari berat garden truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambahkan dengan BTR. Gaya rem harus diletakkan disemua lajur dengan arah lalu lintas yang sama, gaya ini diasumsikan bekerja secara horizontal dengan jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada setiap arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

2.4.4. Beban pejalan kaki (TP)

Trotoar diatas 60 cm harus diperhitungkan untuk memikul beban pejalan kaki (intensitas 5 kPa), diasumsikan bekerja bersamaan dengan kendaraan ditiap lajur.

2.4.5. Beban angin (EW)

Tekanan angin diperkirakan disebabkan oleh kecepatan angin rencana (V_B) dari 90 sampai 126 km/jam. Harus diasumsikan bahwa beban angin terdistribusi secara merata di atas permukaan penerima angina. Area yang dipertimbangkan adalah semua komponen, termasuk sistem lantai yang tegak lurus dengan arah angin. Orientasi ini harus diubah untuk mendapatkan efek dari komponen-komponennya. Luas area yang tidak berkontribusi bisa diabaikan dalam perencanaan. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan ketinggian 10000 mm lebih tinggi dari permukaan tanah atau air, kecepatan angin rencana V_{DZ} harus dihitung menurut persamaan 2.3 sebagai berikut.

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

V_{DZ} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (km/jam)

V_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau diatas permukaan air rencana (km/jam)

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, pada bangunan bawah harus dihitung berdasarkan tekanan angina dasar sebesar 0.0019 MPa. Gata angina vertical keatas sebesar

9.6×10^{-4} MPa dikalikan lebar jembatan termasuk parapet dan trotoar

Z = Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihirung ($Z > 10000$ mm)

V_0 = Kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.6. untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_0 = Panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 2.7. (mm)

Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai varian kondisi permukaan hulu disajikan pada Tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai varian kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13.2	17.6	19.3
Z_0 (km/jam)	70	1000	2500

(Sumber : SNI 1725:2016)

1. Beban angin pada struktur (E_{ws})

Jika dibenarkan dalam kondisi lokal, perencana dapat menggunakan kecepatan angin desain dasar yang berbeda untuk kombinasi beban yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan dalam persamaan 2.4 berikut ini :

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan :

P_D = Tekanan angin rencana (MPa)

P_B = Tekanan angin dasar (MPa)

Nilai tekanan angin dasar disajikan pada Tabel 2.7 dibawah ini.

Tabel 2.7. Tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan Pelengkung	0.0024	0.0012
Balok	0.0024	N/A
Permukaan datar	0.0019	N/A

(Sumber : SNI 1725:2016)

2. Beban angin pada kendaraan (E_{WL})

Tekanan angin rencana harus diberikan pada struktur jembatan dan juga pada kendaraan yang melewati jembatan. Jembatan harus dirancang untuk menahan tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan harus diasumsikan sebagai tekanan menerus 1,46 N/mm, berjalan vertikal dan 1800 mm di atas permukaan jalan. Sebagai tambahan dari ketentuan pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus terhadap struktur, komponen berbagai sudut serang yang bekerja tegak lurus atau sejajar dengan kendaraan dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.8 dibawah.

Tabel 2.8 Tekanan angin yang bekerja pada kendaraan

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
Derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

(Sumber : SNI 1725:2016)

2.4.6. Gaya akibat perbedaan suhu (E_{Un})

Untuk perencanaan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.9. Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat

perbedaan suhu. Temperatur minimum dan maksimum ditentukan dalam Tabel 2.9 dibawah ini

Tabel 2.9 Temperatur jembatan rata-rata nominal

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-Rata Minimum (1)	Temperatur Jembatan Rata-Rata Maksimum
Lantai beton diatas gelagar atau boks beton	15 °C	40 °C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja	15 °C	40 °C
Lantai plat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15 °C	45 °C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih dari 500 m diatas permukaan laut.		

(Sumber : SNI 1725:2016)

1. Simpangan akibat beban temperatur

Gaya akibat perubahan suhu ditinjau dari timbulnya perubahan struktural antara bagian-bagian jembatan baik menggunakan material yang sama atau dengan material yang berbeda. Perubahan suhu ditetapkan pada data perkembangan suhu setempat jembatan yang dibangun di lokasi tersebut. Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (Δ_T) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagaimana terlihat pada persamaan 2.5 berikut :

$$\Delta_T = \alpha L (T_{max\ design} - T_{min\ design}) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

L = panjang komponen jembatan (mm)

α = koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

Nilai Tekanan angin dasar disajikan pada Tabel 2.10 dibawah ini.

Tabel 2.10 Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur

Bahan	Koefisien Perpanjangan Akibat Suhu (α)	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	200.000
Beton :		
Kuat Tekan <30 MPa	10×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	$4700\sqrt{f_c'}$
Kuat Tekan >30 MPa	10×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	$4700\sqrt{f_c'}$

(Sumber : SNI 1725:2016)

2.4.7. Beban gempa (E_Q)

Jembatan harus dirancang memiliki kemungkinan runtuh yang rendah, tetapi dengan potensi kerusakan besar dan gangguan layanan akibat gempa bumi, peluang lebih dari 7% dalam 75 tahun. Beban gempa dianggap gaya horizontal dan ditentukan berdasarkan hasil kali faktor respon elastis (C_{sm}) dan berat ekuivalen struktur, kemudian dikoreksi dengan faktor koreksi respon (R_d) sesuai persamaan 2.6 di bawah ini:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan :

E_Q = Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = Koefisien respons gempa elastis

R_d = Faktor modifikasi respons

W_t = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respons elastis (C_{sm}) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m dibawah struktur jembatan (SNI 1725:2016 pasal 9.7).

2.4.8. Pengaruh rangkak dan susut (SH)

Gaya rangkak dan susut dapat dipengaruhi oleh besarnya material beton terhadap konstruksi perhitungan beban mati yang berasal dari jembatan. Selain itu, gaya tersebut dapat berpengaruh dengan adanya ketentuan lain yang memiliki nilai gaya yang timbul karena adanya penurunan suhu sebesar 15°C . Apabila rangkak dan susut bisa mengurangi pengaruh muatan lain, maka nilai rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang). Faktor beban akibat susut dan rangkak dapat dilihat pada Tabel 2.11 sebagai berikut.

Tabel 2.11 Faktor beban akibat susut dan rangkak

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 rangkak bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

2.4.9. Pengaruh prategang (PR)

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas layan ataupun batas ultimit. Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasi dengan beban-beban lainnya. Pada keadaan batas 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. Berikut faktor beban akibat pengaruh prategang dapat dilihat pada Tabel 2.12 sebagai berikut.

Tabel 2.12 Faktor beban akibat pengaruh prategang

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{PR})	
	Keadaan batas layan (γ_{PR}^s)	Keadaan batas ultimit (γ_{PR}^U)
Tetap	1,00	1,0

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

2.5. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pada keadaan batas daya layan primer terdiri dari jumlah pengaruh aksi tetap dengan satu aksi transien. Pada keadaan batas daya layan, lebih dari satu aksi transien bisa terjadi secara bersamaan. Faktor beban yang sudah dikurangi diterapkan dalam hal ini untuk mengurangi kemungkinan dari peristiwa ini. Berikut disajikan kombinasi pembebanan dan gaya pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Kombinasi pembebanan dan gaya

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,80	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,40	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,5	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,0	1,00	0,30	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	0,50/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber : SNI 1725 : 2016)

Catatan : γ_p dapat berupa γ_{MS} , γ_{MA} , γ_{TA} , γ_{PR} , γ_{PL} , γ_{SH} tergantung beban yang ditinjau γ_{EQ} adalah factor beban hidup kondisi gempa.

Dengan :

1. Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.
2. Kuat II : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
3. Kuat III : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
4. Kuat IV : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.
5. Kuat V : Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
6. Ekstrem I : Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup γ_{EQ} yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.
7. Ekstrem II : Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.
8. Layan I : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang; dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental.

Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

9. Layan II : Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.
10. Layan III : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.
11. Layan IV : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.
12. Fatik : Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

2.6. Beton Prategang (*prestressed concrete*)

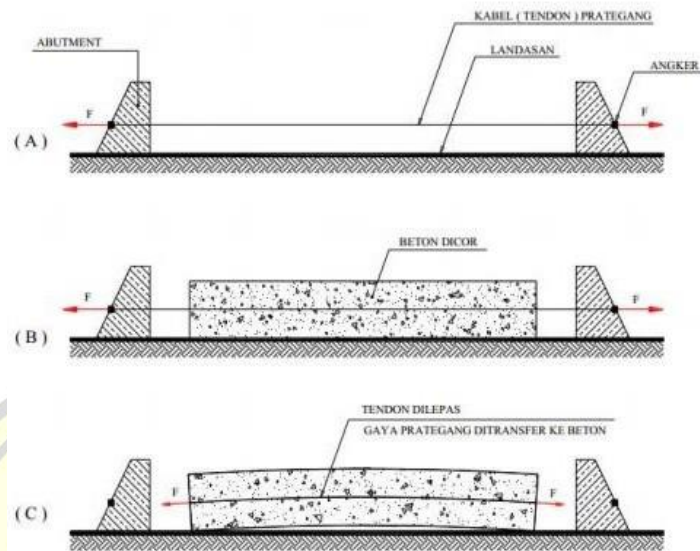
Beton prategang adalah beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja (SNI 93-2847-2002). Pemberian tegangan tekan dalam beton dilakukan dengan cara menarik atau menegangkan tulangan bajanya. Penarikan ini menghasilkan sistem keserimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menaha beban luar.

Cara yang biasa dilakukan untuk penerapan gaya prategang pada komponen struktur beton adalah dengan menggunakan tendon baja (Imran, 2002). Terdapat 2 macam cara pelaksanaan pemberian prategang yaitu sebagai berikut.

1. Pemberian pratarik (*pre-tension*)

Pada sistem pratarik, baja prategang ditarik/diregangkan terlebih dahulu dan dijangkarkan pada tembok/dinding penahan (*bulkhead*), kemudian beton dicor. Setelah beton mencapai umur/kekuatan tertentu, baja prategang menekan komponen/balok. Transfer gaya prategang umumnya melalui ikatan/lekatan antara baja prategang dengan beton yang mengelilinginya. Pemakaian praktis dari metode pratarik ini pertama kali dikerjakan oleh

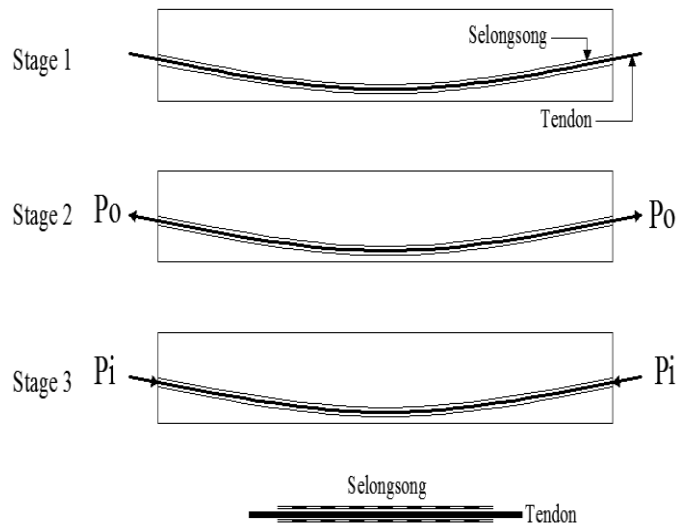
E.Hoyer, sehingga dikenal sebagai system Hoyer (Aboe, 2006). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat Gambar 2.9 sebagai berikut.



Gambar 2.9 Prinsip pra-tarik (*pre-tension*)
(Sumber : Hanum, 2021)

2. Pemberian pasca tarik (*post – tension*)

Sistem paskatarik merupakan kebalikan sistem pratarik. Pada cara ini pertama-tama beton dicor/dicetak terlebih dahulu, dengan baja prategang sesuai alinyemen yang direncanakan terletak di dalam selongsong (*duck*) juga ikut tercor. Setelah beton mencapai umur/kekuatan tertentu, baja prategang ditarik dan kemudian dijangkarkan/diangkurkan pada ujung komponen. Transfer gaya prategang pada sistem ini melalui angkur (Aboe, 2006). Metode ini akan menghasilkan gaya tekan yang dimana sudah ditentukan sebagaimana Gambar 2.10 dibawah ini.



Gambar 2.10 Prinsip pasca-tarik (*post-tension*)
(Sumber : Aboe, 2006)

2.7. Konsep Beton Prategang

Hadipratomo (2006) menjelaskan bahwa seperti halnya beton bertulang, beton prategang juga merupakan struktur komposit antara dua bahan, ialah beton dan baja tetapi dengan mutu tinggi. Baja yang dipakai disebut tendon yang dikelompokkan dan membentuk kabel. Menurut Lin dan Burns (2000) dalam buku “Struktur Beton Prategang”, ada tiga konsep yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang yaitu sebagai berikut.

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi elastis
2. Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban
3. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton

2.8. Material Beton Prategang

2.8.1. Beton prategang

Beton yang dipakai pada beton prategang umumnya mempunyai kuat tekan 40-80 MPa (beton mutu tinggi) pada umur 28 hari (benda uji silinder). Nilai slump berkisar 50-100 mm dengan faktor air semen $\leq 0,45$. Tegangan ijin penampang beton dihitung pada kondisi transfer gaya

prategang dan pada kondisi beban layan. Berdasarkan SNI-2847-2013 tegangan ijin ditentukan dalam persamaan 2.7 sampai persamaan 2.11 sebagai berikut :

1. Tegangan ijin beton setelah penyaluran gaya prategang/kondisi transfer.

Tegangan Tekan:

$$f_{tekan} = 0,6 \cdot f_{ci} \dots\dots\dots (2.7)$$

Tegangan Tarik :

$$f_{tarik} = 0,25 \sqrt{f'_{ci}} \dots\dots\dots (2.8)$$

2. Tegangan ijin beton setelah kehilangan prategang/kondisi layan.

Tegangan Tekan :

$$f_{tekan} = 0,45 \cdot f_c \dots\dots\dots (2.9)$$

Tegangan Tarik :

$$f_{tarik} = 0,5 \sqrt{f'_{ci}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan :

f_{ci} = kuat tekan pada saat transfer gaya prategang yang diambil sebesar 65% - 80% dari f'_c (MPa)

f'_c = kuat tekan beton pada kondisi layan (MPa)

2.8.2. Baja prategang

Dalam praktek baja prategang (tendon) yang digunakan terdapat 3 (tiga) macam, sebagai berikut.

1. Kawat tunggal (*wire*)

Kawat tunggal ini biasanya dipergunakan dalam beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pretension method*)

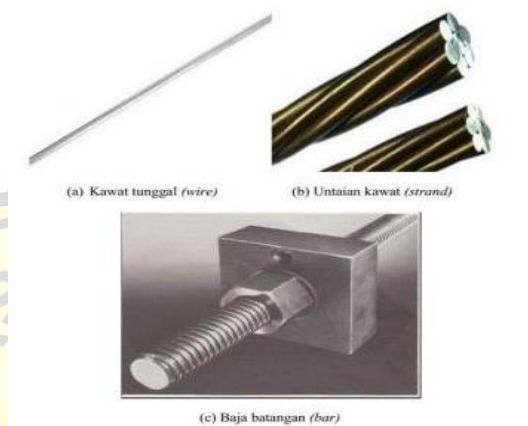
2. Untaian kawat (*strand*)

Untaian kawat biasanya dipergunakan dalam beton prategang dengan sistem pasca-tarik (*post-tension*)

3. Kawat batangan (*bar*)

Kawat batangan ini biasanya digunakan untuk beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pretension*).

Berikut jenis-jenis baja yang digunakan untuk beton prategang dapat dilihat pada Gambar 2.11 sebagai berikut.



Gambar 2.11 Jenis-jenis baja yang dipakai untuk beton prategang
(Sumber : Sari, 2018)

Tegangan ijin untuk baja prategang ditentukan dalam persamaan 2.12 dan persamaan 2.13 sebagai berikut.

$$\text{Tegangan tarik ijin kabel pada saat } jacking = 0,94 f_{py} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\text{Tegangan tarik ijin kabel setelah pengangkuran} = 0,7 f_{pu} \dots\dots\dots (2.13)$$

2.8.3. Kontrol tegangan setelah kehilangan gaya prategang

Analisa tegangan diperhitungkan guna sebagai acuan tegangan *I-Girder* dalam melakukan permodelan dan analisa struktur. Perhitungan tegangan akibat tendon yaitu pada tahap *transfer* dan *service*.

1. Perhitungan tegangan akibat tendon pada tahap *transfer*. Beban-beban yang bekerja adalah berat sendiri *I-Girder*. Kontrol tegangan pada serat *I-Girder* terdapat pada persamaan 2.14 dan persamaan 2.15 sebagai berikut.

- Tegangan pada serat atas penampang,

$$f_a = \frac{P_t}{A} + \left(\frac{P_t \times y_a}{W_a} \right) - \frac{MD}{W_a} \leq f_{ci} \text{ ijin tekan (transfer) (2.14)}$$

- Tegangan pada serat bawah penampang,

$$f_b = \frac{P_t}{A} + \left(\frac{P_t \times y_a}{W_a} \right) - \frac{MD}{W_a} \leq f_{ci} \text{ ijin tarik (transfer) (2.15)}$$

2. Perhitungan tegangan akibat tendon pada tahap *service*. Pada tahap ini tendon dipasang dan di-*jacking* setelah segmen *I-Girder* terpasang semua dan sudah dalam keadaan statis tak tentu. Beban-beban yang bekerja adalah beban mati, beban hidup dan beban lingkungan. Kontrol tegangan pada serat *I-Girder* terdapat pada persamaan 2.16 dan persamaan 2.17 sebagai berikut.

- Tegangan pada serat atas,

$$f_a = \frac{P_{eff}}{A} + \left(\frac{P_{eff} \times e_s}{W_a} \right) - \frac{MD}{W_a} \leq f_{ci} \text{ ijin tekan (service) (2.16)}$$

- Tegangan pada serat bawah,

$$f_b = \frac{P_{eff}}{A} + \left(\frac{P_{eff} \times e_s}{W_a} \right) - \frac{MD}{W_a} \leq f_{ci} \text{ ijin tarik (service) (2.17)}$$

Dengan :

P_t = Gaya prategang awal (MPa)

A = Luas penampang

e_s = Eksentrisitas tendon

P_{eff} = Gaya prategang efektif sesudah kehilangan

W_a = Tahanan momen sisi atas

W_b = Tahanan momen sisi bawah

M_D = Momen akibat berat sendiri

M_T = Momen total akibat beban gravitasi

2.9. Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan prategang merupakan kondisi proses beton mengalami perubahan pada komposisi yang melalui proses reduksi secara progresif sampai seenggang waktu kurang lebih selama 5 tahun dengan keadaan gaya prategang yang

berkurang dari awal perencanaan. Secara umum terdapat beberapa jenis kehilangan prategang gaya sebagai berikut.

2.9.1. Kehilangan elastis segera (*immediate elastic losses*)

Merupakan kehilangan gaya prategang secara langsung pada beton setelah diberi gaya tekan prategang. Pada kehilangan elastis segera bisa diakibatkan oleh beberapa faktor sebagai berikut :

1. Adanya sistem *post-tension* yang mengakibatkan gaya prategang yang hilang, oleh gesekan atau tekanan tegangan pada garis yang melengkung pada tendon
2. Adanya slip yang masuk ke dalam ankur sehingga mengakibatkan kehilangan beban kerja
3. Degradasi pada beton
4. Berkurangnya elastisitas tegangan pada beton prategang

Selain akibat kehilangan gaya prategang tersebut, kehilangan elastis segera juga dipengaruhi oleh beberapa kehilangan diantaranya :

1. Perpendekan elastis

Kehilangan ini mencakup 2 metode prategang yaitu *pre-tension* dan *post-tension* yang dimana 2 metode tersebut tidak mengalami kehilangan yang diakibatkan adanya perpendekan elastisitas pada beton. Tegangan yang hilang pada pascatarik selain perpendekan elastis juga diakibatkan pada rasio modulus elastisitas terletak pada baja maupun beton. Perpendekan elastis dapat dirumuskan untuk kehilangan tegangan pada pascatarik pada persamaan 2.18 sebagai berikut :

$$ES = \frac{n \times T_i}{A_c} \text{ atau } \Delta f_p ES = 0,5 \times \Delta f_p ES \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan :

ES = Kehilangan gaya prategang

E_c = Modulus elastisitas prategang

E_s = Modulus elastisitas baja prategang

f_c' = Tegangan baja ditempat baja prategang

n = Rasio modulus elastisitas $\left(\frac{E_s}{E_c}\right)$

0,5 = Komponen struktur pasca-tarik beton

1,0 = Komponen pratarik

E_{ci} = Modulus elastis beton ketika prategang awal

2. Kehilangan pada sistem angkur

Kehilangan akibat posisi angkur terletak pada elemen struktur dengan pascatarik gaya prategang yang menurunkan aliran menuju angkur sehingga gaya prategang mengalami kehilangan akibat landasan yang ada pada blok-blok angkur. Besar slip dalam angkur mencapai rata-rata 2,5 m. Besar slip diperoleh dari panjang total tendon pada persamaan 2.19 sebagai berikut :

$$\Delta L = \frac{f_{pi}}{ES} L \dots\dots\dots (2.19)$$

Dan besar akibat kehilangan gaya prategang pada slip angkur diperoleh dari persamaan 2.20 sebagai berikut :

$$ANC = \frac{S_{rata-rata}}{\Delta L} \times 100\% \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan :

ANC = Kehilangan gaya prategang akibat slip angkur

Δ = Deformasi pada angkur

f_{pi} = Tegangan pada tendon

ES = Kehilangan gaya prategang

L = Panjang tendon

$S_{rata-rata}$ = Harga rata-rata slip angkur

3. Kehilangan akibat gesekan sepanjang tendon

Kehilangan akibat gaya gesekan pada tendon merupakan pengaruh dari perubahannya selongsong (*wobble*) pada tendon dan mengalami garis melengkung pada baja tendon prategang. Kehilangan ini dapat

dirumuskan pada persamaan 2.21 dengan melihat Tabel 2.13 koefisien gaya gesekan kelengkungan dan *wobble* sebagai berikut :

$$\Delta f_{pf} = f_1 (\mu\alpha + KL) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan :

μ = Angka koefisien kelengkungan

K = Angka koefisien *wobble*

α = Sudut pada tendon $\left(\frac{8y}{x}\right)$

f_1 = Tegangan awal

L = Panjang tendon prategang

Koefisien-koefisien kelengkungan dan *wobble* disajikan dalam Tabel 2.14 sebagai berikut.

Tabel 2.14 Koefisien-koefisien kelengkungan dan *wobble*

Tipe Tendon	Koefisien <i>Wobble</i> (K)Tiap Meter	Koefisien Kelengkungan (μ)
Tendon pada selubung Logam fleksibel:		
- Tendon kawat	0,0033 – 0,0049	0,15 – 0,25
- Strand dengan untai 7 kawat	0,0016 – 0,0066	0,15 – 0,25
- Baja mutu tinggi	0,0003 – 0,0020	0,08 – 0,30
Tendon pada selubung logam kayu :		
- Strand dengan untai 7 kawat	0,0007	0,15 – 0,25
Tendon yang diminyaki terlebih dahulu :		
- Tendon kawat dan strand dengan 7 untai kawat	0,001 – 0,0066	0,05 – 0,15
Tendon yang diberi lapisan mastic :		
- Tendon kawat dan strand dengan 7 untai kawat	0,0033 – 0,0066	0,05 – 0,15

(Sumber : Lyn & Burns, 1988)

2.9.2. Kehilangan prategang jangka panjang

Merupakan kehilangan yang dilihat dari akibat adanya waktu yang sudah direncanakan, diantaranya :

1. Rangkak (*creep*)

Struktur yang terletak diantara beton dan tendon. Rangkak merupakan akibat tegangan longitudinal yang terjadi pada waktu saat aliran deformasi pada material beton dan tendon. Deformasi yang berlaku pada kehilangan ini merupakan waktu yang berfungsi sebagai nilai maksimal dari beban yang bekerja secara lama yang dapat disangga oleh karakteristik beton.

Kehilangan tegangan akibat rangkak dapat dirumuskan pada persamaan 2.22 sebagai berikut :

$$\Delta f_{pCR} = nKCR (\bar{f}_{cs} - \bar{f}_{csd}) \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan :

K_{CR} = 2,0 untuk komponen struktur pratarik
= 1,60 untuk komponen struktur pascatarik (keduanya untuk beton normal)

$\bar{f}_{cs}$ = Tegangan dibeton pada level pusat berat baja segera setelah transfer

$\bar{f}_{csd}$ = Tegangan dibeton pada level pusat berat baja akibat semua beban mati tambahan yang bekerja setelah prategang diberikan

n = Rasio modulus

2. Susut pada beton

Kehilangan nilai susut dapat dilihat dari beberapa faktor yang mempengaruhi perubahan tersebut antara lainnya tipe material, waktu perawatan, campuran, dan pemberian gaya prategang serta ukuran struktur dan keadaan lingkungan sekitar. Bentuk dan ukuran susut pada beton dapat dirumuskan pada persamaan 2.23 dibawah ini.

$$\Delta f_{PSH} = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_{ps} (1 - 0,06 \frac{V}{S}) (100 - RH) \dots\dots\dots (2.23)$$

Dengan :

E_{ps} = Modulus elastisitas baja prategang

V = Volume beton dari suatu komponen struktur

- S = Luas penampang dari suatu komponen struktur
- RH = Kelembapan udara relatif
- K_{SH} = Koefisien susut, harganya ditentukan terhadap waktu antara akhir pengecoran dan pemberian gaya prategang (1,0 komponen struktur pasca tarik)

Untuk nilai koefisien susut (Nilai K_{SH}) disajikan Tabel 2.15 sebagai berikut.

Tabel 2.15 Koefisien susut (nilai K_{SH})

Waktu dari akhir perawatan basah hingga pemberian prategang (hari)	1	3	5	7	10	20	30	60
K_{SH}	0,92	0,85	0,80	0,77	0,73	0,64	0,58	0,45

(Sumber: Nawy, 2001)

3. Relaksasi baja prategang

Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja prategang merupakan proses hilangnya perpanjangan waktu yang konstan pada tendon yang mengalami proses stress-relieved. Selain akibat relaksasi, tegangan baja bisa berpengaruh dengan lamanya waktu yang berjalan dengan perbandingan antara rasio prategang awal dan akhir yang dikenal dengan $\frac{f'_{pi}}{f_{py}}$. Untuk Mengetahui besar tegangan yang hilang pada relaksasi baja prategang dapat dilihat pada persamaan 2.24 berikut :

$$\Delta f_{PR} = f'_{pi} \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f'_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \dots \dots \dots (2.24)$$

Dengan :

f'_{pi} = Tegangan awal baja yang dialami elemen beton

f_{py} = Kuat leleh baja prategang

= 0,80 f_{pu} (batang prategang)

= 0,85 f_{pu} (tendon stress-relieved)

= 0,90 f_{pu} (tendon relaksasi rendah)

t_1 = Waktu pada awal suatu interval dihitung dari saat pendongkrakan

t_2 = Waktu diakhir interval dihitung dari saat pendongkrakan

2.10. Pekerjaan *Prestressing*

Pekerjaan *prestressing* adalah pekerjaan pemasangan kabel tendon pada beton prategang atau girder, selama pemasangan kabel baja ini pekerjaan diwajibkan tepat pada titik yang telah ditentukan serta menggunakan alat khusus guna pemasangan tendon.

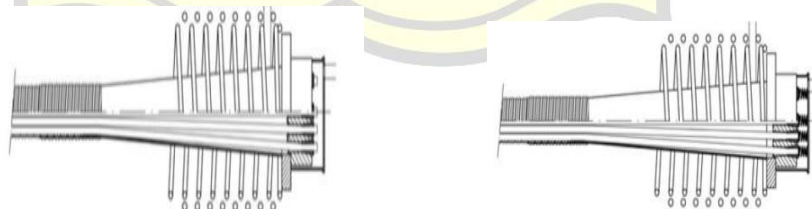
1. Material pekerjaan *prestressing*

- *Strand*, dilakukan dengan cara beberapa *steel wire* yang disatukan secara spiral menjadi satuan kabel.
- *Duct*, adalah pembungkus *strand* dengan bahan dasar *galvanized zinc* yang dibentuk menjadi pipa berulir. *Duct* pembungkus beton dapat dilihat pada Gambar 2.12 dibawah ini.



Gambar 2.12 *Duct* pembungkus beton
(Sumber : Irwanto, 2023)

- Angkur-angkur, terdapat dua jenis ankur yaitu ankur hidup dan ankur mati. Berikut adalah bentuk ankur hidup dan ankur mati yang dapat dilihat pada Gambar 2.13 dibawah ini.



Gambar 2.13 Angkur pada girder (ankur hidup dan ankur mati)
(Sumber : Irwanto, 2023)

- *Non shrink additive* untuk *grouting*, pencampuran (*mixing*) beton yang digunakan untuk mengisi selongsong *duct* setelah *stressing* dengan campuran semen, air, dan *additive*.

2. Peralatan pekerjaan *prestressing*

Pada persiapan pekerjaan *prestressing* untuk kabel *strand* diperlukan perlengkapan alat seperti *Hydraulic Pump* dan *Hydraulic Jack*.



BAB III

METODELOGI PERENCANAAN

3.1. Lokasi Perencanaan

Pada studi perencanaan jembatan ini berlokasi di Jalan Bypass Samota, Labuan Sumbawa, Labuhan Badas, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, Lokasi studi kasus dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Lokasi jembatan
(Sumber: Google Earth, 2023)

3.2. Data Konstruksi Jembatan

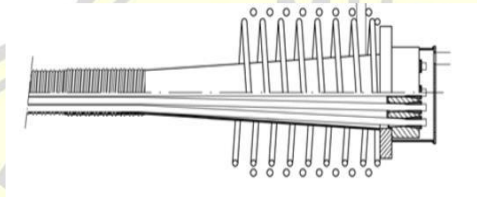
Data umum jembatan adalah sebagai berikut :

1. Bagian Atas

- Nama Jembatan = Jembatan Samota
- Panjang Bentang = 80 m
- Lebar Jembaran = 11 m
- Material Struktur = Beton
- Tipe Struktur = Jembatan Busur
- Tipe Lintasan = Sungai Brang Biji, Labuan Sumbawa
Kabupaten Sumbawa

- Kelas Jembatan = Kelas A
- Jumlah Jalur/ Lajur = 2 Jalur/ 4 Lajur
- Lebar Trotoar = 1,0 m
- Tebal Plat Lantai = 25 cm
- Angkur hidup

Digunakan berdasarkan spesifikasi BBR VT CONA CMI SP 1506 dengan tipe SA terdapat pada Gambar 3.2 yaitu sebagai berikut.

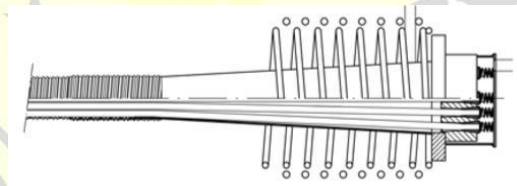


Gambar 3.2 Angkur tipe SA (Annex 1)

(Sumber : BBR VT CONA CMI, 2015)

- Angkur mati

Digunakan berdasarkan spesifikasi BBR VT CONA CMI SP 1506 dengan tipe FA terdapat pada Gambar 3.3 yaitu sebagai berikut.



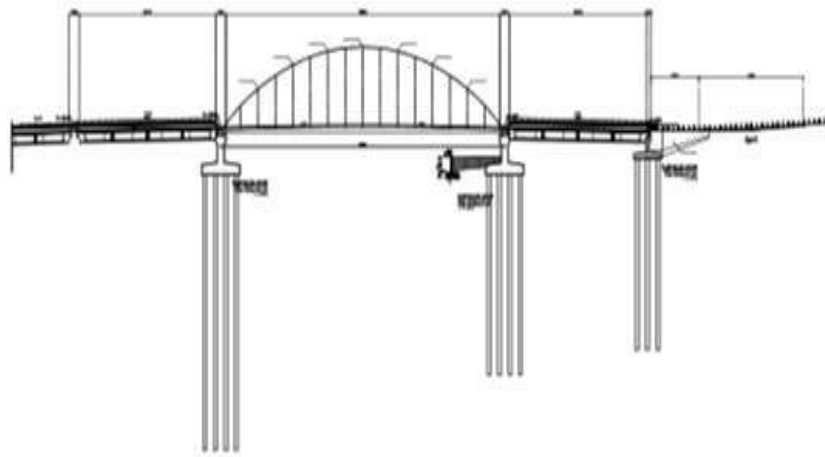
Gambar 3.3 Angkur tipe SA (Annex 1)

(Sumber : BBR VT CONA CMI, 2015)

2. Bagian Bawah

- Pondasi = Pondasi Dalam
- Jenis = *Bored Pile*

Berikut disajikan Gambar 3.4 potongan *existing* Jembatan Samota.



Gambar 3.4 Potongan *existing* jembatan
(Sumber : Dinas PUPR NTB, 2017)

3.3. Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah semua data perencanaan yang diperlukan terkumpul, selanjutnya adalah dilakukan identifikasi agar mendapat pemecahan masalah yang efektif. Pada penelitian ini hanya membahas pendimensian *PC I-Girder* pada Jembatan Samota dan perencanaan bagian atas jembatan sebagai berikut.

1. Perencanaan tiang sandaran pada jembatan
2. Perencanaan Trotoar pada jembatan
3. Perencanaan kerb pada jembatan
4. Perencanaan pelat lantai pada jembatan
5. Perencanaan *PC I-Girder* pada jembatan

3.4. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mengetahui apa saja yang dibutuhkan dalam merencanakan suatu jembatan sehingga mendapatkan hasil penelitian dengan dasar

yang tepat dan dapat dipertanggungjawabkan dengan memperolehnya dari sumber dan peraturan yang berkaitan.

Pedoman- pedoman yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut,

1. SNI 1725:2016 Pembebanan pada jembatan.
2. SNI 2833-2016 Perencanaan jembatan terhadap beban gempa.
3. Data gambar yang diperoleh dari dinas PUPR NTB.

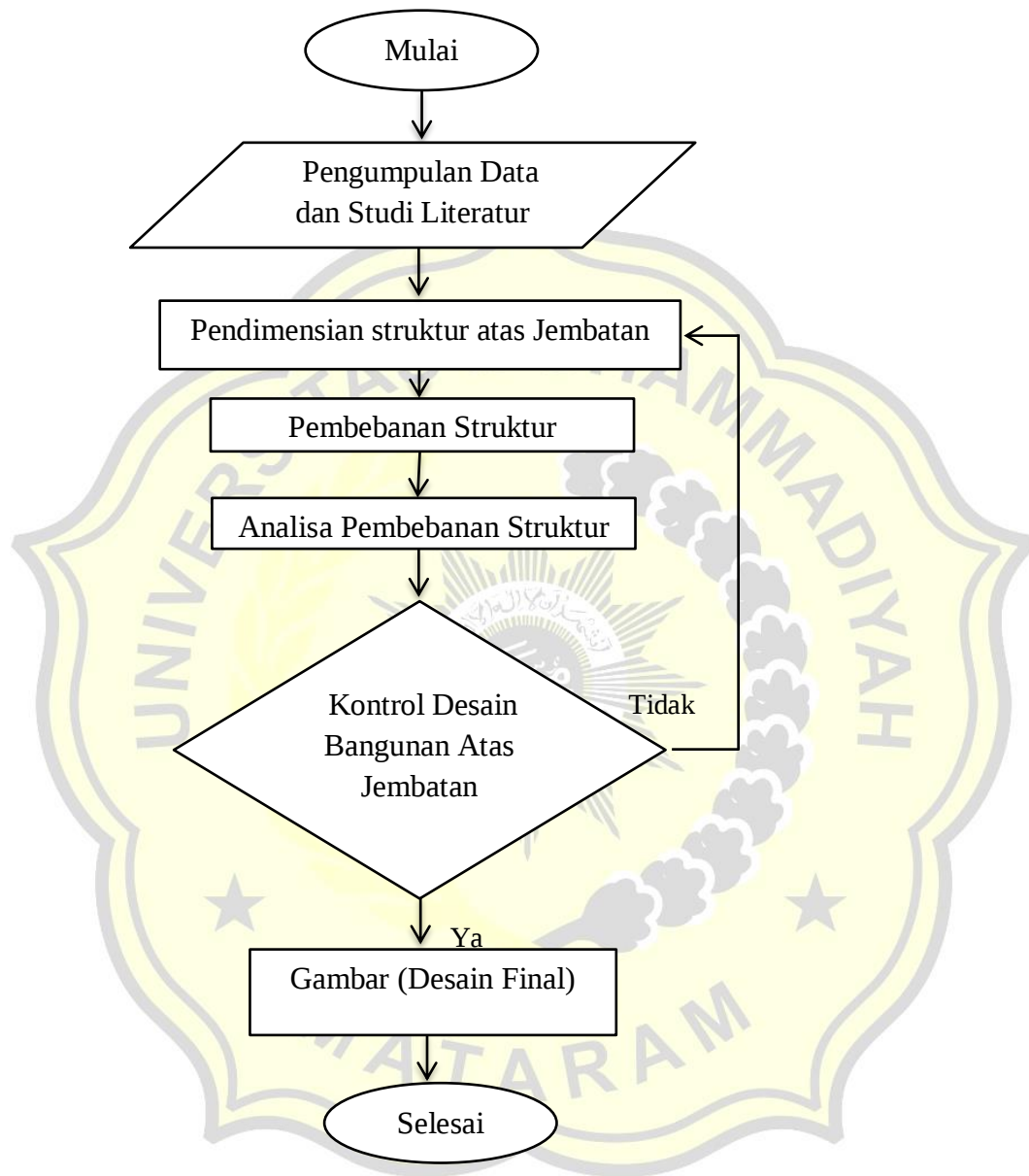
3.5. Tahapan Penelitian

Tahapan perencanaan ulang struktur atas Jembatan Samota sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data terkait berupa data umum jembatan.
2. Menentukan jenis, mutu, dimensi dan material struktur atas jembatan.
3. Menentukan desain *layout* jembatan,
4. Perencanaan struktur atas jembatan yang meliputi perhitungan pembebanan yang bekerja pada jembatan berdasarkan SNI 1725:2016.
5. Membuat gambar detail struktur menggunakan aplikasi AutoCad 2007.

3.6. Langkah Umum Perencanaan Struktur

Pelaksanaan perencanaan mulai dari penentuan dimensi struktur atas sampai tahap akhir perencanaan dapat dilihat pada Gambar 3.5 Bagan alir penelitian perencanaan dibawah ini.



Gambar 3.5 Bagan alir penelitian