

SKRIPSI

PERANCANGAN JEMBATAN SAMOTA SUMBAWA DENGAN MENGUNAKAN BALOK I-GIRDER STATIS TAK TENTU PRATEGANG

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1

Pada program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Mataram



Disusun Oleh:

**NIDA ULYANI
2019D1B005**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**

2023

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

**“PERANCANGAN JEMBATAN SAMOTA SUMBAWA DENGAN
MENGUNAKAN BALOK I-GIRDER STATIS TAK TENTU
PRATEGANG”**

Disusun Oleh:

NIDA ULYANI
2019D1B005

Mataram, 26 Oktober 2023

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Haryadi, ST., M.Sc (Eng)
NIDN: 0027107301

Ahmad Zarkasi, ST., MT
NIDN: 0819068903

Mengetahui,

Dekan FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

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

NIDN.0806027101

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI SKRIPSI

**“PERANCANGAN JEMBATAN SAMOTA SUMBAWA DENGAN
MENGUNAKAN BALOK I-GIRDER STATIS TAK TENTU
PRATEGANG”**

Disusun Oleh:

NIDA ULYANI
2019D1B005

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
Pada Hari/Tanggal: Jumat, 27 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Dr. Eng. Haryadi, ST., M.Sc (Eng).
2. Penguji II : Ahmad Zarkasi, ST., MT.
3. Penguji III : Isfanari, ST., MT.

Mengatahui,

Dekan FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIAH MATARAM

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

NIDN.0806027101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul:

“PERANCANGAN JEMBATAN SAMOTA SUMBAWA DENGAN MENGGUNAKAN BALOK I-GIRDER STATIS TAK TENTU PRATEGANG”

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir/Skripsi ini disebut dalam daftar pustaka. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan hasil plagiasi, saya akan bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku. Demikian surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi.

Mataram, 1 November 2023

Yang membuat pernyataan



NIDA ULYANI
2019D1B005



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 : Nida Ulyani
NIM : 2019D1B005
Tempat/Tgl Lahir : Batayang, 16 Oktober 2001
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp : 085 337532448
Email : nidaulyani@gmail.com

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

Perancangan Jembatan Samota Sumbawa dengan Menggunakan
Balok I-Girdar Statis Tak Tentu Prategang.

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 33%

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.

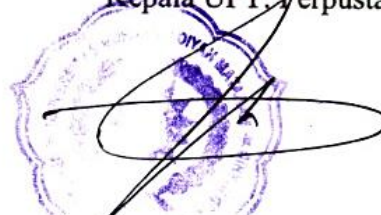
Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 20 November.....2023
Penulis



Nida Ulyani
NIM. 2019D1B005

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



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. PEPRUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jalan K.H. Ahmad Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram

Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : upt.perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

Nama : Nida Ulyani
NIM : 2019D1B005
Tempat/Tgl Lahir : Batuyang, 16 Oktober 2001
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 085337 632 448
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 Jembatan Samota Sumbawa dengan Menggunakan Balok I-Girder
Staks Tak Tentu Prategang

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, 20 November 2023
Penulis

Mengetahui,
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Nida Ulyani
NIM. 2019D1B005

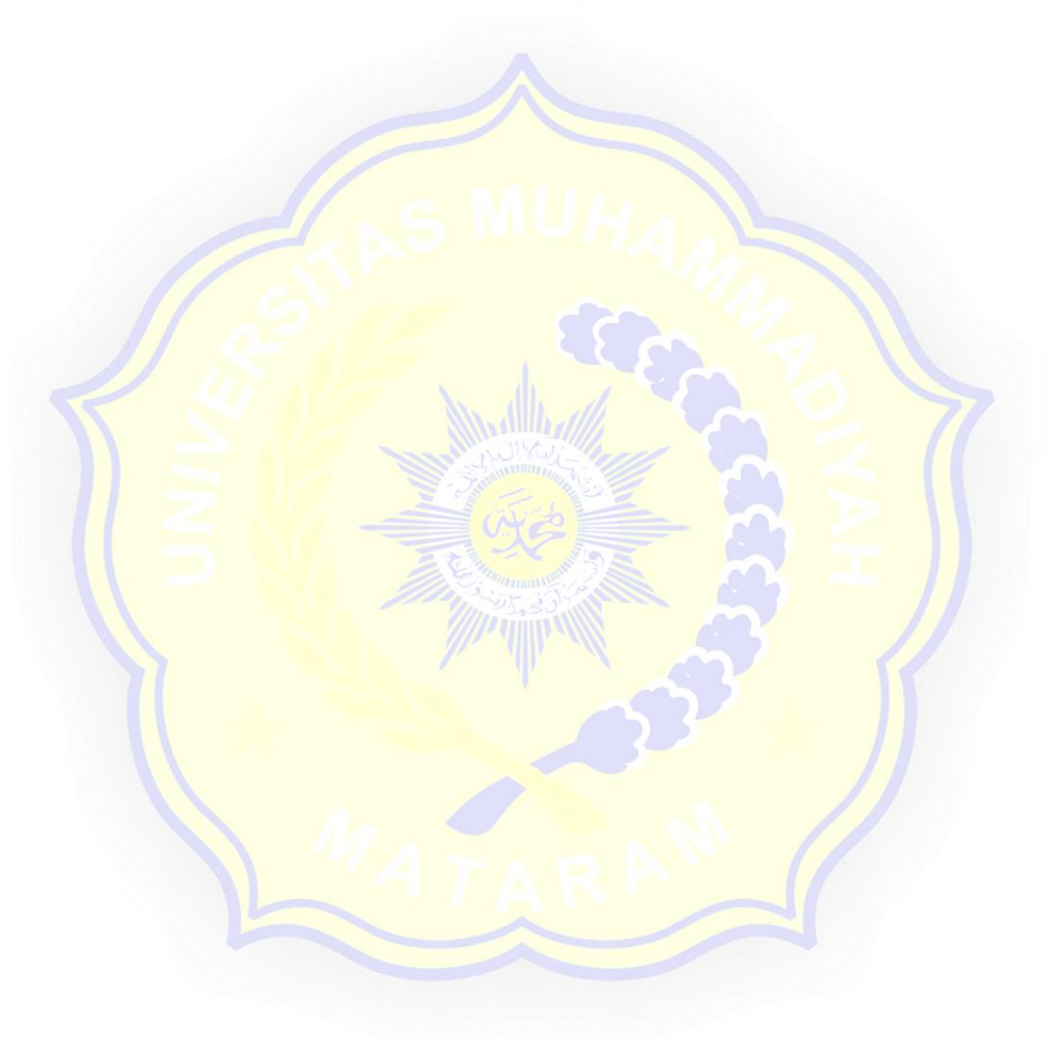


Iskandar, S.Sos., M.A.
NIDN. 0802048904

MOTTO

*“Nothing is impossible.
The word it self says: I’am Possible “*

Audrey Hepburn



PRAKATA

Puji syukur saya ucapkan atas nikmat Allah SWT. Atas limpahan rahmat dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir skripsi dengan judul “Perancangan Jembatan Samota Sumbawa Dengan Menggunakan Balok I-Girder Statis Tak Tentu Prategang” dimana tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan kelulusan guna mencapai gelar sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram. Untuk itu saya ingin mengucapkan rasa terimakasih kepada:

1. Drs. Abdul Wahab, MA., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Adrian Fitrayudha, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Rekayasa Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Dr. Eng. Hariyadi, ST., M.Sc (Eng)., selaku dosen pembimbing I
5. Ahmad Zarkasi, ST., MT., selaku dosen pembimbing II
6. Bapak/Ibu dosen jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram yang telah ikut memberikan bimbingan dan bantuan.
7. Seluruh staf dan pegawai sekertariat Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
8. Kedua orang tua saya tercinta yang senantiasa mendukung, memotivasi dan tiada henti-hentinya mendoakan saya, serta dukungan baik secara moral maupun finansial
9. Adik-adik saya terkasih, Auliya Maryani, Aulina Maryana, dan Nadila Asyifa yang selalu menjadi penyemangat bagi saya.
10. Nia Camelia yang selalu meluangkan waktu dan menyemati saya.
11. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, menyadari akan hal tersebut, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua

pihak guna menyempurnakan tugas akhir ini. Akhir kata semoga karya ini bisa bermanfaat bagi pembacanya.

Mataram, 1 November 2023

Penulis

NIDA ULYANI
2019D1B005



ABSTRAK

Jembatan Samota merupakan salah satu jembatan beton yang terletak di jalan bypass samota, Labuan Sumbawa, Labuhan Badas, Kabupaten Sumbawa. Jembatan ini memiliki bentang 80 m dan lebar jalan 7 m yang dirancang tanpa pilar. Jembatan ini menggunakan beton prategang sebagai konstruksi utamanya dengan sistem balok sederhana. Dalam tugas akhir ini dilakukan perencanaan ulang jembatan Samota menggunakan balok I-girder dengan sistem statis tak tentu prategang. Perencanaan struktur jembatan ini, direncanakan dengan bentang jembatan yang dibagi dua bentang masing-masing 40 m, ditopang dengan 2 buah abutment dan sebuah pilar pada tengah bentang jembatan.

Perencanaan jembatan ini dimulai dengan pengumpulan data-data yang diperlukan seperti panjang dan lebar jembatan, lebar jalan, lebar trotoar, data tanah dan lain-lain. Dari data-data perencanaan dilakukan *preliminary design* penampang dan perhitungan pembebanan yang ditinjau berdasarkan Standar Nasional Indonesia yakni SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016. Selanjutnya dilakukan kontrol tegangan, lendutan, momen, dan geser, juga melakukan perhitungan penulangan balok girder.

Hasil analisis didapatkan balok I-girder yang digunakan memiliki tinggi 2,10 m berdasarkan *bridge product by* PT. Waskita Beton, luas penampang I-girder $0,752 \text{ m}^2$, momen inersia $0,0762 \text{ mm}^4$. Menggunakan 5 buah tendon, pada setiap tendon terdiri dari 12 *strands* dengan diameter *strand* 15,24 mm dengan spesifikasi BBR VT CONA CMI SP. Beban yang diterima balok I-girder adalah 1805,52 kg/m, beban mati sendiri; 2992,20 kg/m, beban mati tambahan; 303,291 kg/m, beban truk; 31500 kg, beban lajur "D"; 1144,688 kg/m dan 12691 kg, untuk gaya rem; 1125 kg, beban angin; 150,171 kg/m dan 859,47kg/m untuk beban gempa. Total kehilangan prategang yang dihasilkan sebesar 3964,911 kN dengan persentase 30,852%.

Kata kunci : Balok I-Girder, Beton Prategang, Statis Tak Tentu, Jembatan Samota

ABSTRACT

The Samota Bridge is situated on Samota Bypass Road in Labuan Sumbawa, Labuhan Badas, Sumbawa Regency, and stands out as one of the concrete bridges in the area. Boasting an 80-meter span and a 7-meter road width, the bridge is uniquely designed without the need for pillars. Its construction primarily relies on prestressed concrete, employing a straightforward D-beam system. This final project focuses on the redesign of the Samota Bridge, incorporating I-girder beams within an indeterminate prestressed static system. The structural planning of the bridge involves dividing the span into two 40-meter spans, supported by two abutments and a central pillar. The planning process initiates with the collection of essential data, including bridge length, road width, sidewalk width, soil data, and other relevant parameters. Using this data, the preliminary design of the cross-section and load calculations follows Indonesian National Standards, specifically SNI 1725:2016 and SNI 2833:2016. Subsequent stages involve stress, deflection, moment, and shear controls, alongside the calculation of reinforcement for the girder beams. The analysis results reveal that the I-girder beam selected has a height of 2.10 meters, based on the product by PT. Waskita Beton, with a cross-sectional area of 0.752 m² and a moment of inertia of 0.0762 mm⁴. Employing 5 tendons, each consisting of 12 strands with a strand diameter of 15.24 mm and specifications of BBR VT CONA CMI SP. The load on the I-girder beam encompasses a dead load of 1805.52 kg/m (self-weight), additional dead load of 2992,20 kg/m, truck load of 303.291 kg/m, lane load "D" of 31500 kg, braking force of 1144.688 kg/m, wind load of 1125 kg, and earthquake load of 150.171 kg/m, and 859.47 kg/m, respectively. The total prestress loss amounts to 3964,911 kN, with a percentage of 30,852%.

Keywords: I-Girder Beam, Prestressed Concrete, Indeterminate Static, Samota Bridge

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAI ASLINYA
MATARAM



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI SKRIPSI	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	v
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
MOTTO	vii
PRAKATA.....	viii
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR NOTASI	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN & LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori.....	6
2.2.1 Pengertian Jembatan	6
2.2.2 Klasifikasi Jembatan	7
2.2.3 Bagian-bagian Konstruksi Jembatan	8
2.2.4 Jenis-jenis Penampang Jembatan Beton Prategang	9
2.2.5 Penampang Balok I-Girder.....	10

2.2.6	Analisa Penampang I-Girder	11
2.2.7	Pembebanan pada Jembatan	13
2.2.8	Faktor dan kombinasi pembebanan	23
2.2.9	Beton prategang (<i>prestressed concrete</i>).....	25
2.2.10	Baja prategang	26
2.2.11	Sistem prategang.....	27
2.2.12	Konsep beton prategang.....	28
2.2.13	Tegangan izin.....	29
2.2.14	Kehilangan prategang	30
2.2.15	Kontrol tegangan setelah kehilangan gaya prategang.....	35
2.2.16	Struktur beton prategang statis tak tentu.....	36
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....		41
3.1	Lokasi Jembatan	41
3.2	Tahapan Perencanaan.....	41
3.3	Tahap Persiapan	42
3.4	Pengumpulan Data.....	42
3.5	Pembebanan Jembatan.....	44
3.6	Analisis Data.....	44
3.7	Bagan Alir Perencanaan.....	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Perhitungan Struktur Atas Jembatan.....	46
4.1.1	Perencanaan Sandaran Jembatan	46
4.1.2	Perencanaan kerb	54
4.1.3	Perencanaan trotoar.....	58
4.1.4	Pelat Lantai Jembatan	64
4.1.5	<i>Deck slab precast</i>	76
4.1.6	Diafragma	81
4.2	Preliminari Desain	86
4.2.1	Pendimensian Balok Prategang (<i>PC I-Girder</i>)	86
4.2.2	Analisis Penampang <i>I-Girder</i>	86
4.3	Pembebanan Balok I-Girder	90
4.3.1	Berat Sendiri (M _{bs})	90
4.3.2	Beban Mati Sendiri (M _s)	93

4.3.3	Beban Mati Tambahan (M_A).....	96
4.3.4	Beban Lajur “D” (TD).....	99
4.3.5	Beban Truk “T”.....	103
4.3.6	Gaya Rem (TB).....	106
4.3.7	Beban Angin (EW).....	110
4.3.8	Beban Gempa (EQ).....	113
4.4	Kombinasi Pembebanan	117
4.5	Gaya Prestress, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon	118
4.5.1	Gaya prategang dan jumlah tendon	118
4.5.2	Posisi Tendon.....	123
4.5.3	Eksentrisitas masing-masing tendon.....	128
4.5.4	Lintasan inti tendon	131
4.5.5	Tata letak tendon.....	133
4.6	Kehilangan Gaya Prategang (<i>Loss of Prestress</i>).....	137
4.6.1	Kehilangan gaya prategang jangka pendek	137
4.6.2	Kehilangan Gaya Prategang Jangka Panjang.....	140
4.6.3	Total Kehilangan Prategang (Δf_{PT})	143
4.7	Tegangan yang Terjadi pada Penampang Balok I-Girder.....	144
4.8	Lendutan pada Balok I-Girder.....	165
4.9	Tinjauan Momen Ultimit Balok I-Girder.....	171
4.9.1	Kapasitas momen ultimit	171
4.9.2	Momen ultimit pada balok I-girder.....	173
4.9.3	Kombinasi pembebanan ultimit.....	175
4.10	Penulangan <i>End Block</i>	177
4.11	Momen statis penampang balok I-girder.....	178
4.12	Perhitungan sengkang untuk <i>bursting force</i>	178
4.13	Penulangan Balok I-Girder.....	180
4.13.1	Penulangan longitudinal.....	180
4.13.2	Penulangan geser.....	182
4.14	Perhitungan Penghubung Geser (<i>Shear Connector</i>).....	189
4.15	Perencanaan Bantalan Elastomer.....	192
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		196
5.1	Kesimpulan.....	196

5.2 Saran.....	197
DAFTAR PUSTAKA.....	198
LAMPIRAN	200



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Berat isi untuk beban mati.....	13
Tabel 2. 2 Faktor beban untuk berat sendiri	14
Tabel 2. 3 Faktor beban untuk beban mati tambahan.....	14
Tabel 2. 4 Faktor beban untuk beban Lajur “D”	15
Tabel 2. 5 Faktor beban hidup untuk lajur “T”	16
Tabel 2. 6 Nilai V0 dan Z0 untuk berbagai varian kondisi permukaan hulu	19
Tabel 2. 7 Tekanan angin dasar	19
Tabel 2. 8 Tekanan angin yang bekerja pada kendaraan	20
Tabel 2. 9 Temperatur jembatan rata-rata nominal	21
Tabel 2. 10 Faktor beban akibat susut dan rangkai	22
Tabel 2. 11 Faktor beban akibat pengaruh prategang.....	22
Tabel 2. 12 Kombinasi beban dan faktor beban	23
Tabel 2. 13 Koefisien susut (nilai KSH)	33
Tabel 4. 1 Perhitungan luas bangunan yang ditinjau pada trotoar	59
Tabel 4. 2 Berat sendiri dan momen pada trotoar	59
Tabel 4. 3 Rekapitulasi momen plat lantai	69
Tabel 4. 4 Perhitungan section properties gelagar prategang.....	87
Tabel 4. 5 Perhitungan dan analisis penampang dan momen inersia gelagar komposit.....	89
Tabel 4. 6 Perhitungan momen dan gaya geser akibat berat sendiri balok	92
Tabel 4. 7 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban mati sendiri.....	95
Tabel 4. 8 Perhitungan beban mati tambahan	97
Tabel 4. 9 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban mati tambahan.....	98
Tabel 4. 10 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban lajur “D”.....	102
Tabel 4. 11 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban truk	105
Tabel 4. 12 Perhitungan momen dan gaya geser akibat gaya rem	109
Tabel 4. 13 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban angin.....	111
Tabel 4. 14 Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban angin.....	116
Tabel 4. 15 Rekapitulasi momen dan gaya geser maksimum	117
Tabel 4. 16 Kombinasi momen maksimum.....	117

Tabel 4. 17 Kombinasi gaya geser maksimum.....	118
Tabel 4. 18 Perhitungan statis momen tendon	124
Tabel 4. 19 Perhitungan statis momen tendon jarak 3/8 dari tepi	125
Tabel 4. 20 Perhitungan statis momen tendon jarak 3/4 dari tepi	126
Tabel 4. 21 Perhitungan statis momen tendon tumpuan tengan.....	127
Tabel 4. 22 Eksentrisitas tendon.....	130
Tabel 4. 23 Lintasan inti tendon.....	133
Tabel 4. 24 Tata letak dan trace kabel tendon	134
Tabel 4. 25 Tegangan Akibat Gesekan Tendon	138
Tabel 4. 26 rekapitulasi kehilangan gaya prategang	143
Tabel 4. 27 Tegangan yang terjadi karena pengaruh rangkai di lapangan.....	153
Tabel 4. 28 Tegangan yang terjadi karena pengaruh rangkai di tumpuan.....	154
Tabel 4. 29 Tegangan yang terjadi karena pengaruh susut di lapangan	154
Tabel 4. 30 Tegangan yang terjadi karena pengaruh susut di tumpuan.....	154
Tabel 4. 31 Momen akibat temperature.....	158
$f_{bc} = MEQ - W_{bc} \times 10^3 = 1718,941 \cdot 0,508 \times 10^{-3} = 3,384$ Mpa	
Tabel 4. 32 Tegangan yang terjadi pada lapangan.....	160
Tabel 4. 33 Tegangan yang terjadi pada tumpuan.....	160
Tabel 4. 34 Rekapitulasi Tegangan Beton Akibat Kombinasi Pembebanan di Lapangan.....	161
Tabel 4. 35 Rekapitulasi Tegangan Beton Akibat Kombinasi Pembebanan di Tumpuan.....	163
Tabel 4. 36 Rekapitulasi Lendutan pada Balok.....	170
Tabel 4. 37 Rekapitulasi momen balok.....	174
Tabel 4. 38 Rekapitulasi momen balok ultimit	177
Tabel 4. 39 Data angkur (L=80).....	177
Tabel 4. 40 Momen statis luasan bagian atas (Sxa) bentang 80 m.....	178
Tabel 4. 41 Momen statis luasan bagian bawah (Sxb) bentang 80 m	178
Tabel 4. 42 Perhitungan sengkang arah vertikal (L = 80 m)	179
Tabel 4. 43 Perhitungan sengkang arah horizontal (L = 80 m)	180
Tabel 4. 44 Jumlah sengkang yang digunakan untuk bursting force (L = 80 m).....	180

Tabel 4. 45 Momen dan gaya geser maksimum kombinasi 1 (Kuat I)	184
Tabel 4. 46 Tinjauan geser di atas garis netral	185
Tabel 4. 47 Tinjauan geser di bawah garis netral	187
Tabel 4. 48 Jarak sengkang yang digunakan	188
Tabel 4. 49 Perhitungan jarak shear connector	191
Tabel 4. 50 Resume desain bantalan elastomer	195

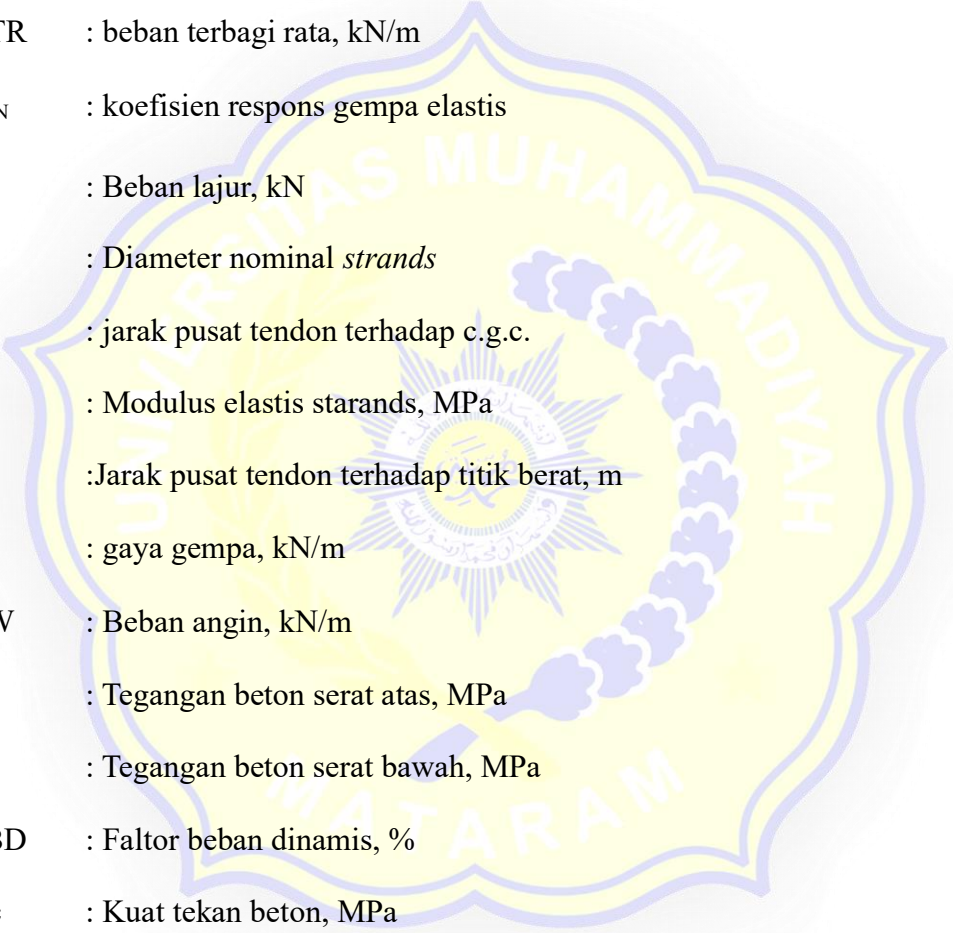


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian-bagian konstruksi jembatan	8
Gambar 2. 2 Precast Concrete I-Girder (PC I-Girder)	9
Gambar 2. 3 Precast Concrete U-Girder (PC U-Girder)	10
Gambar 2. 4 Box Girder	10
Gambar 2. 5 Penampang balok I-girder	12
Gambar 2. 6 Beban lajur “D”	16
Gambar 2. 7 Pembebanan truk “T” (500 kN)	17
Gambar 2. 8 Jenis-jenis baja yang digunakan untuk beton prategang	26
Gambar 2. 9 Proses pembuatan beton prategang pascatarik (post-tension)	27
Gambar 2. 10 Proses pembuatan beton prategang pascatarik (post-tension)	28
Gambar 2. 11 Sistem struktur statis tak tentu	37
Gambar 2. 12 Tata-letak tendon untuk balok menerus	38
Gambar 2. 13 Garis tekan pada suatu balok prategang menerus	39
Gambar 2. 14 Garis tekanan dan profil kabel konkordan	40
Gambar 3. 1 Lokasi Jembatan	41
Gambar 3. 2 Potongan melintang existing Jembatan Samota	43
Gambar 3. 3 Potongan memanjang existing Jembatan Samota	43
Gambar 3. 4 Bagan Alir Perencanaan Jembatan	45
Gambar 4. 1 Perencanaan sandaran jembatan	46
Gambar 4. 2 Diameter pipa sandaran	47
Gambar 4. 3 Prinsip beban yang bekerja pada pipa sandaran	48
Gambar 4. 4 Skema pembebanan pipa sandaran Jembatan	49
Gambar 4. 5 Detail tiang sandaran jembatan	53
Gambar 4. 6 Dimensi kerb jembatan	54
Gambar 4. 7 Detail Kerb	57
Gambar 4. 8 Pembebanan berat sendiri trotoar	58
Gambar 4. 9 Pembebanan akibat beban hidup trotoar	60
Gambar 4. 10 Detail penulangan trotoar jembatan	64
Gambar 4. 11 Dimensi plat lantai	64
Gambar 4. 12 Dimensi deck slab precast	76

Gambar 4. 13 Dimensi balok diafragma	81
Gambar 4. 14 Dimensi PCI Girder.....	86
Gambar 4. 15 Section properties PCI-Girder.....	87
Gambar 4. 16 Beban merata akibat berat sendiri gelagar	90
Gambar 4. 17 Beban merata akibat beban mati sendiri	94
Gambar 4. 18 Diameter pipa drainase.....	96
Gambar 4. 19 Beban merata akibat beban mati tambahan.....	97
Gambar 4. 20 Beban lajur "D"	100
Gambar 4. 21 Faktor beban dinamis untuk bentang	100
Gambar 4. 22 Beban truk "T"	103
Gambar 4. 23 Beban truk pada balok.....	104
Gambar 4. 24 Pembebanan rem pada balok.....	107
Gambar 4. 25 Beban angin pada balok	110
Gambar 4. 26 Beban merata akibat beban gempa.....	115
Gambar 4. 27 Rencana layout kabel tendon.....	123
Gambar 4. 28 Posisi tendon tumpuan tepi	124
Gambar 4. 29 Posisi kabel tendon pada jarak 3/8 tepi	126
Gambar 4. 30 Posisi kabel tendon pada jarak 3/4 tepi	127
Gambar 4. 31 Posisi tendon tumpuan tengah.....	128
Gambar 4. 32 Kepala angkur	131
Gambar 4. 33 Plat angkur.....	132
Gambar 4. 34 Trumpet tipe A.....	132
Gambar 4. 35 Grafik Posisi Tendon	136
Gambar 4. 36 Tata letak tendon	136
Gambar 4. 37 Tulangan longitudinal I-girder	182
Gambar 4. 38 Gaya-gaya yang terjadi pada tendon	182
Gambar 4. 39 Shear Connector	190
Gambar 4. 40 Bantalan elastomer	195

DAFTAR NOTASI



A	: luas penampang, m ²
as	: Jarak sengkang yang diperlukan
Ast	: Luas tampang nominal satu <i>strands</i> , m ²
BGT	: Beban Garis Terpusat, kN/m
BTR	: beban terbagi rata, kN/m
cc _N	: koefisien respons gempa elastis
D	: Beban lajur, kN
d	: Diameter nominal <i>strands</i>
e	: jarak pusat tendon terhadap c.g.c.
Es	: Modulus elastis <i>strands</i> , MPa
es	: Jarak pusat tendon terhadap titik berat, m
E _Q	: gaya gempa, kN/m
EW	: Beban angin, kN/m
f _a	: Tegangan beton serat atas, MPa
f _b	: Tegangan beton serat bawah, MPa
FBD	: Faltor beban dinamis, %
f'c	: Kuat tekan beton, MPa
fpu	: Kuat tarik <i>strands</i> , MPa
fpy	: Tegangan leleh <i>strands</i> , MPa
I _x	: momen inersia penampang terhadap sumbu x, m ⁴
M _A	: Beban mati tambahan, kN

M_{bs}	: Momen maksimum ditengah bentang
M_n	: Momen nominal, kN.m
M_c	: Berat Sendiri, kN.m
M_T	: Momen total, kN.m
M_u	: Momen ultimit, kN.m
n	: Jumlah tendon atau jumlah pasangan tendon yang ditarik secara sekuensial
P	: gaya prategang
P_{bsl}	: Beban putus satu <i>strands</i> , kN
P_{eff}	: Gaya prategang efektif, kN
P_j	: Gaya prategang akibat jacking, kN
P_t	: Gaya prategang awal, kN
P_o	: Persentasi tegangan leleh yang timbul pada baja, %
Q_{bs}	: Berat sendiri box girder prestress
R	: Resultan gaya
R_d	: faktor modifikasi respons
T	: Beban Truk
T_B	: Gaya Rem
TP	: Pembebanan untuk pejalan kaki
V	: Gaya geser, kN
V_B	: kecepatan dasar
V_{bs}	: Gaya geser maksimum tumpuan
VDZ	: kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_o : kecepatan gesekan angin

V_{10} : kecepatan angin pada elevasi 10000 mm diatas permukaan

W_a : Momen tahanan atas, m^3

W_b : Momen tahanan bawah, m^3

W_c : Berat jenis beton prategang

W_t : berat total struktur

y : jarak dari sumbu yang melalui titik berat

y_a : Titik berat serat atas, m

y_b : Titik berat serat bawah, m

Z : elevasi struktur , m

Z_o : panjang gesekan dihilu jembatan, m

Δfp_T : Kehilangan prategang total,%

Δfp_A : kehilangan prategang akibat pergeseran ankur,%

Δfp_F : kehilangan prategang akibat friksi/gesekan,%

Δfp_{ES} : kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton,%

Δfp_R : kehilangan relaksasi tendon prategang,%

Δfp_{CR} : kehilangan prategang akibat rangkai pada beton,%

Δfp_{SK} : kehilangan prategang akibat susut pada beton,%

DAFTAR LAMPIRAN

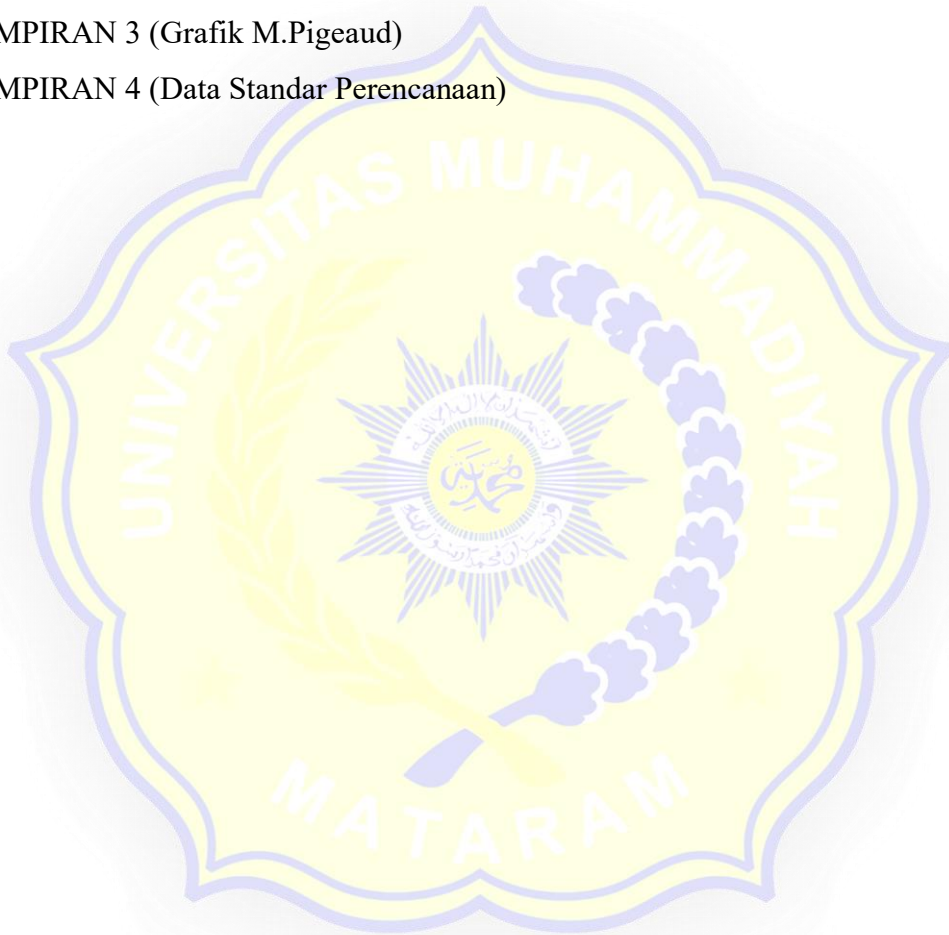
LAMPIRAN 1 (Perhitungan Beban Kombinasi)

1. Rekapitulasi momen akibat beban
2. Rekapitulasi gaya geser akibat beban
3. Tabel kombinasi momen akibat beban
4. Tabel kombinasi gaya geser akibat beban

LAMPIRAN 2 (Data Gambar)

LAMPIRAN 3 (Grafik M.Pigeaud)

LAMPIRAN 4 (Data Standar Perencanaan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur transportasi darat yang memiliki aspek penting bagi kelancaran pergerakan lalu lintas. Jembatan merupakan suatu konstruksi yang berfungsi sebagai bangunan pelengkap sarana transportasi jalan yang menghubungkan suatu tempat ke tempat lainnya yang terputus akibat adanya suatu hambatan seperti aliran sungai, jurang, rel kreta api dan sebagainya, sehingga memungkinkan untuk dilintasi dengan aman dan lancar.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, konstruksi jembatan terus mengalami perkembangan ke arah yang lebih maju dari yang awalnya dibangun sangat sederhana menggunakan material kayu, kemudian jembatan mulai dibuat dengan menggunakan material baja ataupun beton yang terus berkembang dan menciptakan beton prategang. Beton prategang merupakan material beton yang dikompositkan dengan baja, dimana beton diberikan tegangan tekan melalui kabel baja yang ditarik pada penampang beton sebelum adanya beban yang bekerja pada struktur.

Jembatan Samota merupakan salah satu jembatan beton yang terletak di jalan bypass samota, Labuan Sumbawa, Labuhan Badas, Kabupaten Sumbawa. Jembatan ini dibangun untuk melintasi Sungai Brang Biji, Labuhan Sumbawa dan menjadi bangunan penghubung Simpang Jalan Negara (SJM) Garuda dengan Tanjung Menangis serta menjadi salah satu ikon kabupaten dan menjadi tempat wisata baru di Sumbawa. Jembatan yang dibangun pada tahun 2015 dan mulai beroperasi pada awal tahun 2018 ini merupakan jembatan yang memiliki desain pelengkung pertama di Pulau Sumbawa, jembatan ini juga menggunakan struktur I girder untuk tiga bentang jembatan dari total empat bentang jembatan. Pada struktur jembatan pelengkung yang merupakan struktur utama dari jembatan ini memiliki panjang 80 m dan lebar 7 m. Sedangkan dua bentang lainnya memiliki panjang masing-masing 40,5 m.

Pada dasarnya, beton prategang digunakan untuk meminimalisir waktu pekerjaan karena dalam proses pembuatan beton prategang dapat dilaksanakan di luar proyek (*precast concrete*). Beton prategang juga dapat mengatasi kelemahan beton yang lemah terhadap gaya tarik, metode beton prategang yang diberikan tegangan melalui baja-baja dalam kabel sehingga beton mencapai tegangan ultimit yang digunakan dan mampu menahan gaya tarik dengan baik. Namun penggunaan sistem struktur statis tertentu mengakibatkan terjadinya momen yang besar di tengah bentang sehingga ukuran penampang yang diperlukan juga akan lebih besar. Perubahan sistem struktur dari statis tertentu menjadi statis tak tentu adalah salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mereduksi momen yang terjadi. Penggunaan sistem statis tak tentu dapat meminimalisir reduksi momen yang terjadi di tengah bentang, sehingga biaya lebih ekonomis dibandingkan dengan sistem statis tertentu. Jembatan Samota akan direncanakan ulang (*redesign*) menggunakan beton prategang dengan jenis balok girder yang digunakan adalah *PC-I Girder (Prestressed Concrete I Girder)* dengan sistem statis tak tentu prategang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka didapat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah beban yang diterima bangunan atas jembatan tipe *PC-I Girder* jika ditinjau dari peraturan pembebanan standar nasional indonesia (SNI 1725:2016 dan SNI 2833-2016)?
2. Bagaimana merencanakan struktur balok jembatan dengan menggunakan *PC-I Girder* dengan perhitungan statis tak tentu?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari perancangan jembatan samota Sumbawa dengan menggunakan balok girder I statis tak tentu prategang ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar beban yang diterima bangunan atas jembatan tipe *PC-I Girder* jika ditinjau dari peraturan pembebanan standar nasional indonesia (SNI 1725:2016 dan SNI 2833-2016).

2. Mengetahui cara perencanaan struktur balok jembatan dengan menggunakan *PC-I Girder* dengan perhitungan statis tak tentu.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam perancangan jembatan samota Sumbawa dengan menggunakan balok I-*Girder* statis tak tentu prategang ini yaitu:

1. Perencanaan hanya mencakup bangunan atas jembatan.
2. Tidak menghitung data hidrologi.
3. Tidak meninjau kestabilan profil sungai dan scouring.
4. Tidak membahas struktur bawah jembatan.
5. Tidak menganalisa dampak pilar jembatan terhadap perubahan dimensi balok *PC-I Girder* terhadap aliran sungai.
6. Tidak melakukan perencanaan terhadap analisa biaya, waktu pengerjaan dan manajemen konstruksi.
7. Perhitungan dan analisa beban yang bekerja pada bangunan atas jembatan dilakukan menggunakan program SAP2000 dan aplikasi Microsoft Excel yang mengacu pada SNI 1725:2016 dan SNI 2833-2016.
8. Penggambaran permodelan jembatan menggunakan aplikasi AutoCad 2013.
9. Data jembatan diperoleh dari Dinas PUPR NTB.
10. Penelitian ini hanya dilakukan pada Jembatan Samota.

1.5 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari perancangan jembatan samota Sumbawa dengan menggunakan balok girder I statis tak tentu prategang ini adalah sebagai berikut:

3. Mengetahui besar beban yang diterima bangunan atas jembatan tipe *PC-I Girder* jika ditinjau dari peraturan pembebanan standar nasional indonesia (SNI 1725:2016 dan SNI 2833-2016).
4. Mengetahui carar perencanaan struktur balok jembatan dengan menggunakan *PC-I Girder* dengan perhitungan statis tak tentu.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang bisa didapat dari perancangan jembatan samota Sumbawa dengan menggunakan balok girder I statis tak tentu prategang ini adalah:

1. Sebagai tambahan pengetahuan tentang dasar-dasar perhitungan dan perencanaan konstruksi jembatan *PC-I Girder* beton prategang dengan sistem statis tak tentu.
2. Sebagai refrensi dan bahan pertimbangan untuk perencanaan selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA & LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Menurut Nawy (2001) reduksi momen dan tegangan di tengah bentang dengan cara desain sistem yang menerus akan menghasilkan komponen struktur dengan tinggi lebih kecil sekaligus mempunyai kekakuan lebih besar dan defleksi lebih kecil dibandingkan dengan komponen struktur yang ditumpu sederhana dengan bentang dan beban yang sama. Dengan demikian, struktur yang lebih ringan dengan pondasi yang lebih ringan pula akan menghasilkan harga bahan dan biaya pelaksanaan yang lebih rendah. Selain itu, kestabilan struktural dan ketahanan terhadap beban lateral dan longitudinal biasanya akan meningkat.

Syarani (2019) telah melakukan perencanaan ulang jembatan Dodokan menggunakan beton prategang segmental I girder dengan system statis tak tentu. Penggunaan sistem statis tak tentu untuk perencanaan jembatan yang memiliki bentang 25 meter dan 45 meter dengan satu pilar ini adalah untuk mereduksi momen yang terjadi sehingga memungkinkan ukuran penampang menjadi lebih kecil. Hasil dari analisis tersebut, didapatkan girder yang digunakan memiliki tinggi 1,90 meter dengan 3 buah tendon. Pada setiap tendon terdiri dari 21 strand dengan diameter strand 15,7 mm. Gaya prategang awal yang didapat sebesar 10750,00 kN, dengan gaya prategang efektif sebesar 8448,207 kN dengan total kehilangan prategang sebesar 33,200%. Dimensi bangunan bawah digunakan abutment dengan tinggi 5,2 meter dengan lebar *pile cap* 4 meter dan pilar dengan tinggi 7,4 meter dengan lebar *pile cap* 5 meter. Adapun pondasi menggunakan pondasi dalam (tiang pancang) beton pejal dengan diameter 0,6 m dan kedalaman 17 m.

Ilham Prasetyo Adi (2021) telah melakukan perencanaan ulang jembatan sokong menggunakan beton prategang dengan sistem statis tak tentu. Dalam penelitian ini dilakukan perencanaan ulang jembatan Sokong yang memiliki bentang 60 meter dengan satu pilar menggunakan beton prategang segmental box girder dengan sistem statis tak tentu. Dari hasil analisis didapatkan girder yang digunakan memiliki tinggi 1.5 m, lebar plat 9.5 m, luas penampang girder 4.3784

m², momen inersia 4.867 mm⁴. Menggunakan 6 buah tendon, pada setiap tendon terdiri dari 22 strand dengan diameter strand 12.7 mm dengan spesifikasi BBR VT CONA CMI SP. Total kehilangan prategang yang dihasilkan sebesar 3252.795 kN dengan persentase 16.219 %. Dimensi bangunan bawah digunakan abutment dengan tinggi 5 m dan pilar dengan tinggi 7.4 m.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Jembatan

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah atau jalan yang putus. Rintangan ini biasanya jalan lain berupa jalan air atau lalu lintas biasa. Jembatan yang berssada diatas lalu lintas biasanya disebut *viaduct* (Struyk dan Veen, 1984). Jembatan adalah suatu struktur yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, kali, jalan raya, jalan kereta api dan lain-lain. Rute transportasi tersebut berupa, jalan kereta api jalan trem, pejalan kaki, rentetan kendaraan dan lain-lain (Manu, 1995).

Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007) jembatan merupakan suatu sistem transportasi untuk tiga hal, yaitu:

1. Merupakan pengontrol kapasitas dari sistem.
2. Mempunyai biaya tertinggi per mil dari sistem.
3. Jika jembatan runtuh, sistem akan lumpuh.

Bila lebar jembatan kurang lebar untuk menampung jumlah jalur yang diperlukan untuk lalu lintas, jembatan akan menghambat laju lalu lintas. Dalam hal ini jembatan akan menjadi pengontrol volume dan berat lalu lintas yang dapat dilayani oleh sistem transportasi. Oleh karena itu, jembatan dapat dikatakan mempunyai fungsi keseimbangan (*balancing*) dari sistem transportasi (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

2.2.2 Klasifikasi Jembatan

Klasifikasi jembatan menurut Manu (1995) dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis/tipe berdasarkan kegunaan, material yang dipakai, letak lantai kendaraan dan bentuk strukturnya. Berdasarkan kegunaannya jembatan dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Jembatan jalan raya (*highway bridge*)
2. Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*)
3. Jembatan jalan air (*waterway bridge*)
4. Jembatan jalan pipa (*pipeway bridge*)
5. Jembatan militer (*military bridge*)
6. Jembatan pejalan kaki (*pedestrian bridge*)

Berdasarkan material konstruksinya, jembatan dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Jembatan kayu (*log bridge*)
2. Jembatan baja (*steel bridge*)
3. Jembatan beton (*concrete bridge*)
 - a. Jembatan beton bertulang (*reinforced concrete bridge*)
 - b. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)

Berdasarkan letak lantai kendaraan, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain:

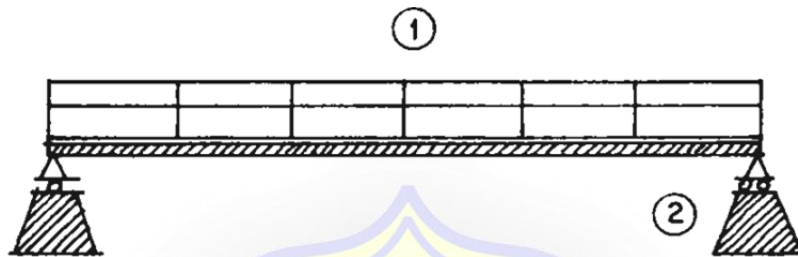
1. Jembatan lantai kendaraan di bawah
2. Jembatan lantai kendaraan di atas
3. Jembatan lantai kendaraan di tengah
4. Jembatan lantai kendaraan di atas dan di bawah (*double deck bridge*)

Berdasarkan bentuk/tipe strukturnya, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, antara lain:

1. Jembatan gelagar (*girder bridge*)
2. Jembatan pelengkung/busur (*arch bridge*)
3. Jembatan rangka (*truss bridge*)
4. Jembatan portal (*rigid frame bridge*)
5. Jembatan gantung (*suspension bridge*)
6. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)

2.2.3 Bagian-bagian Konstruksi Jembatan

Konstruksi jembatan terbagi menjadi 2(dua) bagian utama struktur yaitu struktur atas dan struktur bawah (Manu, 1995).



Gambar 2. 1 Bagian-bagian konstruksi jembatan

Sumber: Manu, A. I., 1995

1. Struktur atas (*upper structure*) jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem dan beban pejalan kaki. Struktur atas jembatan meliputi:
 - a. Tiang sandaran
 - b. Plat lantai jembatan
 - c. Trotoar
 - d. Slab lantai kendaraan
 - e. Balok diafragma
 - f. Gelagar (*girder*)
2. Struktur bawah (*sub structure*) jembatan berfungsi memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air dan hanyutan, tumbukan, gesekan pada tumpuan dan sebagainya untuk kemudian disalurkan ke fondasi. Selanjutnya beban-beban tersebut disalurkan oleh fondasi ke tanah dasar. Struktur bawah jembatan meliputi:
 - a. Abutment
 - b. Pilar jembatan
 - c. Pondasi jembatan

2.2.4 Jenis-jenis Penampang Jembatan Beton Prategang

Secara umum terdapat beberapa jenis penampang jembatan beton, diantaranya sebagai berikut.

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

Penampang I (*PC I-Girder*) merupakan penampang jembatan yang berbentuk seperti huruf 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. Bentuk penampang *PC I-girder* dapat dilihat pada gambar 2.2 sebagai berikut.



Gambar 2. 2 *Precast Concrete I-Girder (PC I-Girder)*

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

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

Penampang U (*PC U-Girder*) merupakan penampang jembatan yang memiliki bentuk seperti huruf U yang terbuat dari beton yang diperkuat dengan baja-baja prategang. Bentuk penampang *PC U-girder* dapat dilihat pada gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2. 3 *Precast Concrete U-Girder (PC U-Girder)*

Sumber: <https://ibb.jatimprov.go.id>

3. *Box Girder* (Penampang Berbentuk Kotak atau Trapesium)

Box Girder merupakan penampang yang terdiri dari satu atau beberapa balok persegi berongga dari beton. *Box girder* memiliki ketahanan terhadap torsi dan memiliki nilai estetika yang lebih tinggi dibandingkan dengan gelagar yang lainnya. Penampang jenis ini biasanya digunakan pada jembatan dengan bentang yang cukup panjang dan lebar. Gambar *Box Girder* dapat dilihat pada gambar 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2. 4 *Box Girder*

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

2.2.5 Penampang Balok I Girder

Girder profil I merupakan bentuk yang paling banyak digunakan untuk pekerjaan balok jembatan. Girder Profil I berbentuk penampang I dengan penampang bagian tengah lebih langsing dari bagian pinggirnya. Girder profil I memiliki penampang yang kecil dibandingkan jenis girder lainnya, sehingga biasanya dari hasil analisa merupakan penampang yang ekonomis. Selain itu

penggunaan balok beton prategang dengan bentuk I dipilih karena dianggap lebih mudah dalam proses pembuatan, lebih efisien, dan mudah pelaksanaannya di lapangan. (Armin, 2018)

Menurut T.Y..Lin dan Burns (1982), penampang I-*Girder* mempunyai beton yang dikonsentrasikan dekat serat terluar di mana dapat lebih efektif memberikan gaya tekan, baik pada saat peralihan maupun pada beban kerja dan beban batas. Semakin banyaknya beton yang dipusatkan (dikonsentrasikan) dekat serat terluar, maka akan semakin besar jarak kern (kedudukan titik-titik lokasi gaya normal) dan semakin besar lengan momen yang diberikan untuk kopel penahan dalam. Akan tetapi, prinsip pemusatan beton pada serat terluar tidak dapat dipakai terlalu jauh karena lebar dan tebal flens ditentukan oleh pertimbangan praktis, dan web (badan balok yang berpenampang satu) harus mempunyai tebal minimum untuk memikul geser, untuk mencegah tekuk dan untuk memungkinkan pengecoran beton dengan lebih mudah.

2.2.6 Analisa Penampang I Girder

Analisis penampang PC-I *Girder* terdiri dari perhitungan luas, perhitungan pembebanan penampang, perhitungan momen inersia dan jarak titik berat penampang terhadap serat atas dan serat bawah, serta statis momen penampang terhadap serat atas dan bawah dapat dihitung dengan persamaan 2.1 sampai dengan persamaan 2.3 berikut.

1. Penampang gelagar prategang (*precast*)

Perhitungan letak titik berat atau letak C_{gc} (*Central gravity of concrete*) dapat dicari menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut.

$$\bar{Y} = Y_b = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

Y_b = Jarak letak sumbu x dari alas balok girder (m)

A = Luas balok prategang (m²)

y_i = Jarak titik berat balok terhadap alas balok girder (m)

Dilihat dari bentuk penampang balok PC-I Girder sejatinya tersusun dari beberapa segmen yaitu segmen persegi atau persegi panjang dan segmen segi tiga. Perhitungan momen inersia terhadap sumbu x dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 dan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$I_x = \frac{1}{12} b \cdot h^3 \quad (\text{Untuk penampang persegi}) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$I_x = \frac{1}{36} b \cdot h^3 \quad (\text{Untuk penampang segitiga}) \dots\dots\dots (2.3)$$

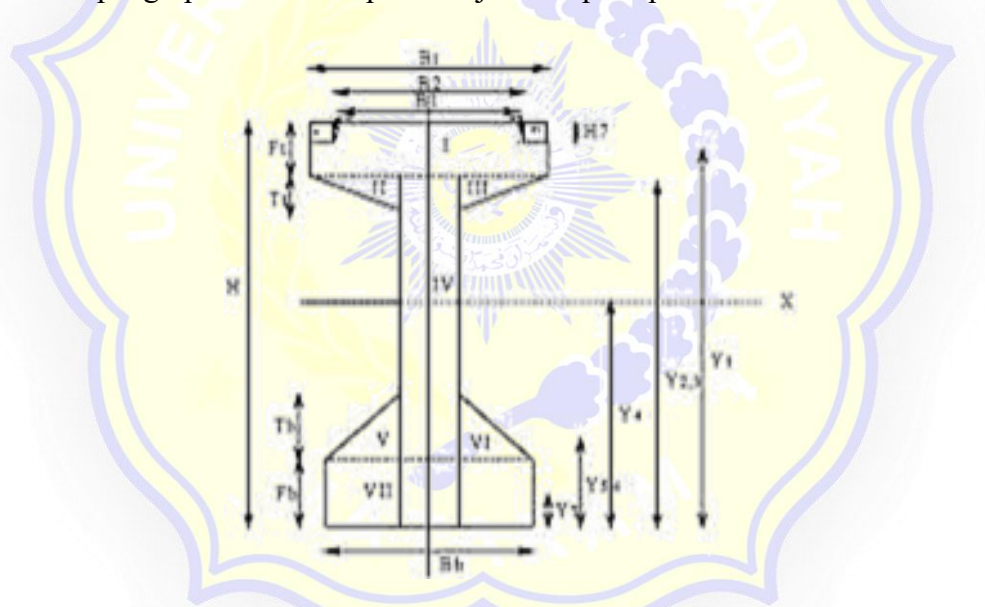
Dengan:

I_x = Momen inersia terhadap sumbu x (m^3)

b = Lebar bagian penampang yang ditinjau (m)

h = Tinggi bagian penampang yang ditinjau (m)

Penampang tipe I-Girder dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2. 5 Penampang balok I-girder

Sumber: Pragiska, 2021

2. Penampang gelagar komposit

Untuk nilai-nilai pada penampang analisa komposit dapat dihitung besarnya dengan menjumlahkan komponen *precast* dengan slabnya.

2.2.7 Pembebanan pada Jembatan

Dalam studi perencanaan struktur jembatan beton prategang ini, pembebanan yang akan dilakukan mengacu pada SNI 1725:2016 (Standar Pembebanan untuk Jembatan). Faktor beban merupakan hal terpenting yang harus diperhitungkan karena akan mempengaruhi ukuran struktur jembatan dan jumlah tulangan yang dibutuhkan.

A. Beban Mati (Beban Permanen)

Berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 7.1, 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 $9,81 \text{ m/detik}^2$. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan dapat dilihat dalam Tabel 2.1 sebagai berikut.

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 $f'c < 35 \text{ Mpa}$	22,0 – 25,00	2320
	$35 < f'c < 105 \text{ Mpa}$	$22 + 0,022f'c$	$2240 + 2,29f'c$
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 merupakan berat dari bagian struktur 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 (SNI 1725:2016 Pasal 7.2). Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2. 2 Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan ($\gamma^{S_{MS}}$)		Keadaan Batas Ultimate ($\gamma^{U_{MS}}$)	
	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 dari seluruh material yang membentuk beban jembatan dan merupakan elemen non-struktural yang besarnya bervariasi selama umur jembatan (SNI 1725:2016 Pasal 7.3). Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan ($\gamma^{S_{MA}}$)		Keadaan Batas Ultimate ($\gamma^{U_{MA}}$)	
	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)

B. Beban Hidup (Beban Lalu Lintas)

Beban lalu lintas untuk desain jembatan berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 8.1 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 total lajur "D" yang bekerja bergantung dengan lebar jalur kendaraan itu sendiri. Secara umumnya, beban "D" menjadi beban penentu untuk perhitungan jembatan dengan bentang menengah sampai panjang. Sedangkan beban "T" sebagai beban penentu untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

1. Beban lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 8.3 terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.5. 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 ($\gamma^{S_{TD}}$)	Keadaan Batas Layan ($\gamma^{U_{TD}}$)
Transien	Beton	1,0	1,8
	Boks Girder Baja	1,0	2,0

(Sumber: SNI 1725:2016)

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti persamaan 2.4 dan persamaan 2.5 dibawah ini:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.4)$$

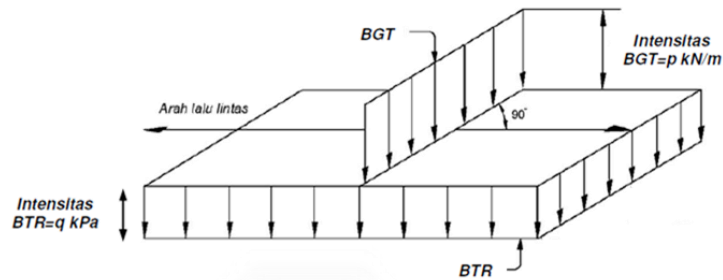
$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,5 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \dots\dots\dots(2.5)$$

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 2.6 berikut ini.



Gambar 2. 6 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 49,0 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.

Mendistribusikan beban hidup ke arah melintang digunakan untuk mendapatkan momen dan geser ke arah longitudinal di gelagar jembatan. Ini dilakukan dengan mempertimbangkan beban lajur “D” yang tersebar diseluruh lebar balok (tidak termasuk parapet, median, dan terotoar) dengan kepadatan 100% untuk panjang terbebani yang sesuai.

2. Beban truk “T”

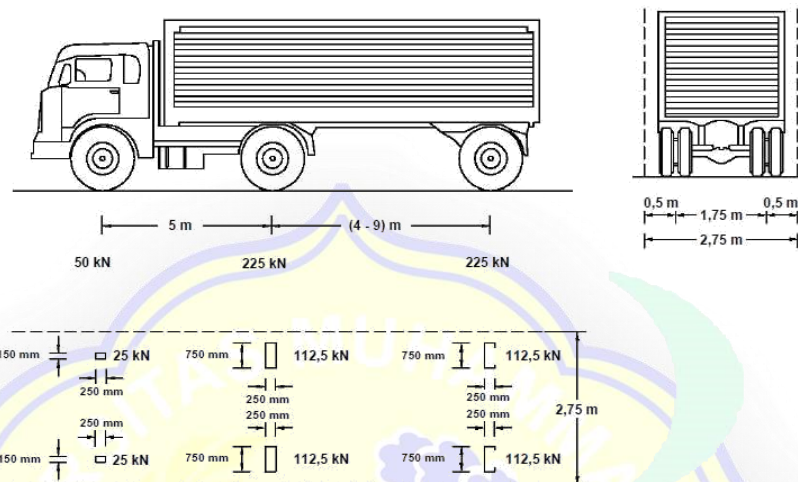
Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai (SNI 1725:2016 Pasal 8.4). Adapun faktor beban untuk beban truk (T) seperti pada Tabel 2.5 berikut ini.

Tabel 2. 5 Faktor beban hidup untuk lajur “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan batas layan ($\gamma^{S_{TT}}$)	Keadaan batas ultimit ($\gamma^{u_{TT}}$)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725:2016)

Pembebeann truk “T” terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai komponen susunan dan berat seperti terlihat pada gambar 2.7 berikut.



Gambar 2. 7 Pembebanan truk “T” (500 kN)

Sumber: SNI 1725:2016

3. Gaya Rem (TB)

Berdasarkan 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.

4. Beban untuk pejalan kaki (TP)

Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.9, semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan yang masing-masing lajur kendaraan.

C. Aksi Lingkungan

1. Beban angin (*EW*)

Tekanan angin horizontal berdasarkan SNI 1725:2016 pasal 9.6.1, diperkirakan disebabkan oleh kecepatan angin rencana (V_B) sebesar 90 hingga 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 2.6 sebagai berikut.

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

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 angina 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 berikut.

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)

a. 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 2.7 berikut ini.

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan:

P_D = Tekanan angin rencana (MPa)

P_B = Tekanan angin dasar (MPa)

Nilai tekanan angin dasar disajikan pada Tabel 2.7 berikut 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)

b. 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 sebagai berikut.

Tabel 2. 8 Tekanan angin yang bekerja pada kendaraan

Sudut Derajat	Komponen Tegak Lurus (N/mm)	Komponen Sejajar (N/mm)
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,666
60	0,50	0,55

(Sumber: SNI 1725:2016)

2. Beban Gempa

Jembatan harus dirancang memiliki kemungkinan runtuh yang rendah dikarenakan potensi kerusakan besar dan gangguan layanan gempa dapat mengakibatkan kerusakan yang biasa hingga yang signifikan. Berdasarkan SNI 1725:2016 pasal 9.7, beban gempa dianggap sebagai gaya horizontal dan ditentukan berdasarkan hasil kali faktor respon elastis (C_{sm}) dan berat ekivalen struktur, kemudian dikoreksi dengan faktor koreksi respon (R_d) sesuai persamaan 2.8 berikut ini.

$$E_Q = \frac{c_{sm}}{R_d} \times W_t \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan:

E_Q = Gaya gempa horizontal

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)

Nilai koefisien respons elastis (c_{sm}) didapat dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatannya disesuaikan dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Nilai koefisien percepatan yang didapat berdasarkan pada peta gempa yang dikalikan dengan faktor amplifikasi yang sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m dibawah struktur jembatan (SNI 1725:2016 pasal 9.7).

3. Pengaruh temperatur (EUn)

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 berikut 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)

4. Pengaruh susut dan rangkak (SH)

Pengaruh rangkai dan penyusutan sesuai dengan SNI 1725:2016 pasal 9.3.2, harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan. 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 pengaruh susut dan rangkai dapat dilihat pada Tabel 2.10 sebagai berikut.

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		

(Sumber: SNI 1725:2016)

5. Pengaruh prategang (PR)

Berdasarkan SNI 1725:2016 pasal 9.3.3, 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. Pengaruh utama prategang adalah sebagai berikut. 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. Faktor beban akibat pengaruh prategang dapat dilihat pada Tabel 2.11 sebagai berikut.

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	1,00	1,0

(Sumber: SNI 1725:2016)

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.

2.2.8 Faktor dan 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 bias terjadi secara bersamaan. Faktor beban yang sudah dikurangi diterapkan dalam hal ini untuk mengurangi kemungkinan dari peristiwa ini. Kombinasi beban dan faktor beban disajikan pada Tabel 2.12 berikut ini.

Tabel 2. 12 Kombinasi beban dan faktor beban

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	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 dan γ_{EQ} adalah faktor 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.

2.2.9 Beton prategang (*prestressed concrete*)

Beton prategang adalah jenis beton dimana tulangan bajanya ditarik/ditegangkan terhadap betonnya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Karena beton cukup kuat dan daktail terhadap tekanan dan sebaliknya lemah serta rapuh terhadap tarikan maka kemampuan menahan beban luar dapat ditingkatkan dengan pemberian pratekan (Collins & Mitchell, 1991). Sedangkan menurut komisi ACI (American Concrete Institute), beton prategang yaitu beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal.

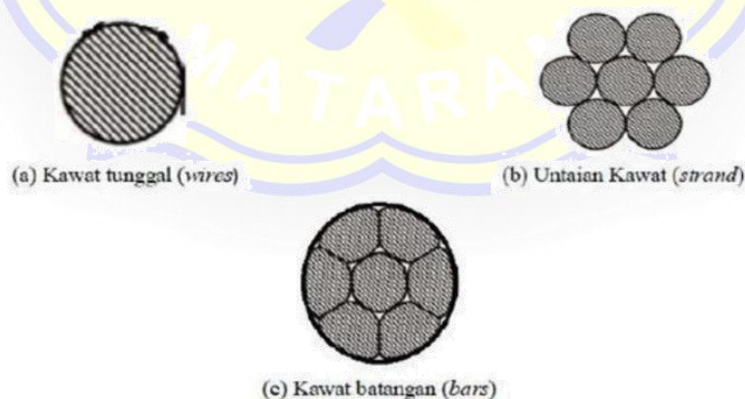
2.2.10 Baja prategang

Untuk dapat memahami perilaku struktur baja prategang, maka harus pula memahami sifat-sifat mekanik dari baja prategang. Sifat mekanik yang terutama adalah hubungan tegangan dan regangan pada baja prategang. Baja prategang memiliki kekuatan tarik yang tinggi, dapat berupa ulir atau polos dan merupakan batang baja paduan. Selain ditarik dalam kondisi dingin dengan maksud meningkatkan kuat leleh, batang prategang juga dilepaskan tegangannya (*stress relieved*) untuk menambah daktilitas. Kuat tarik batang prategang harus sedikitnya 150.000 psi (1034 MPa), dengan kuat leleh minimum 85 persen dari kuat ultimit untuk batang polos dan 80 persen untuk batang ulir (Nawy, 2001).

Terdapat tiga jenis baja yang umum digunakan untuk beton prategang diantaranya yaitu:

1. Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja pra-tegang pada beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pra-tension*).
2. Kawat untaian (*strand*), biasanya digunakan untuk baja pra-tegang pada beton prategang dengan sistem pasca-tarik (*post-tension*).
3. Kawat batangan (*bars*), biasanya digunakan untuk baja pra-tegang pada beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pra-tension*).

Berikut jenis-jenis baja yang digunakan untuk beton prategang dapat dilihat pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2. 8 Jenis-jenis baja yang digunakan untuk beton prategang

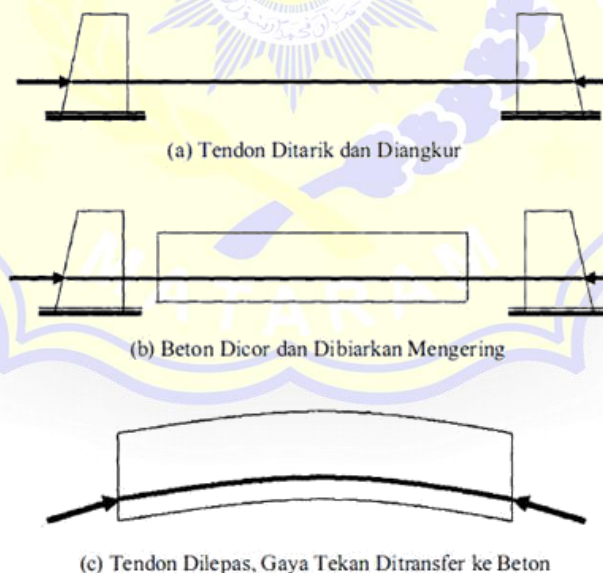
Sumber: Hurst, 2007

2.2.11 Sistem prategang

Menurut T.Y..Lin dan Burns (1982), sistem beton prategang sesungguhnya adalah cara menegangkan/menarik baja yang dikombinasikan dengan cara mengangkurkannya pada beton, termasuk beberapa rincian lain mengenai operasi/cara kerjanya. Pada dasarnya ada 2 (dua) macam metode pemberian gaya prategang pada beton, antara lain sebagai berikut.

1. Pratarik (*Pre-Tension*)

Metode Pratarik (*Pre-Tension*) merupakan metode pembuatan beton prategang dengan memberikan gaya prategang sebelum beton di cor. Pada metode ini, tendon pertama-tama ditarik dan diangkur pada abutmen tetap. Beton dicor pada cetakan yang sudah disediakan dengan melingkupi tendon yang sudah ditarik tersebut. Jika kekuatan beton sudah mencapai yang disyaratkan maka tendon dipotong atau angkurnya dilepas. Pada saat baja yang ditarik berusaha untuk berkontraksi, beton akan tertekan. Proses pembuatan beton prategang pratarik dapat dilihat pada Gambar 2.9 sebagai berikut.

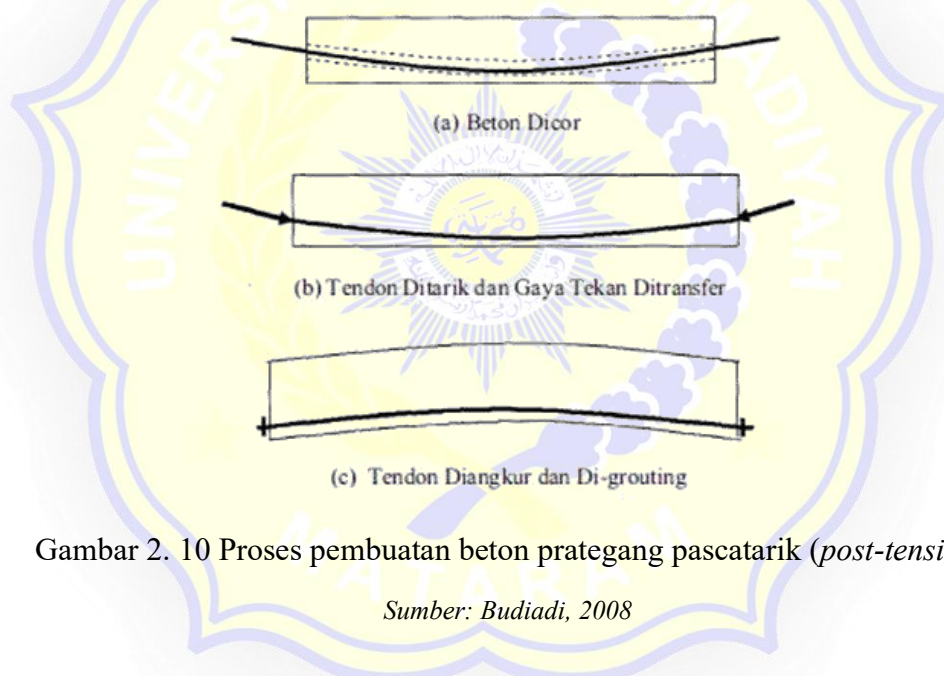


Gambar 2. 9 Proses pembuatan beton prategang pascatarik (*post-tension*)

Sumber: Budiadi, 2008

2. Pascatarik (*Post-Tension*)

Metode pascatarik (*post-tension*) merupakan metode pembuatan beton prategang dengan memberikan gaya prategang setelah beton di cor. Pada metode ini, beton dicor di sekeliling selongsong (*ducts*) dengan cetakan yang sudah disediakan. Posisi selongsong diatur sesuai dengan bidang momen dari struktur. Biasanya baja tendon tetap berada di dalam selongsong selama proses pengecoran. Jika beton sudah mencapai kekuatan tertentu, tendon ditarik. Tendon dapat ditarik di satu sisi dan di sisi yang lain diangkur. Atau tendon ditarik di dua sisi dan diangkur secara bersamaan. Beton akan menjadi tertekan setelah proses pengangkur. Proses pembuatan beton prategang pascatarik dapat dilihat pada Gambar 2.10 sebagai berikut.



Gambar 2. 10 Proses pembuatan beton prategang pascatarik (*post-tension*)

Sumber: Budiadi, 2008

2.2.12 Konsep beton prategang

Menurut T.Y..Lin dan Burns (1982), ada 3 (tiga) konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang, diantaranya sebagai berikut.

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis

Konsep sistem prategang ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis dan merupakan buah pemikiran Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan

beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasi dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan sedemikian rupa sehingga bahan yang getas dapat memikul tegangan tarik.

2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton
Konsep sistem prategang ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton seperti pada beton bertulang, yang dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan. Dengan demikian kedua bahan membentuk tahanan untuk menahan momen eksternal.
3. Sistem prategang untuk mencapai kesetimbangan beban
Konsep sistem prategang ini menggunakan prategang sebagai usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya pada beton sepanjang bentang.

2.2.13 Tegangan izin

Suatu konstruksi dikatakan aman apabila tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan yang diizinkan, Tegangan ijin yaitu batas tegangan yang diperbolehkan dan merupakan tegangan yang tidak boleh dilampaui sebuah sistem struktur, dimanapun letaknya karena suatu konstruksi yang benar tidak boleh terjadi perubahan bentuk sedikitpun yang mana akan mengakibatkan ketidak sempurnaan konstruksi.

1. Tegangan izin 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 Pasal 18.4, tegangan ijin beton prategang ditentukan dalam persamaan 2.9 sampai persamaan 2.12 sebagai berikut.

- a. Tegangan ijin beton setelah penyaluran gaya prategang/kondisi transfer.

Tegangan Tekan:

$$\sigma_{tekan} = 0,6 f'_{ci} \dots\dots\dots (2.9)$$

Tegangan Tarik :

$$\sigma_{tarik} = 0,25\sqrt{f'_{ci}} \dots\dots\dots (2.10)$$

- b. Tegangan ijin beton setelah kehilangan prategang/kondisi layan.

Tegangan Tekan:

$$\sigma_{tekan} = 0,45 f'c \dots\dots\dots (2.11)$$

Tegangan Tarik:

$$\sigma_{tarik} = 0,5\sqrt{f'c} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan:

f_{ci} = kuat tekan beton yang disyaratkan pada waktu prategang awal (MPa)

$f'c$ = kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)

2. Tegangan ijin baja prategang

Berdasarkan SNI-2847-2013 Pasal 18.5, tegangan ijin baja prategang dapat ditentukan dalam persamaan 2.13 dan persamaan 2.14 sebagai berikut.

$$\text{Tegangan tarik ijin kabel pada saat } jacking = 0,94 f_{py} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\text{Tegangan tarik ijin kabel setelah pengangkutan} = 0,70 f_{pu} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan:

f_{py} = kekuatan leleh baja prategang yang disyaratkan (Mpa)

f_{pu} = kekuatan tarik baja prategang yang disyaratkan (Mpa)

2.2.14 Kehilangan prategang

Tegangan pada tendon beton prategang berkurang secara kontinu seiring dengan waktu. Total pengurangan tegangan ini disebut kehilangan prategang total. Kehilangan prategang total ini adalah faktor utama yang mengganggu perkembangan awal beton prategang (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Menurut Nawy (2001), terdapat beberapa jenis kehilangan prategang diantaranya sebagai berikut.

1. Perpendekan elastik beton prategang

Kehilangan prategang 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 2.15 sebagai berikut.

$$ES = \frac{n \times T_i}{A_c} \text{ atau } \Delta f_{pES} = 0,5 \times \Delta f_{pES} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan:

ES = Kehilangan gaya prategang

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

E_c = Modulus elastisitas prategang

E_s = Modulus elastisitas baja prategang

0,5 = Komponen struktur pasca-tarik beton

1,0 = Komponen pratarik

E_{ci} = Modulus elastis beton ketika prategang awal

2. Relaksasi tendon

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 $\frac{f'_{pi}}{f_{pu}}$. Untuk Mengetahui besar tegangan yang hilang pada relaksasi baja prategang dapat dilihat pada persamaan 2.16 berikut ini:

$$\Delta f_{pR} = f'_{pi} \left(\frac{\log t_2 - \log t_1}{10} \right) \left(\frac{f'_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right) \dots\dots\dots (2.16)$$

Dengan:

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

$$\begin{aligned}
 f_{py} &= \text{Kuat leleh baja prategang} \\
 &= 0,80 f_{pu} \text{ (batang prategang)} \\
 &= 0,85 f_{pu} \text{ (tendon } stress\text{-relieved)} \\
 &= 0,90 f_{pu} \text{ (tendon relaksasi rendah)}
 \end{aligned}$$

t_1 = Waktu pada awal suatu interval dihitung dari saat pendongkrakan

t_2 = Waktu diakhir interval dihitung dari saat pendongkrakan

3. Rangkak bada beton

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 2.17 sebagai berikut:

$$\Delta f_{pCR} = nK_{CR}(f_{cs} - f_{csd}) \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan:

K_{CR} = 2,0 untuk komponen struktur pratarik
 = 2,00 untuk komponen struktur pascatarik (keduanya untuk beton normal)

n = Rasio modulus

f_{cs} = Tegangan dibeton pada level pusat berat baja segera setelah transfer

f_{csd} = Tegangan dibeton pada level pusat berat baja akibat semua beban mati tambahan yang bekerja setelah prategang diberikan

4. 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 2.18 berikut ini.

$$\Delta f_{pSH} = 8,2 \times 10^{-6} K_{SH} E_{PS} \left(1 - 0,06 \frac{v}{s}\right) (100 - RH) \dots\dots\dots (2.18)$$

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 2.13 sebagai berikut.

Tabel 2. 13 Koefisien susut (nilai KSH)

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

(Sumber: *Beton Prategang, Nawy, 2001*)

5. Friksi

Kehilangan akibat friksi pada tendon merupakan pengaruh dari perubahannya selongsong (*wobble*) pada tendon dan mengalami garis melengkung pada baja tendon prategang. Kehilangan ini dapat dirumuskan pada persamaan 2.19 sebagai berikut:

$$\Delta f_{pF} = f_{pi} \times (\mu\alpha + KL) \dots\dots\dots (2.19)$$

Dengan:

μ = Angka koefisien kelengkungan

K = Angka koefisien *wobble*

L = Panjang tendon prategang

α = Perubahan sudut total dari profil layout kabel dalam radian dari titik jacking

f_l = Tegangan awal tendon

L = Panjang tendon prategang

6. Pengangkeran

Kehilangan akibat pengangkeran 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. Kehilangan prategang yang terjadi akibat slip angkur dapat ditentukan dengan pendekatan rumus seperti pada persamaan 2.20 berikut:

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} E_{ps} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan:

Δf_{pA} = Kehilangan prategang akibat slip

ΔA = Deformasi pengukuran

L = Panjang tendon

E_{ps} = Modulus elastika kabel

Perkiraan kehilangan gaya prategang total untuk sistem pascatarik (*post-tension*)

$$\Delta f_{pT} = \Delta f_{pA} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pES} + \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH} \dots\dots\dots (2.21)$$

Perkiraan kehilangan gaya prategang total untuk sistem pratarik (*pretension*)

$$\Delta f_{pT} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dengan:

Δf_{pT} = Kehilangan prategang total

Δf_{pA} = Kehilangan Prategang Akibat Pergeseran Angkur

Δf_{pF} = Kehilangan Prategang Akibat Friksi/Gesekan

Δf_{pES} = Kehilangan Prategang Akibat Perpendekan Elastis Beton

Δf_{pR} = Kehilangan Relaksasi Tendon Prategang

Δf_{pCR} = Kehilangan Prategang Akibat Rangkak Pada Beton

Δf_{pSH} = Kehilangan Prategang Akibat Susut Pada Beton

2.2.15 Kontrol tegangan setelah kehilangan gaya prategang

Analisa tegangan diperhitungkan 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 2.23 dan persamaan 2.24 sebagai berikut.

- a. Tegangan pada serat atas penampang

$$f_a = \frac{P_t}{A} + \left(\frac{P_t \times y_a}{W_a} \right) - \frac{M_D}{W_a} \leq f_{ci} \text{ ijin tekan (transfer) (2.23)}$$

- b. Tegangan pada serat bawah penampang

$$f_b = \frac{P_t}{A} + \left(\frac{P_t \times y_b}{W_b} \right) - \frac{M_D}{W_a} \leq f_{ci} \text{ ijin tarik (transfer) (2.24)}$$

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 2.25 dan persamaan 2.26 sebagai berikut.

- a. Tegangan pada serat atas

$$f_a = \frac{P_{eff}}{A} + \left(\frac{P_{eff} \times es}{W_a} \right) - \frac{M_D}{W_a} \leq f_{ci} \text{ ijin tekan (service) (2.25)}$$

- b. Tegangan pada serat bawah

$$f_b = \frac{P_{eff}}{A} + \left(\frac{P_{eff} \times es}{W_b} \right) - \frac{M_D}{W_a} \leq f_{ci} \text{ ijin tarik (service) (2.26)}$$

Dengan:

P_t = Gaya prategang awal (MPa).

P_{eff} = Gaya prategang efektif sesudah kehilangan

A = Luas penampang

es = Eksentrisitas tendon

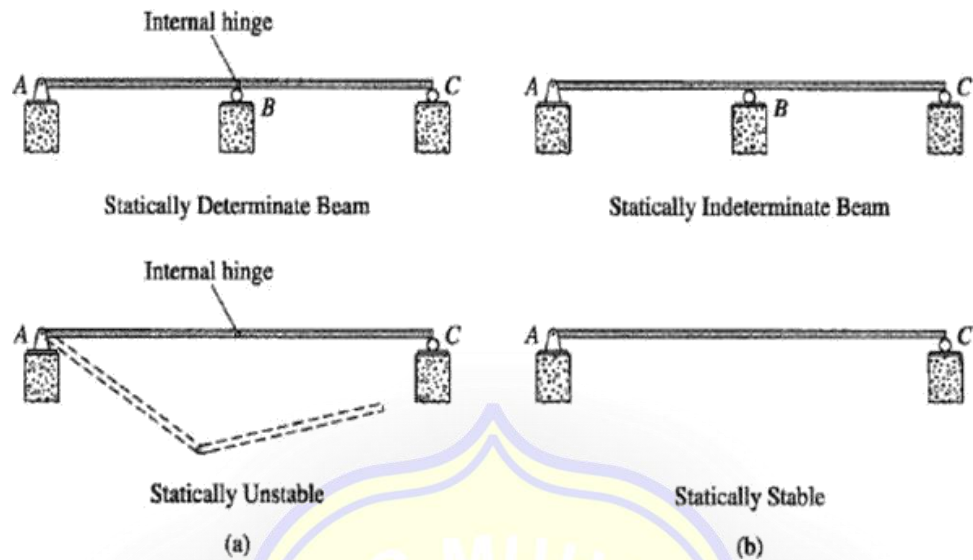
- W_a = Tahanan momen sisi atas
 W_b = Tahanan momen sisi bawah
 M_D = Momen akibat berat sendiri
 M_T = Momen total akibat beban gravitasi

2.2.16 Struktur beton prategang statis tak tentu

Menurut Raju, Krishna N. (1989), ada beberapa keuntungan apabila menggunakan struktur statis tak tentu pada konstruksi beton prategang, diantaranya sebagai berikut:

1. Nilai momen lentur yang relatif sama antara bagian tengah bentang dengan bagian tumpuan batang.
2. Ukuran batang yang direduksi menghasilkan struktur yang lebih ringan.
3. Daya dukung beban ultimit lebih tinggi daripada menggunakan struktur statis tertentu yang disebabkan distribus momen-momen.
4. Kontinuitas struktur rangka meningkatkan stabilitas struktur.
5. Gelagar-gelagar secara kontinu dibentuk oleh konstruksi secara bagian-bagian dengan memakai unit-unit pracetak yang disambung dengan kabel-kabel prategang.
6. Pada gelagar pascatarik menerus, kabel-kabel yang melengkung dapat ditempatkan secara baik untuk menahan momen-momen bentangan dan tumpuan.
7. Mereduksi banyaknya angkur pada suatu balok prategang menerus apabila dibandingkan dengan serangkaian balok yang ditumpu secara sederhana, dan sepasang angkur pascatarik serta operasi penegangan tunggal dapat melayani beberapa batang.
8. Lendutan pada bentang menerus lebih kecil dibandingkan dengan bentang tumpuan sederhana.

Penggunaan sistem statis tak tentu pada struktur dapat mendistribusikan gaya jika terjadi beban yang berlebih. Sebagai contoh adalah struktur jembatan seperti Gambar 2.11 berikut ini.

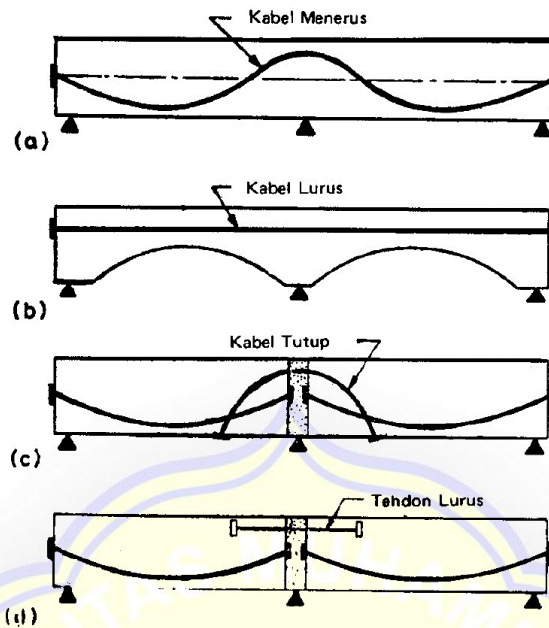


Gambar 2. 11 Sistem struktur statis tak tentu

Sumber: Hidayat, 2020

Pada Gambar 2.10 (a) menunjukkan jembatan direncanakan menggunakan struktur statis tertentu sedangkan Gambar 2.10 (b) menunjukkan jembatan direncanakan dengan struktur statis tak tentu. Apabila terjadi kegagalan struktur pada pilar B, maka jembatan (a) akan langsung roboh, sedangkan jembatan (b) masih stabil. Seperti halnya dengan struktur menerus lainnya, lendutan pada balok menerus akan lebih kecil dari pada lendutan pada balok sederhana (diatas dua tumpuan) (Lin dan Burn, 1988).

Kontinuitas pada konstruksi beton prategang dicapai dengan memakai kabel-kabel melengkung atau lurus yang menerus sepanjang beberapa bentangan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11 (a) dan (b). Juga dimungkinkan untuk menimbulkan kontinuitas antara dua balok pracetak dengan memakai “kabel tutup” (*cap cable*) seperti ditunjukkan dalam dalam Gambar 2.11 (c). Alternatif lain, tendon-tendon lurus yang pendek dapat dipakai di atas tumpuan untuk menimbulkan kontinuitas antara dua balok prategang pracetak seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12 (d) (Raju, 1989).



Gambar 2. 12 Tata-letak tendon untuk balok menerus

Sumber: Raju, 1989

Terminologi yang umum dipakai dalam studi batang beton prategang menerus dapat didefinisikan seperti di bawah ini (Raju, 1989).

1. Momen primer, Momen primer adalah momen lentur yang nyata pada suatu penampang struktur statis tak tentu yang diakibatkan oleh eksentrisitas tendon terhadap garis berat yang sesungguhnya. Dengan memperhatikan Gambar 2.12, momen primer pada setiap potongan melintang balok menerus dua bentangan adalah $-Pe$ karena momen tersebut merupakan suatu momen negatif (*hogging moment*).
2. Momen sekunder (momen lentur parasitis). Momen sekunder adalah momen tambahan yang ditimbulkan pada suatu penampang struktur statis tak tentu yang diakibatkan oleh reaksi-reaksi redundan yang timbul sebagai konsekuensi dari pemberian potongan pada struktur. Variasi momen sekunder pada suatu balok menerus dua bentangan yang diberi prategang dengan suatu tendon eksentris lurus ditunjukkan dalam Gambar 2.13.
3. Momen resultan. Momen resultan pada suatu penampang struktur prategang statis tak tentu ialah jumlah momen-momen primer dan sekunder seperti pada persamaan 2.23 berikut ini.

$$M.R = (M.P + M.S) \dots\dots\dots (2.23)$$

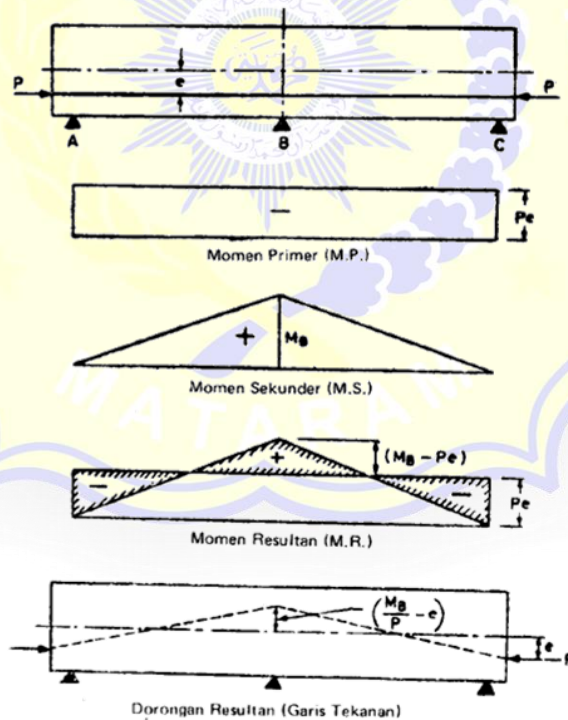
Dengan:

M.R = Momen Resultan

M.P = Momen Primer

M.S = Momen Sekunder

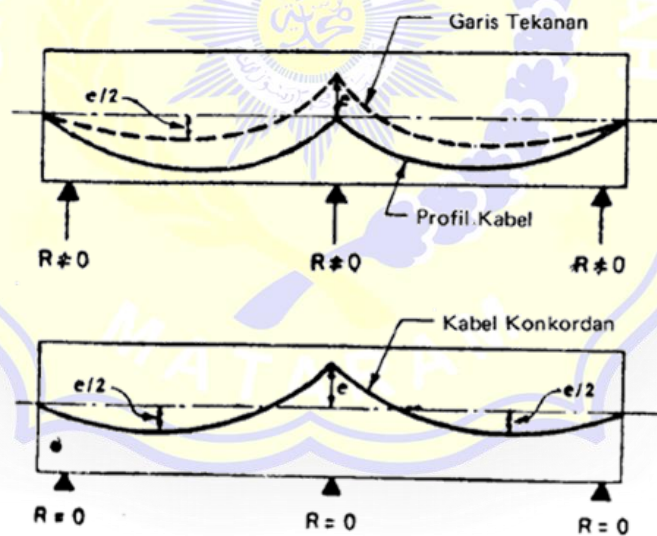
4. Garis tekanan atau garis desakan. Garis tekanan adalah tempat kedudukan (locus) tekanan resultan pada penampang-penampang yang berlainan pada suatu batang struktural. Pergeseran garis tekanan dari garis berat diperoleh sebagai perbandingan momen resultan dan gaya prategang pada penampang tersebut. Garis tekanan resultan untuk suatu balok menerus dua-bentangan ditunjukkan dalam Gambar 2.13.
5. Garis prategang (garis titik berat kawat baja atau garis CGS) Tempat kedudukan titik berat gaya prategang sepanjang struktur adalah garis prategang, atau garis titik berat kawat baja.



Gambar 2. 13 Garis tekan pada suatu balok prategang menerus

Sumber: Raju, 1989

6. Profil kabel atau tendon konkordan Suatu profil tendon di mana eksentrisitasnya pada semua potongan melintang berbanding lurus dengan momen lentur yang disebabkan oleh sesuatu pembebanan pada suatu struktur statis tak tentu dengan tumpuan tegar (rigid) adalah suatu profil konkordan (*concordant profile*).
7. Penegangan suatu tendon yang diletakkan dengan profil sedemikian tidak menimbulkan reaksi redundant apa pun dan dengan demikian momen sekundernya sama dengan nol. Menurut Teori Guyon, tendon-tendon pada struktur statis tak tentu, yang ditempatkan berimpit dengan garis tekanan atau garis desakan, tidak akan menimbulkan momen-momen sekunder pada struktur. Resultan garis tekanan pada suatu balok menerus dua-bentangan yang diberi prategang dengan suatu kabel parabolik dengan eksentrisitas nol pada semua tumpuannya ditunjukkan dalam Gambar 2.14. Jika profil tendon dibuat berimpit dengan garis tekanan resultan, seluruh reaksi redundant akan hilang dan profil kabel dapat dianggap konkordan.



Gambar 2. 14 Garis tekanan dan profil kabel konkordan

Sumber: Raju, 1989

BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

3.1 Lokasi Jembatan

Perancangan ulang jembatan Samota ini berlokasi di jalan bypass Samota, Labuan Sumbawa, Labuan Badas, Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Adapun lokasi perancangan ulang jembatan Samota ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Lokasi Jembatan

Sumber: Google Earth

3.2 Tahapan Perencanaan

Adapun tahapan-tahapan perencanaan ulang struktur Jembatan Samota Sumbawa sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data-data terkait perencanaan berupa data umum jembatan.
2. Menentukan jenis, mutu, material, dan dimensi struktur atas jembatan. Dalam menentukan jenis, mutu, material, dan dimensi struktur atas jembatan mengacu pada standar peraturan-peraturan yang digunakan.
3. Menentukan desain layout jembatan.

4. Perencanaan struktur atas jembatan yang meliputi perhitungan pembebanan yang bekerja pada jembatan berdasarkan SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016.
5. Membuat analisis struktur menggunakan Microsoft Excel.
6. Menggambar detail struktur menggunakan program AutoCad 2013.

3.3 Tahap Persiapan

Tahap persiapan adalah tahap awal untuk menentukan hal-hal penting yang harus segera dilakukan dengan tujuan untuk mengefektifkan waktu. Adapun tahap persiapan ini meliputi kegiatan-kegiatan sebagai berikut.

1. Perumusan dan identifikasi masalah
2. Menentukan kebutuhan data dan sumber data
3. Perencanaan jadwal desain perencanaan

Tahap persiapan ini harus dilakukan secara cermat untuk menghindari pekerjaan yang berulang, sehingga tahap pengumpulan data menjadi optimal.

3.4 Pengumpulan Data

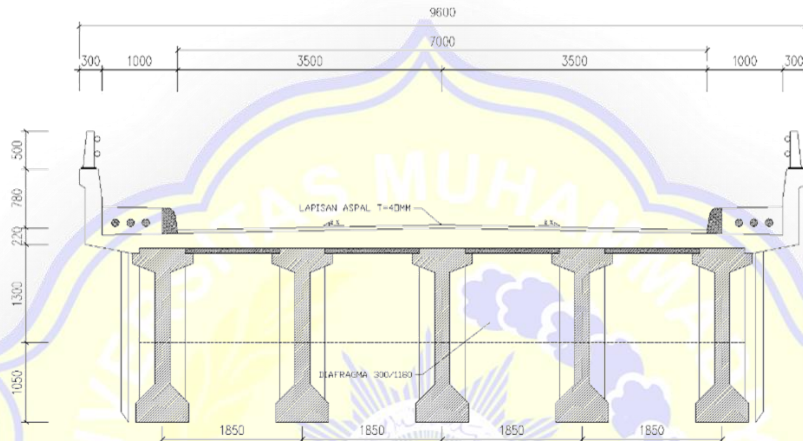
Pengumpulan data merupakan kegiatan yang sangat penting dilakukan sebelum memulai perencanaan suatu konstruksi. Dalam perencanaan jembatan ini data diperoleh dari dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB). Adapun data-data yang digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut.

1. Data dimensi jembatan
2. Jenis material jembatan
3. Data tanah
4. Praturan peraturan yang berkaitan

Data eksisting jembatan:

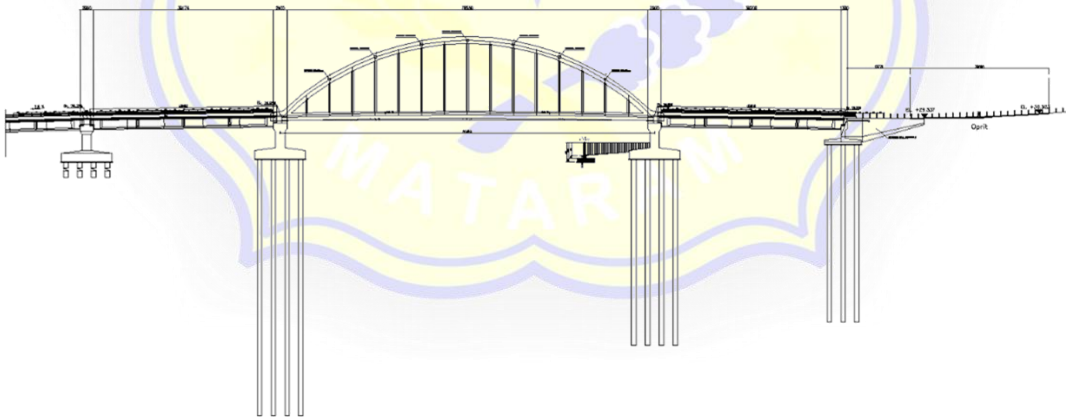
Nama jembatan	: Jembatan Samota
Tipe struktur	: Jembatan pelengkung/busur
Kelas jembatan	: Jembatan Kelas A
Panjang bentang	: 80 meter
Lebar jembatan	: 9,6 meter

Lebar jalur : 2 x 3,5 meter
Lebar trotoar : 2 x 1 meter
Tinggi jembatan : 16 meter
Tebal plat lantai : 20 cm
Lebar kerb : 0,2 meter
Material struktur : Beton



Gambar 3. 2 Potongan melintang existing Jembatan Samota

Sumber: Dinas PUPR NTB, 2017



Gambar 3. 3 Potongan memanjang existing Jembatan Samota

Sumber: Dinas PUPR NTB, 2017

3.5 Pembebanan Jembatan

Perencanaan pembebanan pada struktur jembatan samota sumbawa ini terdapat beberapa acuan peraturan sebagai berikut:

1. SNI 1725-2016 (pembebanan pada jembatan)
2. SNI 2833-2016 (perencanaan jembatan terhadap beban gempa)

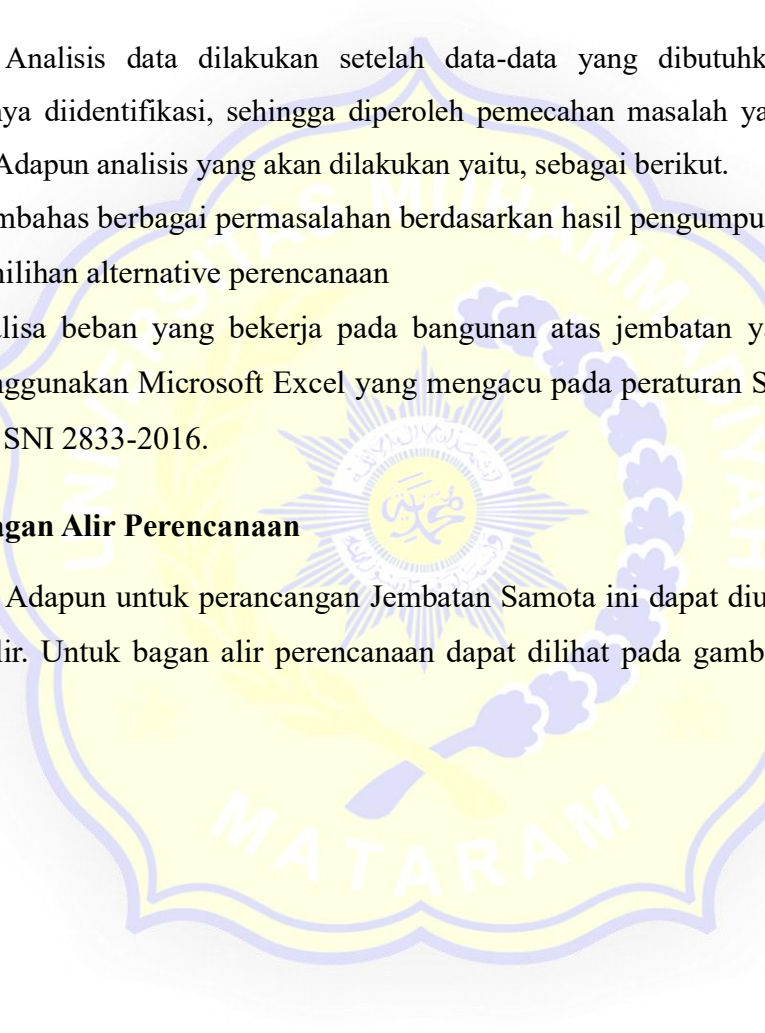
3.6 Analisis Data

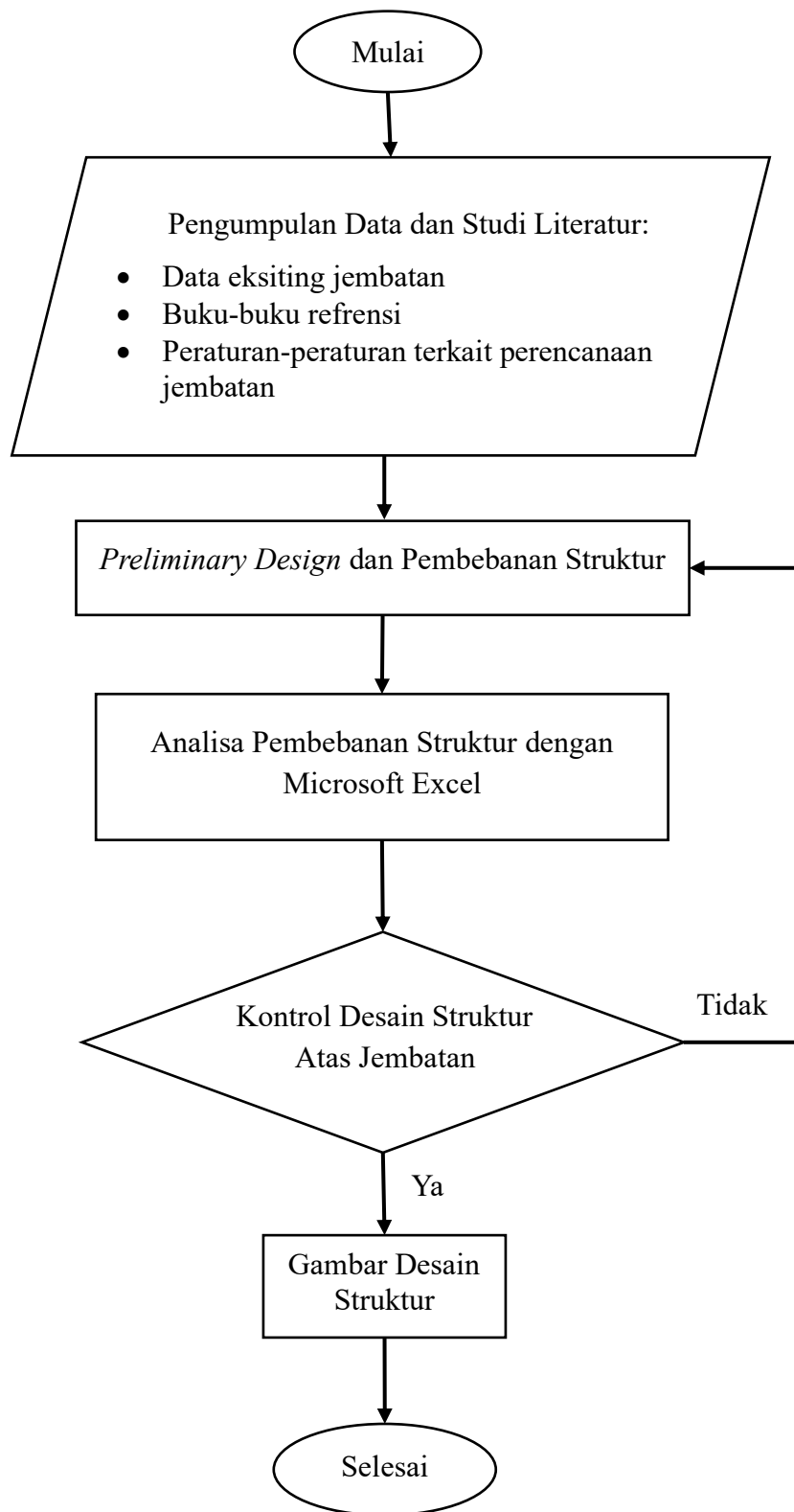
Analisis data dilakukan setelah data-data yang dibutuhkan terkumpul, selanjutnya diidentifikasi, sehingga diperoleh pemecahan masalah yang efektif dan terarah. Adapun analisis yang akan dilakukan yaitu, sebagai berikut.

1. Membahas berbagai permasalahan berdasarkan hasil pengumpulan data.
2. Pemilihan alternative perencanaan
3. Analisa beban yang bekerja pada bangunan atas jembatan yang dilakukan menggunakan Microsoft Excel yang mengacu pada peraturan SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2016.

3.7 Bagan Alir Perencanaan

Adapun untuk perancangan Jembatan Samota ini dapat diuraikan dengan bagan alir. Untuk bagan alir perencanaan dapat dilihat pada gambar 3.3 sebagai berikut.





Gambar 3. 4 Bagan Alir Perencanaan Jembatan