

**STUDY KASUS/ KAJIAN DESAIN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BOX
GIRDER DI KUPANG NUSA TENGGARA TIMUR (NTT)**

(Skripsi)

**Oleh
COCO CESAR KARYATAMA**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2018

ABSTRACT

AN CASE STUDY / DESIGN STUDY OF UPPER STRUCTURE OF BOX GIRDER BRIDGE IN KUPANG NUSA TENGGARA TIMUR (NTT)

By:

Coco Cesar Karyatama

This scripts discusses the evaluation and the review design of the Namosain II box girder bridge which was operated since 2008. This was done due to damage and repairs of the bridge in 2017. The purpose of the evaluation and the review of this design was to observe the Namosain II bridge is able to withstand loading at the time of construction and at present. In addition, it purposes to show bridge behavior and provide a guide line for designing using the SAP2000 v14 program.

This bridge has a span of 24.8 m, 0.2 m thickness of slab and 1.6 m height of girder, with a transverse dimensions of the vehicle floor complete with sidewalk is 9.4 m for 2 lanes 2 way lanes with pavement width of 1 m. the loading calculation used in the bridge planning refers to the regulations of RSNI T 02 2005 for the old regulations and SNI 1725 2016 for the new regulations and calculations are carried out with manually and with SAP2000 v14 program.

The result of the study was that the dimensions of the old regulation did not meet the dimension requirements, and the crossed slab reinforcement either, so the new review base on the new code changed the dimensions from 0.2 m to 0.3 m. The values that increase from the old regulation are prestressing force of transfer condition 20.04% to 21.32% and service condition is 77.51% to 81.89% which is calculated theoretically, and elongation extends increases with the increase of prestressing force, but the deflection and the tension control decreases, from 2.9 mm (theoretical) and 1.74 mm (numeric) to 19.9 mm (theoretical) and 4.49 mm (numerical) but still meets the deflection limit of 103.3 mm and the tention limit of 18.675 MPa.

Keyword : Bridge, Box Girder, Prestressed, SAP2000, Guide Line

ABSTRAK

STUDY KASUS/ KAJIAN DESAIN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BOX GIRDER DI KUPANG NUSA TENGGARA TIMUR (NTT)

Oleh:

Coco Cesar Karyatama

Skripsi ini membahas evaluasi dan review desain jembatan box girder Namosain II yang dioperasikan sejak 2008. Hal ini dilakukan dikarenakan adanya kerusakan dan perbaikan pada tahun 2017. Tujuan dari evaluasi dan review desain ini adalah untuk mengobservasi jembatan Namosain II apakah mampu menahan pembebanan pada waktu dibuat maupun pada masa sekarang. Selain itu bertujuan untuk menampilkan perbedaan perilaku jembatan dan memberikan kerangka acuan mendesain menggunakan program SAP2000 v14.

Jembatan ini memiliki bentang 24.8 m, tebal slab 0.2 m dan tinggi gelagar 1.6 m, dengan dimensi melintang lantai kendaraan lengkap dengan trotoar adalah 9.4 m untuk 2 jalur 2 arah dengan lebar trotoar 1 m. Perhitungan pembebanan yang digunakan pada perencanaan jembatan ini mengacu pada peraturan RSNI T 02 2005 untuk peraturan lama dan SNI 1725 2016 untuk peraturan baru dan perhitungan dilakukan secara manual dan menggunakan program bantu SAP2000 v14.

Hasil kajian yang didapat yaitu dimensi pada peraturan lama tidak memenuhi syarat dimensinya maupun penulangan slab melintangnya, sehingga pada penggunaan peraturan baru dimensi diubah menjadi 0.3 m dari 0.2 m. Adapun nilai-nilai yang bertambah dari peraturan lama yaitu gaya prategang pada saat transfer 20.04% menjadi 21.32% dan saat service 77,51% menjadi 81,89% yang dihitung secara teoritikal, dan perpanjangan elongasi bertambah seiring pertambahan gaya prategang, namun besar lendutan dan kontrol tegangannya menurun, dari 2.9 mm (teori) dan 1.74 mm (numerik) menjadi 19.9 mm (teori) dan 4.49 mm (numerik) namun tetap memenuhi batasan lendutan sebesar 103.3 mm dan batasan nilai tegangan sebesar 18.675 MPa.

Kata kunci : Jembatan, *Box Girder*, Prategang, SAP2000, Kerangka Acuan

**STUDY KASUS/ KAJIAN DESAIN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BOX
GIRDER DI KUPANG NUSA TENGGARA TIMUR (NTT)**

**Oleh:
COCO CESAR KARYATAMA**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2018**

Judul Skripsi

: **STUDY KASUS/ KAJIAN DESAIN
STRUKTUR ATAS JEMBATAN BOX
GIRDER DI KUPANG NUSA TENGGARA
TIMUR (NTT)**

Nama Mahasiswa

: **Coco Cesar Karyatama**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415011039

Program Studi

: Teknik Sipil

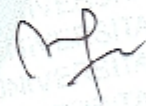
Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 004


Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T.
NIP 19721026 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Gatot Eko Susilo, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19700915 199503 1 006

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

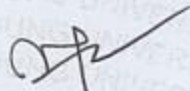
Ketua

: **Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**



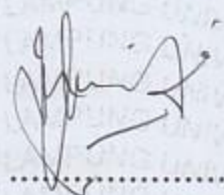
Sekretaris

: **Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Dr. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **28 September 2018**

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi dengan judul Study Kasus/ Kajian Desain Struktur Atas Jembatan Box Girder Di Kupang Nusa Tenggara Timur (NTT) adalah karya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai tata etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarism.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas Pernyataan ini, apabila di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku

Bandar Lampung, 24 September 2018
Pembuat Pernyataan



COCO CESAR KARYATAMA
NPM. 1415011039

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Pringsewu pada tanggal 13 Oktober 1997, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari Bapak Gampang Achmad Subarda dan Ibu Siti Aisah.

Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) ditempuh di TK Dharma Wanita Desa Sukadadi, kec. Gedongtataan, kab. Pesawaran diselesaikan tahun 2003, Sekolah Dasar (SD) ditempuh di SD Negeri 2 Sukadadi pada tahun 2003 - 2009, Sekolah Menengah Pertama (SMP) ditempuh di SMP Negeri 03 Gedongtataan pada tahun 2009 - 2012 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) ditempuh di SMA Negeri 1 Gadingrejo pada tahun 2012 – 2014.

Tahun 2014, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) jalur undangan. Pada tahun 2017 penulis mendapatkan prestasi sebagai “Mahasiswa Berprestasi IV” Fakultas Teknik, Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi FOSSI FT Unila (2014-2015) sebagai Anggota Muda Fossi (AMF), Badan Eksekutif Mahasiswa F.Teknik Unila (2014-2015) sebagai Eksekutif Muda (EKSMUD) kemudian periode berikutnya (2015-2016) diangkat menjadi staff Dinas Pendidikan dan Pengabdian (PP), HIMATEKS FT UNILA (2015-2016) sebagai anggota muda, kemudian periode berikutnya (2016-2017) diangkat menjadi Sekertaris Umum.

Pada tahun 2017 penulis melakukan Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Seksi II (Sidomulyo-Kota Baru) yang di kerjakan oleh PT. WASKITA KARYA TBK. selama 3 bulan. Penulis juga telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bumi Aji, Kecamatan Anak Tuha, Kabupaten

Lampung Tengah selama 40 hari pada periode Januari – Maret 2017. Selama masa perkuliahan penulis diangkat menjadi Asisten Dosen mata kuliah Matematika I (2015-2016), Asisten Dosen mata kuliah Gambar Struktur Bangunan (2016-2017), Asisten Dosen mata kuliah Analisis Struktur II (2016-2017), Asisten Dosen Ibu Siti Nurul (2016)

Asisten Dosen mata kuliah Baja 2 (2017) ,Asisten Dosen mata kuliah Struktur Beton Bertulang 1 (2017), Asisten Praktikum mata kuliah Teknologi Bahan UNILA (2017), dan Asisten Praktikum mata kuliah Teknologi Bahan ITERA (2017)

Persembahan

Untuk Ayah dan Ibu tersayang yang selalu mendoakan dan mendukungku dalam segala hal, terima kasih telah menjadi penyemangat di dalam hidup ini.

Untuk Aida Febina Sholeha dan M. Elcho Binawan yang selalu memberikan motivasi dan bantuan disetiap hari-hariku.

Untuk semua teman-teman terbaikk di manapun kalian berada. Terima kasih atas semangat yang selalu kalian berikan kepadaku.

Untuk semua dosen-dosen yang telah mengajarkan banyak hal kepadaku. Terima kasih atas ilmu pengetahuan dan pelajaran hidup yang telah kalian berikan selama ini.

Untuk keluarga baruku, teman-teman seperjuangan, Teknik Sipil Unila Angkatan 2014. Terima kasih atas rasa persahabatan yang kalian berikan.

Semoga kita semua sukses meskipun dengan caranya masing-masing.

MOTTO

"my live motto is 'Do my best, so that I can't
blam myself for anything'"

Magdalena Neuner

"The weak can never forgive, forgiveness is
the attribute of strong"

Mahatma Gandhi

"Kami Berarti Karena Budi Dan Prestasi"

SMA N 1 Gadingrejo

"Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang
berhasil tapi berusahalah menjadi manusia yang
berguna"

Einstein

"Allah tidak membebani seseorang melainkan
sesuai kesanggupannya"

QS Al Baqarah 286

SANWACANA

Puji syukur Penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “**STUDY KASUS/ KAJIAN DESAIN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BOX GIRDER DI KUPANG NUSA TENGGARA TIMUR (NTT)**” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Suharno, M.Sc.**, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
2. Bapak **Gatot Eko S, S.T., M.Sc., Ph.D.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
3. Bapak **Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.**, selaku Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, sumbangan pemikiran serta saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
4. Ibu **Dr. Eng. Mohd. Isneini, M.T.**, selaku Pembimbing Kedua atas kesediaan memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
5. Bapak **Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.**, selaku Penguji Utama yang telah memberikan kritik dan saran pemikiran dalam penyempurnaan skripsi;
6. Bapak **Drs. I Wayan Diana, S.T., M.T.**, selaku Pembimbing Akademik;

7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung;
8. Keluargaku tercinta, Abi G.A. Subarda dan Umi Siti Aisah, Mas Elcho Binawan, Aida Febina dan Mbah Painten, serta *pertner* terhebat Rian Aff yang selalu menjadi penyemangat dalam hidupku.
9. Kelompok Belajar selama perkuliahan, Alfirmart (Dendi, Uun, Novi, Desna, Deska, Evi, Heni, Nining, Abdi, Alfi, Bagus I, Farhan, Nanda, Taufik, Klara, Aida dan Ulfa) yang selalu berjuang bersama dari awal hingga akhir perkuliahan. Serta sahabat-sahabat SCI 1st Smanding yang telah membakar api semangat saya dengan prestasi kalian.
10. Teman-teman, Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2014, Kelompok KKN desa Bumi Aji dan warga dusun Sukadadi 6. terimakasih atas dukungan kalian.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Bandar Lampung, 24 September
2018
Penulis

Coco Cesar Karyatama

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR NOTASI	xiv
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Umum	6
2.2. Jenis-Jenis Jembatan	6
2.3. Bagian Struktur Jembatan	8
2.4. Beton Prategang	13
2.5. Pembebanan	27
2.6. Jembatan Box Girder	42
2.7. Analisis Struktur Prategang Profil Box Girder	45
2.8. Perencanaan End Block	51
III. METODOLOGI KAJIAN / STUDI KASUS	
3.1. Pendekatan Kajian/Study Kasus	58
3.2. Data Analisis Kontruksi Jembatan Box Girder.....	58
3.3. Metode Kajian/Study Kasus	59
3.4. Analisis Hasil Kajian/Study Kasus	61
3.5. Model Jembatan	61

3.6. Diagram Alir	67
-------------------------	----

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kriteria Desain.....	73
4.2. Perencanaan Struktur Sekunder.....	77
4.3. Perencanaan Struktur Primer Menggunakan Peraturan Lama.....	86
4.4. Perencanaan Struktur Primer Menggunakan Peraturan Lama.....	223

V. KESIMPULAN DAN HASIL

5.1. Kesimpulan	230
5.2. Saran	231

VI. DAFTAR PUSTAKA

VII.LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Lokasi Jembatan Namosain II	1
Gambar 1.2 a Perbaikan Jembatan Namosain II, b Jembatan Namosain II yang Diresmikan.....	2
Gambar 2.1 Jenis-Jenis Jembatan a Jembatan Kayu, b Jembatan Beton, c Jembatan Prategang, d Jembatan Baja, e Jembatan Komposit	7
Gambar 2.2 Bagian – Bagian Struktur Jembatan	13
Gambar 2.3 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Kosentris.....	15
Gambar 2.4 Momen Penahan Internal pada Beton Bertulang dan Beton Prategang	17
Gambar 2.5 Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi	17
Gambar 2.6 Balok Prategang dengan Tendon Parabola.....	18
Gambar 2.7 Konsep Pra-Tarik.....	21
Gambar 2.8 Konsep Pasca Tarik	21
Gambar 2.9 a Kawat tunggal (wires), b Untaian kawat (strand), c Kawat batangan (bars), dan d Tulangan biasa	24
Gambar 2.10 Prategang Konsentris.....	25
Gambar 2.11 Prategang Eksentris.	26
Gambar 2.12 Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris	27
Gambar 2.13 Intensitas Beban Lajur “D”.	30

Gambar 2.14	Ketentuan beban “T” pada jembatan jalan raya	33
Gambar 2.15	Bentuk Tipikal Respons Spektra Di Permukaan Tanah	37
Gambar 2.16	Jembatan Box Girder Dengan Ketinggian Konstan	43
Gambar 2.17	Jembatan Box Girder Dengan Ketinggian Bervariasi	44
Gambar 2.18	Distribusi Tegangan pada Penampang.....	46
Gambar 2.19	Daerah Batas Tendon pada saat Transfer.....	50
Gambar 2.20	Daerah Batas Tendon pada saat Beban Layan	50
Gambar 2.21	Zona Angkur Ujung untuk Tendon Terlekat a Transisi ke Daerah Solid di Tumpuan, b Zona Ujung dan Retak Spalling..	53
Gambar 2.22	Panjang Penyaluran untuk Srand Prategang	54
Gambar 3.1	Jembatan Namosain II Tampak Samping.....	62
Gambar 3.2	Jembatan Namosain II Tampak Atas.....	62
Gambar 3.3	Potongan Melintang Jembatan Namosain II.....	63
Gambar 3.4	Gambar Diagram Alir Pekerjaan (A)	67
Gambar 3.5	Gambar Diagram Alir Pekerjaan (B).....	68
Gambar 4.1	Tampak Samping Jembatan Namosain II.....	77
Gambar 4.2	Gambar Detail Pipa Sandaran	78
Gambar 4.3	Detail Tiang Railing	81
Gambar 4.4	Denah Tulangan Lentur dan Geser pada Tiang Railling.....	85
Gambar 4.5	Potongan Melintang Section Properties Box Girder	88
Gambar 4.6	Pembebanan truk (T)	93
Gambar 4.7	Tangkapan Gaya Rem	94
Gambar 4.8	Nilai SS dan S1 dari website http://www.puskim.pu.go.id	96
Gambar 4.9	Tampilan Lembar Kerja SAP2000	99
Gambar 4.10	Perintah Menu Memasukkan Material Properties	100

Gambar 4.11	Memasukkan Material Properties	100
Gambar 4.12	Perintah Menu Memasukkan Frame Section.....	101
Gambar 4.13	Memasukkan Data Section Properties.....	101
Gambar 4.14	Memasukkan lebar pelat menjadi 1 m.....	102
Gambar 4.15	Memasukkan Data Koordinat Titik	102
Gambar 4.16	Layar Kerja Setelah Dimasukkan Koordinat Titik	103
Gambar 4.17	Membuat Line Sesuai Titik As Jembatan.....	103
Gambar 4.18	Memasukkan Load Patterns	103
Gambar 4.19	Memasukkan Pembebanan Pada Batang	104
Gambar 4.20	Memasukkan Joint Resistrains	104
Gambar 4.21	Hasil Layar Kerja Setelah Input Joint Resistrains	105
Gambar 4.22	Menjalankan Program SAP2000	105
Gambar 4.23	Perintah Untuk Menampilkan Output Momen	105
Gambar 4.24	Gambar Hasil Tabel Pada SAP2000.....	106
Gambar 4.25	Tampilan Lembar Kerja Baru Pada Program SAP2000.....	110
Gambar 4.26	Tutorial Yang Disediakan Oleh SAP2000	111
Gambar 4.27.	Memuat Layout Line	111
Gambar 4.28	Memasukkan Material Properties Jembatan.....	112
Gambar 4.29	Membuat Dimensi Penampang.....	112
Gambar 4.30	Menyamakan Dimensi Yang Ada Di SAP2000 dengan Manual	113
Gambar 4.31	Membuat Diaphragm Property	113
Gambar 4.32	Memasukkan Data Bearing Free.	114
Gambar 4.33	Memasukkan Joint Fixed.....	115
Gambar 4.34	Membuat Bridge Object	115

Gambar 4.35	Membuat Object Assignment.....	116
Gambar.4.36	Membuat Update Bridge Structural Model	116
Gambar 4.37	Membuat Jalur Line.....	116
Gambar 4.38	Ilustrasi Pembebanan BTR dan BGT	117
Gambar 4.39	Menampilkan Gambar Line Yang Telah Dibuat	117
Gambar 4.40	Membuat Identifikasi Beban Truk (TU).....	118
Gambar 4.41	Memasukkan Beban Gempa Dengan Respon Spectrum	118
Gambar 4.42	Membuat Vechicle Classes.....	119
Gambar 4.43	Memodifikasi Pembebanan Pada Truk (TU).....	119
Gambar 4.44	Memasukkan Identifikasi Pembebanan Truk (TU)	120
Gambar 4.45	Memasukkan Identifikasi Pembebanan Berupa Moving Load	120
Gambar 4.46	Memasukkan Identifikasi Pembebanan Gempa	121
Gambar 4.47	Memasukkan Kasus Pembebanan	121
Gambar 4.48	Menjalankan Program SAP2000	121
Gambar 4.49	Memilih Jenis Gaya Di Menu.....	122
Gambar 4.50	Hasil Analisis Bidang Momen DiSAP2000	122
Gambar 4.51	Melihat Periode Fundamental Jembatan DiSAP2000	123
Gambar 4.53	Diagram Garis Pengaruh Untuk Momen (Mx).....	126
Gambar 4.54	Letak Posisi Tendon Ditengah Bentang (SAP2000)	134
Gambar 4.55	Persamaan Jalur Tendon (Peraturan Lama).....	139
Gambar 4.56	Bidang Lintang Diprogram SAP2000 (Peraturan Lama)	149
Gambar 4.57	Denah Penulangan Senggang Pada Pelat Vertikal	151
Gambar 4.58	Denah Penulangan Lentur dan Geser (Peraturan Lama)	151
Gambar 4.59	Tampilan Assign Prestress Tendon	152

Gambar 4.60	Kotak Input Lintasan Tendon	152
Gambar 4.61	Input Data Material Dan Gaya Prategang	153
Gambar 4.62	Lokasi Keseluruhan Tendon Pada SAP2000.....	153
Gambar 4.63	Kombinasi Pembebanan Kondisi Transfer	156
Gambar 4.64	Kontrol Tegangan Saat Service Pada Program SAP2000 (Peraturan Lama	157
Gambar 4.65	Gambar Kontrol Lendutan Pada SAP2000 (Transfer)	162
Gambar 4.66	Gambar Kontrol Lendutan Pada SAP2000 (Service).....	162
Gambar 4.67	Detail Angkur Hidup	163
Gambar 4.68	Detail Angkur Mati.....	163
Gambar 4.69.	Visualisasi Pembebanan Pada Angkur	164
Gambar 4.70	Denah Penulangan End Block	166
Gambar 4.71.	Nilai SS dan S1 dari website http://www.puskim.pu.go.id	175
Gambar 4.72	Gambar Hasil Tabel Pada SAP2000.....	179
Gambar 4.73	Denah Penulangan Pada Pelat	184
Gambar 4.74	Diagram Garis Pengaruh Untuk Momen (Mx).....	187
Gambar 4.75	Diagram Garis Pengaruh Untuk Momen (Mx).....	188
Gambar 4.76	Letak Posisi Tendon Ditengah Bentang (SAP2000)	197
Gambar 4.78	Bidang Lintang Diprogram SAP2000 (Peraturan Baru)	209
Gambar 4.79	Denah Penulangan Sengkan Pada Pelat Vertikal	210
Gambar 4.80	Denah Penulangan Lentur dan Geser (Peraturan Baru)	211
Gambar 4.82	Kombinasi Pembebanan Kondisi Transfer	213
Gambar 4.83	Kontrol Tegangan Saat Service Pada Program SAP2000 (Peraturan Baru.....	214
Gambar 4.85	Gambar Kontrol Lendutan Pada SAP (Service).....	220

Gambar 4.86	Detail Angkur Hidup	220
Gambar 4.87	Detail Angkur Mati.....	220
Gambar 4.88.	Visualisasi Pembebanan Pada Angkur	221
Gambar 4.89	Denah Penulangan End Block	223
Gambar 4.90	Diagram Perbedaan Gaya Prategang	226
Gambar 4.91	Denah Penulangan Sengkang Pada Pelat Vertikal	227
Gambar 4.92	Diagram Perbedaan Tegangan.....	228

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Spesifikasi Strand Berdasarkan ASTM A-416	24
Tabel 2.2. Berat Isi Bahan-Bahan Bangunan.....	28
Tabel 2.3. Jumlah Lajur Lalu Lintas	29
Tabel 2.4. Kecepatan Angina Rencana	34
Tabel 2.5. Koefisien Seret C_w	34
Tabel 2.6. Faktor Amplifikasi Untuk Periode 0 Detik Dan 0,2 Detik (F_{PGA} / F_a)	36
Tabel 2.7. Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (F_v).....	36
Tabel 2.8. Faktor Modifikasi Respons (R) Untuk Hubungan Antar Elemen Struktur	37
Tabel 2.9. Kombinasi beban dan faktor beban menurut SNI 1725 2016...	39
Tabel 2.10. Kombinasi Beban Untuk Perencanaan Tegangan Kerja Menurut SNI T 02 2005.....	41
Tabel 3.1. Faktor Kombinasi Pembebanan Sesuai SNI 1725 2016 (Service).....	69
Tabel 3.2. Faktor Kombinasi Pembebanan sesuai SNI T 02 2005 (Service).....	70
Tabel 3.3. Faktor Kombinasi Pembebanan Sesuai SNI 1725 2016 (Transfer)	70
Tabel 3.4. Faktor Kombinasi Pembebanan sesuai SNI T 02 2005 (Transfer)	70
Tabel 4.1. Ketentuan sayap atas minimum profil box girder.....	86

Tabel 4.2	Pengecekan Dimensi.....	87
Table 4.3	Perhitungan Titik Berat.....	88
Table 4.4	Perhitungan Section Properties.....	88
Tabel 4.5	Faktor amplifikasi untuk periode 0.2 detik (Fa)	97
Tabel 4.6	Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (Fv).....	97
Tabel 4.7	Pembebanan Pada Pelat	99
Tabel 4.8	Perhitungan Tulangan Lentur Pelat (Peraturan Lama) A	108
Tabel 4.9	Perhitungan Tulangan Lentur Pelat (Peraturan Lama) B.....	109
Tabel 4.10	Pembebanan Pada SAP2000.....	110
Tabel 4.11	Elastomeric Properties	114
Tabel 4.12	Rekapitulasi Perhitungan Momen Menggunakan SAP2000 Peraturan Baru	123
Tabel 4.13	Perhitungan y satuan rentang 5 m dan $\frac{1}{2}$ L.....	125
Tabel 4.14	Perhitungan Gaya Momen akibat Beban Lajur "D" (Mx)	126
Tabel 4.15	Perhitungan Gaya Lintang akibat Beban Lajur "D" (Dx).....	127
Tabel 4.16	Perhitungan Momen akibat Beban Truk "TU" (Mx)	128
Tabel 4.17	Perhitungan Lintang akibat Beban Truk "TU" (Dx).....	128
Tabel 4.18	Rekapitulasi Perhitungan Momen dan Geser Secara Manual...	130
Tabel 4.19	Faktor Kombinasi Pembebanan sesuai RSNI T 02 2005.....	130
Tabel 4.20	Perhitungan Kombinasi Pembebanan sesuai RSNI T 02 2005 (Manual).....	131
Tabel 4.21	Perhitungan Kombinasi Pembebanan sesuai RSNI T 02 2005 (SAP2000)	131
Tabel 4.22	Perhitungan Efektifitas Posisi Tendon (A)	133
Tabel 4.23	Perhitungan Efektifitas Posisi Tendon (B)	133

Tabel 4.24	Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Tendon Pada Jembatan Menggunakan Peraturan :Lama	137
Tabel 4.25	Tabel Koordinat Kunci Masing-Masing Tendon (Peraturan Lama)	137
Tabel 4.26	Menghitung Gaya Prategang Dilapangan Kondisi Transfer (SAP2000)	140
Tabel 4.27	Menghitung Gaya Prategang Dilapangan Kondisi Service (SAP2000)	140
Tabel 4.28	Menghitung Gaya Prategang Dilapangan Kondisi Transfer (Manual).....	140
Tabel 4.29	Menghitung Gaya Prategang Dilapangan Kondisi Service (Manual).....	141
Tabel 4.30	Perhitungan Kontrol Tegangan Secara Manual (Saat Transfer).....	155
Tabel 4.31	Perhitungan Kontrol Tegangan Secara Manual (Saat Service)	155
Tabel 4.32	Perbedaan Gaya Prategang Saat Service Dan Transfer	156
Tabel 4.33	Rekapitulasi Kontrol Tegangan Saat Service Pada Program SAP2000 (Peraturan Lama)	157
Tabel 4.34	Rekapitulasi Kontrol Tegangan Saat Transfer Pada Program SAP2000 (Peraturan Lama)	157
Tabel 4.35	Kombinasi Pembebanan Untuk Kontrol Lendutan (Transfer)..	161
Tabel 4.36	Kombinasi Pembebanan Untuk Kontrol Lendutan (Service) ...	162
Tabel 4.37	Perhitungan Titik Berat Dimensi Baru	166
Tabel 4.38	Perhitungan Section Properties Dimensi Baru.....	166
Tabel 4.39	Faktor amplifikasi untuk periode 0.2 detik (Fa)	176
Tabel 4.40	Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv)...	176
Tabel 4.41	Perbedaan antara pembebanan menurut RSNI T 02 2005 dan SNI 1725 2016	178
Tabel 4.42	Pembebanan Pada Pelat	178

Tabel 4.43	Perhitungan Rasio Tulangan Pada Balok Pelat Dengan Dimensi Yang Telah Diubah	182
Tabel 4.44	Perhitungan Jarak Tulangan Pada Balok Pelat Dengan Dimensi Yang Telah Diubah	182
Tabel 4.45	Pembebanan Pada SAP2000	185
Tabel 4.46	Rekapitulasi Perhitungan Momen Menggunakan SAP2000	185
Tabel 4.47	Perhitungan y satuan rentang 5 m dan $\frac{1}{2}$ L.....	187
Tabel 4.48	Perhitungan Gaya Momen akibat Beban Lajur "D" (Mx)	188
Tabel 4.49	Perhitungan Gaya Lintang akibat Beban Lajur "D" (Dx).....	189
Tabel 4.50	Perhitungan Momen akibat Beban Truk "TU" (Mx)	190
Tabel 4.51	Perhitungan Lintang akibat Beban Truk "TU" (Dx).....	190
Tabel 4.52	Rekapitulasi Perhitungan Momen dan Geser Secara Manual...	192
Tabel 4.53	Perbedaan Perhitungan Bidang Momen Menggunakan Metode Manual dengan SAP2000	192
Tabel 4.54	Faktor Kombinasi Pembebanan sesuai SNI 1725 2016.....	193
Tabel 4.55	Perhitungan Kombinasi Pembebanan (SAP2000) sesuai SNI 1725 2016	194
Tabel 4.56	Perhitungan Kombinasi Pembebanan (Manual) sesuai SNI 1725 2016	194
Tabel 4.57	Perhitungan Efektifitas Posisi Tendon (A)	196
Tabel 4.58	Perhitungan Efektifitas Posisi Tendon (B)	196
Tabel 4.59	Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Tendon Pada Jembatan Menggunakan Peraturan Baru.....	200
Tabel 4.60	Tabel Koordinat Kunci Masing-Masing Tendon (Peraturan Baru)	200
Tabel 4.61	Menghitung Gaya Prategang Dilapangan Kondisi Transfer (SAP2000)	203
Tabel 4.62	Menghitung Gaya Prategang Dilapangan Kondisi Service (SAP2000)	203

Tabel 4.63	Menghitung Gaya Prategang Dilapangan Kondisi Transfer (Manual).....	203
Tabel 4.64	Menghitung Gaya Prategang Dilapangan Kondisi Service (Manual).....	204
Tabel 4.65	Perhitungan Kontrol Tegangan Secara Manual (Saat Transfer).....	212
Tabel 4.66	Perhitungan Kontrol Tegangan Secara Manual (Saat Service)	212
Tabel 4.67	Perbedaan Gaya Prategang Saat Service Dan Transfer	213
Tabel.4.68	Rekapitulasi Kontrol Tegangan Saat Service Pada Program SAP2000(Peraturan Baru)	214
Tabel 4.69	Rekapitulasi Kontrol Tegangan Saat Transfer Pada Program SAP2000(Peraturan Baru)	215
Tabel 4.70	Kombinasi Pembebanan Untuk Kontrol Lendutan (Transfer)..	219
Tabel 4.71	Kombinasi Pembebanan Untuk Kontrol Lendutan (Service) ...	219
Tabel 4.72	Perbedaan antara pembebanan menurut RSNI T 02 2005 dan SNI 1725 2016	222
Tabel 4.73	Perhitungan Kombinasi Pembebanan sesuai RSNI T 02 2005.	225
Tabel 4.74	Perhitungan Kombinasi Pembebanan (SAP2000) sesuai SNI 1725 2016	226
Tabel 4.75	Rekapitulasi Perhitungan Penulangan Tendon Pada Jembatan Menggunakan Peraturan Baru.....	226

DAFTAR NOTASI

A	= Luas penampang box girder (mm^2)
A_c	= luas penampang beton (mm^2)
ANC	= Kehilangan gaya prategang akibat slip ankur
A_s	= Luas penampang tulangan (mm^2)
btr	= Lebar tiang railing (mm)
CR	= Kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton
Csm	= Koefisien respon gempa elastis
D	= Gaya Lintang (kN)
do	= Diameter pipa sandaran (mm)
e	= Jarak garis normal box girder ke titik berat tendon/ eksentrisitas (mm)
E	= Modulus elastisitas beton (MPa)
Es	= Modulus elastisitas baja (MPa)
ES	= Kehilangan gaya prategang akibat perpendekan elastis
EQ	= Gaya gempa
EWS	= Beban angin pada struktur
EWL	= Beban angin pada kendaraan
f'_c	= Kuat tekan beton saat umur 28 hari (MPa)
f'_{ca}	= tegangan pada serat atas (MPa)

f'_{cc}	= Tegangan izin beton kondisi tekan (MPa)
f'_{ci}	= Kuat tekan beton saat kondisi transfer (MPa)
f'_{ct}	= Tegangan izin beton kondisi tarik (MPa)
F_o	= Gaya prategang (kN)
f_{pu}	= kuat tarik tendon prategang (MPa)
F_r	= Modulus of fracture atau modulus keruntuhan beton (MPa)
f_y	= Kuat tarik leleh baja tulangan (MPa)
H_{TP}	= Gaya horizontal pada tiang railing (kN)
I	= momen inersia penampang beton (mm^4)
K	= Koefisien Wooble, Tabel 14 pasal 20.6 (SNI 2847, 2002)
k_a	= Jarak antara titik berat penampang dengan posisi tendon atas (mm)
k_b	= Jarak antara titik berat penampang dengan posisi tendon bawah (mm)
K_{cr}	= Koefisien rangkai
L	= Panjang bentang jembatan (m)
L_p	= Panjang pipa sandaran (m)
L_x	= Panjang kabel yang ditinjau
M_v	= Momen vertikal (kN.m)
M_h	= Momen horizontal (kN.m)
M_n	= Momen nominal (kN.m)
M_r	= Momen resultan (kN.m)
M_{TP}	= Momen pada tiang railing (kN.m)
M_u	= Momen ultimit rencana (kN.m)
M	= Momen yang ditinjau (kN)

MA	= Beban mati akibat perkerasan dan utilitas
n	= Jumlah tulangan yang dibutuhkan
ns	= Jumlah tendon yang dibutuhkan
P	= Beban garis (kN)
P_{bs}	= Beban putus satu kawat (kN)
P_{bs1}	= Beban putus satu kawat yang terjadi (kN)
P_{BTR}	= Beban terpusat akibat beban garis terpusat (kN)
P_j	= Gaya prategang yang terjadi akibat <i>jecking</i> (kN)
P_o	= Presentase tegangan yang timbul pada baja
PR	= Gaya prategang
Ps	= Kehilangan gaya prategang akibat gesekan pada tendon
Q	= Beban merata (kN/m)
Q_{BTR}	= Beban merata akibat beban terbagi merata (kN/m)
Q_{EQ}	= Beban merata akibat beban gempa (kN/m)
q_{pipa}	= Berat pipa sandaran (kN/m)
$q_{sandaran}$	= Berat sandaran pada pipa (kN/m)
Q_h	= Beban merata horizontal (kN/m)
Q_{Ma}	= Beban merata akibat beban mati (kN/m)
Q_{MS}	= Beban merata akibat beban sendiri (kN/m)
Q_{TP}	= Beban merata akibat beban pejalan kaki (kN/m)
Q_v	= Beban merata vertikal (kN/m)
r	= Jari-jari inersia (mm)
RE	= Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja

R_n	= Besaran ketahanan atau kekuatan nominal dari penampang komponen struktur
R_δ	= Hasil lendutan yang terjadi (mm)
SH	= Kehilangan gaya prategang akibat susut beton
S_{max}	= Jarak tulangan geser maksimum (mm)
Str	= Jarak antar tiang railing (m)
t_{tr}	= Tebal tiang railing (mm)
T	= Periode alami atau periode <i>fundamental</i> (s)
T_B	= Gaya akibat rem
T_D	= Beban lajur “D”
T_{EQ}	= Beban gempa vertikal (kN)
T_{TB}	= Beban terpusat akibat beban rem (kN)
T_P	= Beban pejalan kaki
T_U	= Beban roda truk (kN)
T_T	= Beban truk “T”
V_{TP}	= Gaya vertikal pada tiang railing (kN)
V_u	= Gaya geser ultimit rencana (kN)
V_c	= Kuat geser nominal yang ditimbulkan oleh beton (kN)
V_s	= Kuat geser nominal yang dipikul oleh tulangan geser (kN)
w	= Section modulus (mm ³)
w_c	= Berat beton prategang (kg/m ³)
x	= Jarak langsung terhadap titik tinjau (m)
y	= Nilai garis pengaruh pada titik tinjau (satuan)

$\bar{y}$	= Titik berat penampang arah vertikal (mm)
y_a	= Jarak garis normal box girder ke tepi atas (mm)
y_b	= Jarak garis normal box girder ke tepi bawah (mm)
Δ_{ijin}	= Lendutan yang diizinkan (mm)
ϵ_{CS}	= Regangan susut sisa total
δ_x	= Lendutan yang terjadi arah x (mm)
δ_y	= Lendutan yang terjadi arah y (mm)
Φ	= Faktor reduksi disain lentur
ρ_{min}	= Rasio tulangan minimum
ρ_{max}	= Rasio tulangan maksimum
ρ_b	= Rasio tulangan yang diberikan saat kondisi regangan yang seimbang
ρ	= Ratio tulangan tarik non-prategang
μ	= Koefisien fraksi, Tabel 14 pasal 20.6 (SNI 2847,2002)

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan Namosain II merupakan salah satu jembatan yang terbuat dari Beton dengan bentuk *box girder* dan menggunakan sistem prategang yang disahkan pada tahun 2008 (Gambar 1.2b) di Kupang provinsi Nusa Tenggara Timur . Jembatan ini menghubungkan Kota Kupang ke Kawasan Pelabuhan Tenau (Gambar 1.1) dimana arus yang melewati jembatan tersebut dengan muatan cukup berat seperti *truck* yang membawa bahan pokok dan lain-lain.



Gambar 1.1 Lokasi Jembatan Namosain II

Pada tahun 2017 jembatan Namosain II mengalami kerusakan yaitu retak pada bagian bawah *girder*-nya sehingga hal ini menyebabkan terjadinya getaran pada struktur jembatan yaitu pada saat kendaraan berat melintas di

jembatan tersebut, maka pada bulan Maret-Mei 2017 jembatan ini dilakukan perbaikan (Gambar 1.2a) dengan melakukan grouting pada slab bagian bawah girder dilanjutkan pemasangan fiber sebanyak 2 lapis yaitu 1 lapis searah memanjang dan 1 lapis arah melintang, sehingga struktur lebih kaku dan mengurangi getaran yang terjadi. Namun pada proses perbaikan mengalami kesulitan untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan-kerusakan tersebut karena tidak tersedianya gambar *as built drawing*, jembatan tidak dapat diidentifikasi apakah kerusakan yang terjadi karena muatan berlebih atau penampang struktur yang tidak kuat menopang beban yang melewati. Oleh karena itu perlunya dilakukan identifikasi atau kajian untuk mengobservasi apakah existing jembatan *box girder prestessed* Namosain II sekarang mampu menahan pembebanan saat direncanakan dan yang berlaku saat ini.



a.



b.

Gambar 1.2 a. Perbaikan Jembatan Namosain II, b. Papan Pengesahan Jembatan Namosain II

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam mengkaji desain *box girder* adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mendesain struktur jembatan *box girder* yang efisien, efektif,

dan aman?

2. Bagaimana mengetahui perilaku lentur dan geser pada jembatan *box girder*?
3. Apakah dimensi existing jembatan *box girder prestessed* Namosain II sekarang mampu menahan pembebanan?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil dalam melakukan kajian desain jembatan *box girder prestessed* adalah sebagai berikut:

1. Peraturan yang ditinjau meliputi:
 - a. Pedoman persyaratan umum perencanaan jembatan KPUPR 2015.
 - b. Standar pembebanan struktur jembatan SNI 1725 2016 untuk peraturan baru, dan RSNI-T-02-2005 untuk peraturan lama.
 - c. Persyaratan beton struktur untuk jembatan SNI 2833 2013 untuk peraturan baru dan RSNI-T-12-2004 untuk peraturan lama.
 - d. Perancangan jembatan terhadap beban gempa SNI 2833 2013 untuk peraturan baru dan SNI 2833 2008 untuk peraturan lama.
2. Kombinasi dan tinjauan pembebanan berdasarkan standar pembebanan struktur jembatan SNI 1725 2016 dan RSNI-T-02-2005 , yang meliputi:
 - a. Beban dari aksi permanen
 - b. Beban dari aksi transien
 - c. Beban dari aksi lingkungan
3. Data dimensi, panjang bentang dan bentuk struktur jembatan menggunakan gambar eksisting dari jembatan Kupang di NTT

4. Analisis dan desain struktur hanya dilakukan untuk struktur atas jembatan saja. Struktur pondasi bawah jembatan tidak dilakukan karena tidak tersedianya data tanah, dimensi dan data pendukung lainnya
5. Pemodelan, analisis dan desain struktur jembatan atas menggunakan bantuan program SAP2000 v.14 dan analisis manual tambahan diperlukan untuk memverifikasi beberapa hasil dari SAP 2000 v.14
6. Perhitungan tulangan beton bertulang menggunakan SNI 2847-2013 untuk peraturan baru dan SNI 2847-2002 untuk peraturan lama.

1.4. Tujuan

Tujuan umum dari tugas akhir ini adalah sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan tugas akhir pada program studi Teknik Sipil Universitas Lampung. Adapun tujuan khusus dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menyediakan suatu kerangka acuan dalam mendesain struktur atas jembatan *box girder* secara efisien efektif, dan aman menggunakan software SAP 2000 v14.
2. Menampilkan perbedaan perilaku saat menggunakan peraturan lama dan baru.
3. Mengecek dimensi existing jembatan *box girder prestressed* Namosain II sekarang mampu menahan pembebanan.

1.5. Manfaat Kajian

Dari hasil kajian yang diperoleh, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan desain ulang pada jembatan *box girder* prategang.
2. Memberikan data tulangan yang dibutuhkan pada jembatan Namosain.
3. Memberikan *guide lines*/kerangka acuan bagi para insinyur perencana dalam mendesain struktur jembatan dengan menggunakan *software* SAP2000 v14.
4. Memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu struktur jembatan *box girder* prategang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Jembatan merupakan salah satu bangunan pelengkap sarana transportasi jalan yang menghubungkan suatu tempat ke tempat yang lain, yang dapat dilintasi oleh sesuatu benda yang bergerak misalnya suatu lintas yang terputus akibat rintangan atau sebab lainnya (Supriadi et al. 2007), dengan cara melompati rintangan tersebut tanpa menimbun/menutup rintangan itu apabila jembatan terputus maka lalu lintas akan terhenti. Benda bergerak tersebut dapat berupa jalan kendaraan, jalan kereta api, jalan pejalan kaki, maupun jalan angkutan bahan atau barang. Sedangkan rintangan tersebut dapat berupa jalan kendaran, jalan kereta api, lintasan air, sungai, lembah atau jurang.

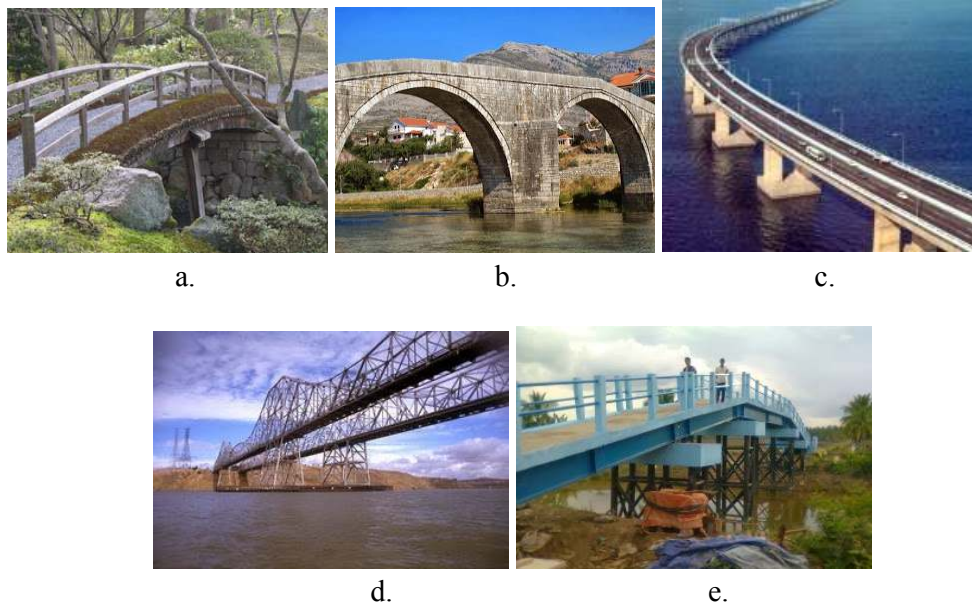
Jembatan merupakan jenis konstruksi yang tidak mudah dimodifikasi pada konstruksinya. Hal tersebut dikarenakan perubahan biaya yang relatif tinggi dan pengaruh dari kelancaran lalu lintas pada pelaksanaan pekerjaan akan terhambat. Oleh sebab itu jembatan dibangun dengan umur sekitar 25-50 tahun.

2.2. Jenis-Jenis Jembatan

Jenis jembatan telah mengalami perkembangan yang pesat sesuai dengan kemajuan jaman dan teknologi sekarang ini, mulai dari yang sederhana hingga konstruksi yang modern. Jenis jembatan dapat diklasifikasikan berdasarkan

fungsi, bahan konstruksi, lokasi dan tipe struktur. Jembatan dapat dibedakan berdasarkan bahan penyusun konstruksinya (Manu, 1995), jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam diantaranya :

- a. Jembatan kayu (*log brodge*)
- b. Jembatan beton (*concrete bridge*)
- c. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)
- d. Jembatan baja (*stell bridge*)
- e. Jembatan komposit (*composite bridge*).



(Sumber : All About Safety, 2013)

Gambar 2.1 Jenis-Jenis Jembatan a. Jembatan Kayu, b. Jembatan Beton, c. Jembatan Prategang, d. Jembatan Baja, e. Jembatan Komposit

Berdasarkan tipe strukturnya, Jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam (Supriyadi et al. 2007), antara lain:

- a. Jembatan pelat (*slab bridge*)
- b. Jembatan pelat berongga (*void slab bridge*)
- c. Jembatan gelagar (*girder bridge*)

- d. Jembatan rangka (*truss bridge*)
- e. Jembatan pelengkung (*arch bridge*)
- f. Jembatan gantung (*suspension bridge*)
- g. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)
- h. Jembatan contilever (*contilever bridge*).

Berdasarkan tingkat kemampuan geraknya, jembatan dibagi menjadi dua tipe (Veen & Struyk, 1995), yaitu:

- a. Jembatan - jembatan tetap
- b. Jembatan - jembatan dapat digerakkan.

Selain dua tipe jembatan diatas, perbedaan jembatan menurut keawetan keawetan umur dapat dibagi menjadi :

- a. Jembatan darurat
- b. Jembatan sementara
- c. Jembatan permanen.

2.3. Bagian Struktur Jembatan

Secara umum konstruksi jembatan beton terdiri dari dua bagian yaitu struktur bangunan atas (*upper structure*) dan struktur bangunan bawah (*substructure*). Struktur bangunan atas adalah konstruksi yang berhubungan langsung dengan beban-beban lalu lintas yang bekerja. Sedangkan struktur bangunan bawah adalah konstruksi yang menerima beban-beban dari struktur bagian atas dan meneruskan ke lapisan pendukung (tanah keras) di bawahnya.

2.3.1. Struktur Bangunan Atas

Bagian struktur ini terletak dibagian atas konstruksi yang langsung menerima beban langsung meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu-lintas kendaraan, beban truk, gaya rem, ataupun beban pejalan kaki yang kemudian beban dari struktur tersebut ditransfer ke pondasi atau tapak. Berikut ini merupakan bagian-bagian dari struktur bangunan atas, yaitu:

a. Sandaran.

Berfungsi untuk membatasi lebar suatu jembatan, bertujuan untuk membuat rasa aman dalam berlalu lintas. Sandaran umumnya dipasang menggunakan beton bertulang sebagai tiangnya dan untuk sandarannya menggunakan pipa, namun sandaran dapat berupa konstruksi beton yang dicor utuh sepanjang jembatan.

b. Trotoar

Merupakan media jalan untuk pejalan kaki yang terbuat dari beton, bentuknya lebih tinggi dari lantai kendaraan atau aspal. Trotoar dipasang pada bagian kanan dan kiri jembatan yang memiliki lebar minimal cukup untuk dua orang berpapasan dan biasanya berkisar antara 1.0 – 1.5 meter. Pada ujung tepi trotoar (*kerb*) dipasang lis dari baja siku yang berguna sebagai penguat trotoar dari pengaruh gesekan dengan roda kendaraan.

c. Balok diagfragma.

Merupakan konstruksi pengaku dari gelagar-gelagar memanjang dan tidak memikul beban pelat lantai dan beban dari kendaraan seperti konstruksi slab.

d. Pelat jembatan.

Merupakan sebuah elemen struktur yang berfungsi menyalurkan beban mati maupun beban hidup yang dipasang horizontal menuju rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur. Didalam komponen pelat terdapat lantai kendaraan yang di lewati oleh beban berjalan.

e. Gelagar.

Merupakan elemen struktur yang dibuat membentang sepanjang jembatan dapat berbentuk I girder, box girder, maupun rangka lainnya. Fungsi menerima beban dari pelat jembatan lalu menyalurkannya ke rangka utama

f. Landasan.

Landasan atau perletakan dibuat untuk menerima gaya – gaya dari konstruksi bangunan atas baik secara horizontal, vertikal maupun lateral dan menyalurkan ke bangunan di bawahnya. Ada tiga macam perletakan yaitu sendi, rol dan elastomer.

2.3.2. Stuktur Bangunan Bawah

Bagian struktur jembatan ini adalah bagian yang mentransfer semua beban akibat dari struktur bagian atas, kemudian disalurkan ke pondasi atau tapak

jembatan. Struktur bangunan bawah ini tepat berada di bawah struktur bagian atas. Bagian - bagian yang termasuk bangunan bawah yaitu :

1. Abutment

Abutment (kepala jembatan) merupakan bagian konstruksi jembatan yang terdapat pada ujung - ujung jembatan yang berfungsi sebagai penopang dari struktur bangunan atas serta sebagai penahan tanah timbunan (*oprit*). Konstruksi abutment dilengkapi juga dengan konstruksi *flans* untuk dapat menahan tanah pada arah tegak lurus dari as jalan. Jenis abutment yang sering dijumpai pada jembatan baru maupun jembatan lama yang pada prinsipnya yaitu sebagai pendukung bangunan atas, tetapi yang paling dominan ditinjau dari kondisi lapangan seperti daya dukung tanah dasar dan penurunannya (*settlement*).

2. Pilar (*Pier*)

Pilar atau *pier* adalah suatu bangunan bawah yang terletak di tengah - tengah bentang antara dua buah abutment yang berfungsi juga untuk menopang beban – beban akibat dari bangunan atas dan bangunan lainnya dan meneruskan beban-beban tersebut ke pondasi serta disebarkan ke tanah dasar yang keras. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam menggunakan pilar pada suatu konstruksi jembatan antara lain ditinjau dari:

- a. Bentang jembatan yang akan direncanakan
- b. Kedalaman sungai atau perilaku sungai
- c. Elemen struktur yang akan digunakan.

Pada umumnya pilar jembatan dipengaruhi oleh aliran (arus) sungai, sehingga dalam perencanaan perlu diperhatikan beberapa hal misalnya segi kekuatan dan keamanan dari bahan – bahan hanyutan dan aliran sungai itu sendiri, oleh sebab itu bentuk dan penempatan pilar tidak boleh menghalangi aliran air terutama pada saat banjir. Bentuk pilar yang paling ideal adalah elips atau bentuk yang pipih dan dapat pula persegi panjang, sehingga memungkinkan aliran sungai dapat mengalir lancar disekitar tubuh pilar.

3. Pondasi

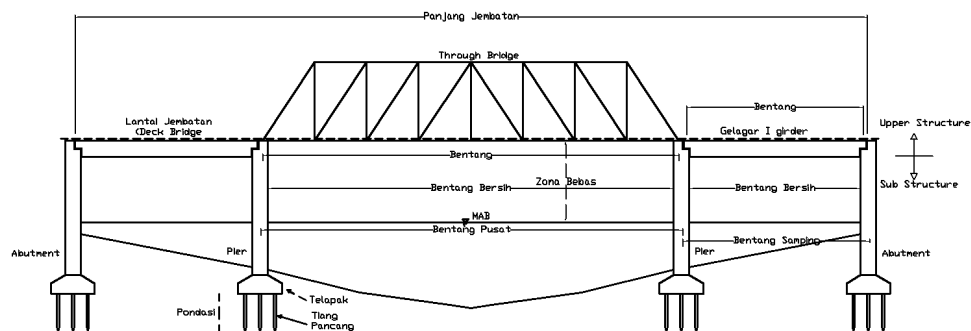
Pondasi berfungsi untuk memikul beban dari atas dan meneruskannya ke lapisan tanah pendukungnya namun tidak mengalami konsolidasi atau penurunan yang berlebihan. Beberapa hal yang diperlukan dalam perencanaan pondasi diantaranya :

- 1) Daya dukung tanah terhadap konstruksi.
- 2) Beban – beban yang bekerja pada tanah baik secara langsung maupun tidak langsung.
- 3) Keadaan lingkungan seperti banjir, longsor dan lainnya. Secara umum jenis pondasi yang sering digunakan pada jembatan ada 3 (tiga) macam yaitu :
 - a) Pondasi langsung
 - b) Pondasi sumuran
 - c) Pondasi dalam (pondasi tiang pancang / bor).

4. Pelat Injak

Pelat injak berfungsi untuk menahan hentakan pertama roda kendaraan ketika akan memasuki awal jembatan. Pelat injak ini sangat berpengaruh pada pekerjaan bangunan bawah, karena bila dalam pelaksanaan pemadatan kurang sempurna akan berdampak pada penurunan dan patahnya pelat injak.

Desain struktur bawah tidak dimasukkan dalam perhitungan tugas akhir, dikarenakan tidak tersedianya data tanah dan dimensi pada jembatan yang dikaji.



Gambar 2.2 Bagian – Bagian Struktur Jembatan

2.4. Beton Prategang

2.4.1. Konsep Dasar

Beton adalah suatu bahan konstruksi yang terdiri atas berbagai kombinasi bahan yaitu air, agregat halus maupun kasar, dan semen. Beton merupakan bahan yang mempunyai kuat tekan yang tinggi, namun memiliki kuat tarik yang relatif rendah. Kuat tariknya bervariasi dari 8% hingga 14% dari kuat tekannya (Nawy. 2001). Sedangkan baja merupakan suatu bahan material

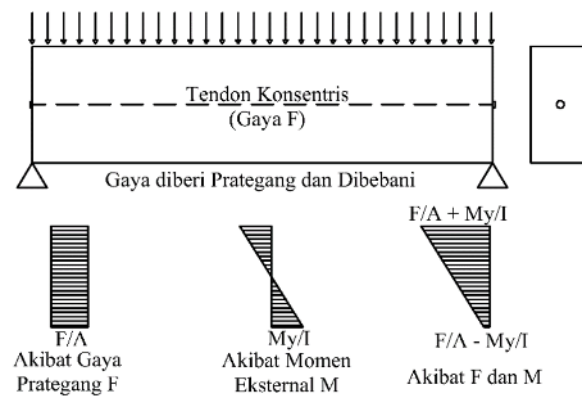
yang mempunyai kuat tarik yang tinggi, sehingga dengan mengkombinasikan beton dan baja sebagai bahan struktur akan menjadikan struktur yang lebih kuat karena tegangan tekan akan dipikul oleh beton sedangkan tegangan tarik akan dipikul oleh baja. Kombinasi dari beton dan baja disebut beton bertulang, dalam hal ini menjadi dasar dari konsep Beton Prategang

Pada struktur dengan bentang yang Panjang yaitu lebih dari 25 m, struktur beton bertulang biasa tidak cukup untuk menahan tegangan lentur sehingga mengakibatkan terjadinya retak-retak di daerah yang memiliki tegangan lentur, geser atau puntir yang tinggi (Budiadi, 2008). Timbulnya retak-retak awal yang terjadi pada beton bertulang disebabkan oleh ketidakcocokan (*non compatibility*) dalam regangan-regangan baja dan beton oleh karena itu hal ini merupakan titik awal dikembangkannya suatu material baru seperti “beton prategang” (Raju, 1993).

Beton prategang pada dasarnya beton mengalami tegangan-tegangan internal yang besar serta terdistribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa hingga tegangan-tegangan yang diakibatkan oleh beban-beban luar dapat dilawan hingga suatu tingkatan yang dikehendaki. Prategang meliputi penambahan gaya tekan pada struktur yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan gaya tarik internal dalam hal ini retak pada beton dapat dihilangkan. Gaya tekan disebabkan oleh reaksi baja tulangan yang ditarik, axial terhadap penampang, hal tersebut

mengakibatkan berkurangnya retak, elemen beton karena beton menerima gaya tekan.

Terdapat tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal tersebut dijelaskan sebagai berikut : **Konsep pertama**, sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan elastis. Konsep ini adalah sebuah pemikiran dari Eugene Freyssnet yang mengibaratkan beton prategang yang pada dasarnya merupakan bahan yang getas (beton) menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beban yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan (biasanya dengan menggunakan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik.



(Sumber : Lin & Burns, 2000)

Gambar 2.3 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Kosentris

Dari konsep tersebutlah lahir kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa jika tegangan tarik tidak terjadi pada beton, maka tidak akan terjadi retak, dan beton bukan lagi bahan yang

getas melainkan bahan yang elastis. Dalam contoh yang sederhana, ditinjau sebuah balok persegi panjang yang diberi gaya prategang pada sebuah tendonnya melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani oleh gaya eksternal, lihat Gambar 2.3

Gaya prategang F pada tendon menghasilkan gaya tekan F yang merata pada seluruh penampang beton dan juga bekerja pada titik berat tendon. Akibatnya gaya prategang tekan secara merata sebesar

$$f = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2.1)$$

akan timbul pada penampang seluas A . jika M ialah momen eksternal akibat beban dan berat sendiri balok pada penampang, maka tegangan normal pada setiap titik sepanjang penampang akibat M adalah

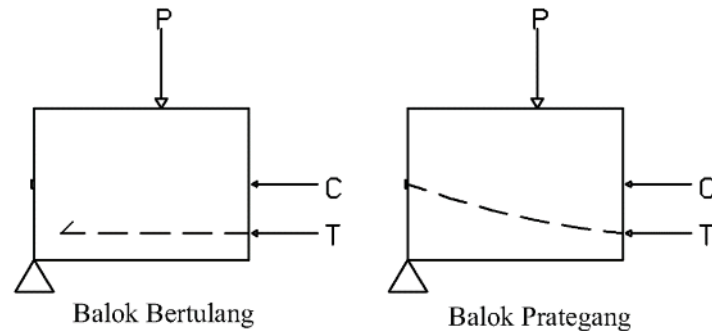
$$f = \frac{M.y}{I} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana y adalah jarak dari titik berat tendon ke serat terluar penampang dan I adalah momen inersia penampang balok. Sehingga distribusi tegangan yang dihasilkan adalah

$$f = \frac{F}{A} + \frac{M.y}{I} \dots\dots\dots (2.3)$$

Konsep kedua, Sistem Prategang Mengkombinasikan Baja Mutu Tinggi Dengan Beton. Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja/*strand* dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana beton menahan tekanan dan baja menahan tarikan. Dengan demikian kedua bahan berkombinasi untuk melawan momen-momen eksternal (Gambar 2.4). Hal ini adalah konsep yang mudah, dimana baja

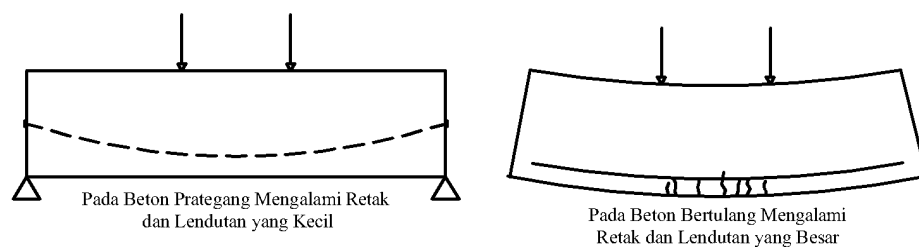
menahan gaya tarik dan beton menahan gaya tekan, dan kedua gaya membentuk momen kopel dengan momen diantaranya.



(Sumber : Lin & Burns, 2000)

Gambar 2.4 Momen Penahan Internal pada Beton Bertulang dan Beton Prategang

Pada beton prategang, baja mutu tinggi digunakan dengan cara menarik sebelum kekuatannya dimanfaatkan secara keseluruhan. Jika beton mutu tinggi masukkan kedalam beton, seperti pembuatan beton bertulang biasa, beton disekitar penampang bawah akan mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan, Gambar 2.5



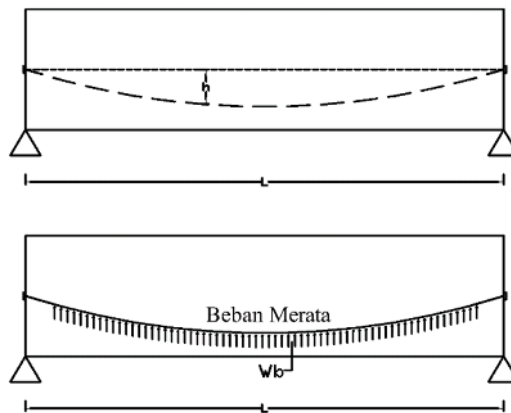
(Sumber : Lin & Burns, 2000)

Gambar 2.5 Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi

Konsep ketiga, Sistem Prategang untuk Mencapai Keseimbangan Beban.

Konsep ini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk menyeimbangkan gaya-gaya dari beban luar. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai

keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti balok, pelat (slab), dan gelagar (*girder*) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Hal ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisis dan struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang. Sebagai contoh, sebuah balok prategang diatas dua tumpuan (*simple beam*) dengan tendon berbentuk parabola seperti Gambar 2.6.



(Sumber : Lin & Burns, 2000)

Gambar 2.6 Balok Prategang dengan Tendon Parabola

Keuntungan penggunaan beton prategang (Budiadi, 2008) adalah:

- 1) Dapat menahan beban lentur yang lebih besar dari beton bertulang.
- 2) Dapat digunakan untuk bentang yang lebih panjang dengan mengatur defleksinya.

- 3) Ketahanan geser dan puntirnya akan bertambah seiring penegangannya.
- 4) Dapat digunakan pada rekayasa konstruksi tertentu, contohnya pada konstruksi jembatan segmen.
- 5) Berbagai kelebihan lain pada penggunaan struktur khusus, seperti struktur pelat dan cangkang, struktur pracetak, struktur tangki, dan lain-lain.
- 6) Pada penampang yang diberi penegangan, tegangan tarik dapat dieliminasi karena besarnya gaya tekan disesuaikan dengan beban yang akan diterima.

Selain beberapa poin kelebihan diatas, beton prategang juga memiliki kekurangan, di antaranya :

- 1) Memerlukan peralatan yang khusus seperti tendon, angkur, mesin penarik kabel, dll.
- 2) Memerlukan keahlian khusus baik dalam perencanaan maupun pelaksanaannya.

2.4.2. Sistem Prategang dan Pengangkeran

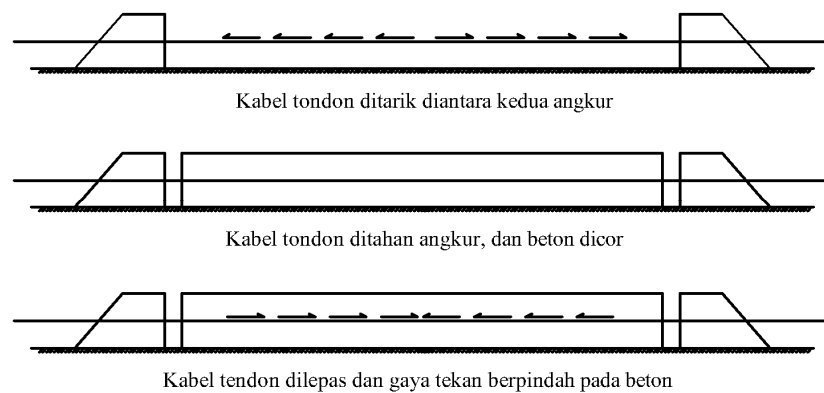
Sehubungan dengan perbedaan sistem untuk penarikan dan pengangkuran tendon, maka situasinya sedikit membingungkan dalam perancangan dan penerapan beton prategang. Sebagai lulusan sarjana teknik sipil harus memiliki pengetahuan umum mengenai metode-metode yang ada dan mengingatkanya pada saat menentukan dimensi komponen struktur,

sehingga tendon-tendon dari beberapa sistem dapat ditempatkan dengan baik (Ned, 1996).

Untuk memberikan tekanan pada beton pratekan, bisa dilakukan sebelum (*Pre-tensioning*/ pratarik) atau sesudah (*Post-tensioning*/ pascatarik) beton dicetak/dicor. Oleh sebab itu system prategang dibagi menjadi 2 sistem, diantaranya:

a. Sistem pratarik (*pre-tensioning*)

Pada kondisi sistem pratarik (*pre-tensioning*), tendon terlebih dahulu ditarik antara blok-blok angkur yang kaku (*rigid*) diujung-ujung cetakan beton atau di dalam suatu balok atau perangkat cetakan pratarik, selanjutnya beton dicor dan kemudian lakukan pemadatan yang sesuai dengan bentuk dan ukuran yang diinginkan. Oleh karena semua metode pratarik cenderung mengandalkan pada rekatan yang timbul antara kabel strand dan beton disekelilingnya, hal tersebut penting karena setiap tendon harus merekat sepenuhnya sepanjang seluruh panjang badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dari alat prapenarikan dan gaya prategang ditransfer ke beton.

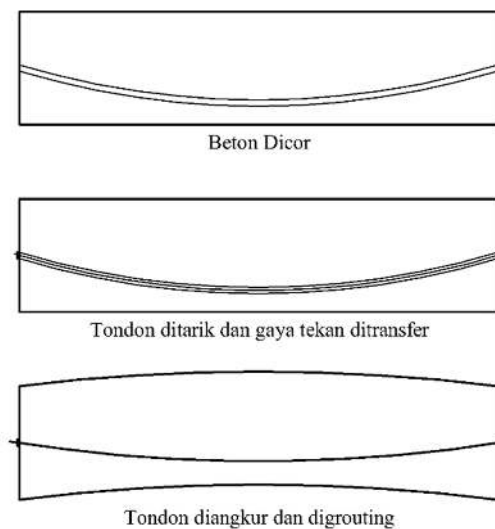


(Sumber : Lin & Burns, 2000)

Gambar 2.7 Konsep Pra-Tarik

Transfer prategang pada beton umumnya dilakukan dengan dongkrakan sekrup yang besar atau menggunakan dongkrak hidrolik, dimana semua sisi angkur dilepaskan secara bersamaan setelah beton mencapai kekuatan tekan yang disyaratkan.

b. Sistem Pasca Tarik (*post-tensioning*)



(Sumber : Lin & Burns, 2000)

Gambar 2.8 Konsep Pasca Tarik

Metode *post-tensioning* biasanya dilaksanakan di lapangan. Dalam sistem pascatarik, unit beton dimasukkan saluran atau alur untuk memasukkan tendon kemudian dicetak. Apabila beton sudah cukup kuat, maka kawat atau strand bermutu tinggi ditarik dengan menggunakan dongkrak pada permukaan sisi ujung batang dan sisi ujung sebaliknya di kunci kemudian kawat diangkurkan dengan pasak atau mur. Gaya-gaya diteruskan oleh angkur ke beton dan juga apabila kabel berbentuk parabola akan terjadi tekanan radial antara kabel dan

saluran. Pada umumnya ruang udara antara tendon dan saluran di-beri grouting setelah penarikan.

2.4.3. Material Beton Prategang

a. Beton

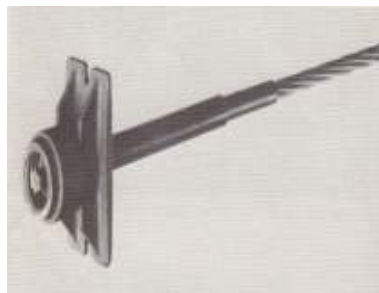
Beton adalah campuran semen, air dan agregat dan bahan aditif untuk keperluan khusus. Setelah beberapa jam dicampur, bahan – bahan tersebut akan mengeras seperti bentuk pada waktu basahanya. Kekuatan beton ditentukan oleh kekuatan kuat tekan karakteristik pada usia 28 hari.

Mutu kuat tekan beton yang digunakan dalam beton prategang yaitu yang memiliki kekuatan tekan yang cukup tinggi dengan nilai f'_c antara 30-45 Mpa. Kuat tekan yang tinggi diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengangkuran tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkai lebih kecil (Budiadi, 2008) Rangkai yang lebih kecil berpengaruh terhadap keawetan struktur dan kemampuan layan yang lebih lama. Campuran beton bermutu tinggi juga dapat mengurangi penggunaan material yang berlebihan sehingga berat sendiri dari material dapat berkurang.

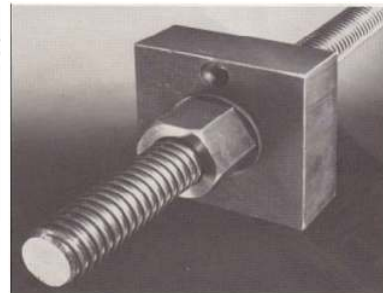
b. Baja

Baja yang digunakan untuk beton prategang dalam praktiknya ada empat macam, yaitu :

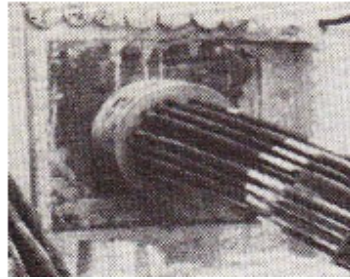
- 1) Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik. Kawat tunggal yang dipakai untuk beton prategang yaitu yang sesuai dengan spesifikasi ASTM A 421 dengan tegangan tarik (f_p) antara 1500-1700 Mpa, dan diameter yang bervariasi antara 3- 8 mm.
- 2) Untaian kawat (*strand*), jenis kawat ini biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pascatarik. Strand yang digunakan harus memenuhi syarat kriteria ASTM A 416. Tegangan tarik (f_p) untai kawat adalah antara 1750-1860 Mpa dan memiliki diameter untai kawat bervariasi antara 7,9 – 15,2 mm.
- 3) Kawat batangan (*bars*), biasanya jenis kawat ini digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik. Kawat batangan ini mengacu pada spesifikasi ASTM A 722 yang tegangan tariknya (f_p) adalah antara 1000-1100 MPa dan memiliki diameter yang berkisar antara 8-35 mm.



a.



b.



c.

(Sumber: Pujiyanto, 2014)

Gambar 2.9. a. Kawat tunggal (*wires*), b. Untaian kawat (*strand*), dan c. Kawat batangan (*bars*)

Tabel 2.1 Spesifikasi Strand Berdasarkan ASTM A-416

Diameter mm	Min. Breaking Strength, kN	Stand Steel Area mm ²	Weighth Kg/1000m
Grade 1725			
6.40	40.0	23.2	182
7.90	64.5	37.4	294
9.50	89.0	51.6	405
11.10	120.1	69.7	548
12.70	160.1	92.9	730
15.20	240.2	139.4	1,094
Grade 1860			
9.53	102.3	54.80	432
11.11	137.9	74.2	582
12.70	183.7	98.70	775
15.24	260.7	140.0	1,102

(Sumber : Freyssinet Prestressing System brochure)

2.4.4. Analisis Prategang

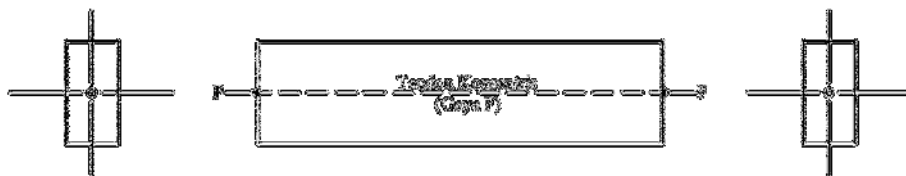
Tegangan yang ditimbulkan oleh prategang pada umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris. Analisa tegangan-tegangan yang timbul pada suatu elemen struktur beton prategang didasarkan atas asumsi-asumsi berikut (Raju, 1993):

- a. Beton prategang merupakan suatu material yang elastis.
- b. Didalam batas-batas tegangan kerja, beton maupun baja berperilaku sebagai bahan yang elastis. Tidak dapat menahan rangkai yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut akibat pembebanan secara terus-menerus.
- c. Walaupun bentang penampang sudah mengalami lenturan maka dianggap tetap datar, yang menyatakan suatu distribusi regangan linier pada keseluruhan tinggi batang.

Tegangan yang disebabkan oleh prategang biasanya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh lenturan yang dihasilkan oleh gaya yang ditempatkan secara eksentris maupun konsentris dan aksi beban langsung (Raju, 1993).

a. Tendon Konsentris

Balok beton prategang dengan satu tendon ditunjukkan dalam Gambar 2.10, Gambar 2.10 menunjukkan bahwa sebuah beton prategang tidak memiliki eksentrisitas, tendon tendon tersebut berada pada titik berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). Prategang seragam pada beton $= F/A$ yang berupa tekan pada seluruh permukaan balok.

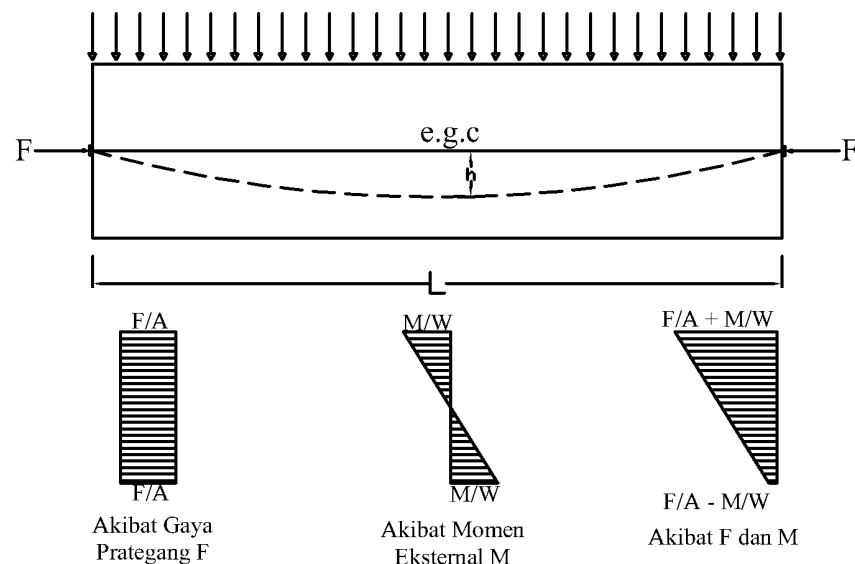


(Sumber : Raju, 1993)

Gambar 2.10 Prategang Konsentris

b. Tendon Eksentris

Sebuah balok yang mengalami suatu gaya prategang sebesar P yang ditempatkan dengan eksentrisitas (e). Tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton. Eksentrisitas tendon dapat menambah kemampuannya dalam memikul beban eksternal. Eksentrisitas berguna dalam menambah kemampuan penampang untuk menerima atau memikul tegangan tarik yang lebih besar lagi pada serat bawah. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang post-tension.



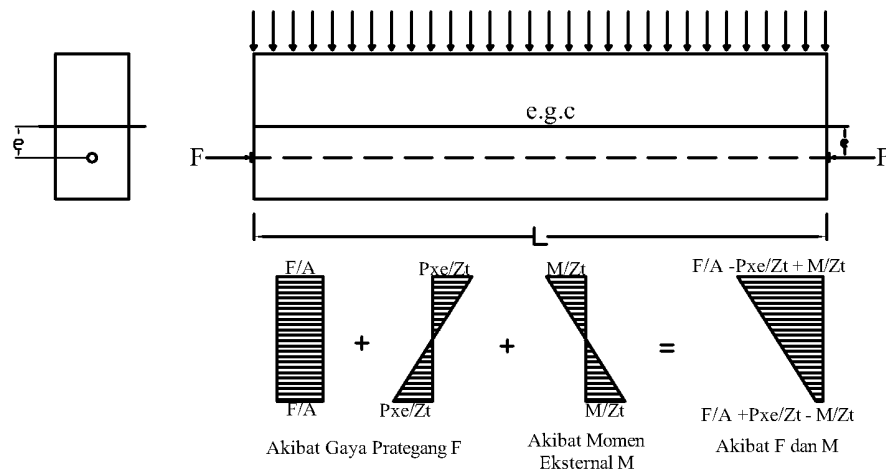
(Sumber : Raju, 1993)

Gambar 2.11 Prategang Eksentris

c. Tegangan Resultan Pada Suatu Penampang

Balok beton yang diperlihatkan pada Gambar 2.12 menggambarkan penampang memikul beban hidup dan mati yang terbagi rata dengan q dan g . Balok diprategangkan pada suatu tendon yang lurus memiliki

eksentrisitas (e) dengan gaya prategang (P). Tegangan resultan pada suatu penampang beton diperoleh dari pengaruh superposisi prategang dan tegangan-tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban luar.



(Sumber : Raju, 1993)

Gambar 2.12 Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris

2.5. Pembebanan

Dalam penelitian ini, beban yang digunakan mengikuti peraturan rencana beban jembatan (SNI-1725, 2016) dan (SNI-t-02, 2005).

2.5.1. Berat Sendiri

Berat sendiri dari bagian bangunan adalah pengalihan antara berat isi benda dikalikan dengan volume benda itu sendiri ditambah dengan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, seperti elemen non struktural yang dianggap tetap. Untuk menentukan besarnya beban dari berat sendiri, maka harus digunakan nilai berat isi untuk bahan-bahan bangunan

tersebut pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.2 Berat Isi Bahan-Bahan Bangunan

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/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	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7	Beton $f'_c < 35$ MPa	22,0 – 25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8	Baja (<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)

2.5.2. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang terjadi pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat dirubah sesuai umur jembatan.

2.5.3. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan seluruh beban hidup, arah vertikal maupun horisontal, baik akibat aksi kendaraan pada jembatan maupun akibat pengaruh dinamis, namun tidak termasuk akibat tumbukan. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur "D" dan beban truk "T".

Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban lajur "D" bekerja selebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh terhadap jembatan secara ekuivalen dengan suatu iring- iringan kendaraan yang sebenarnya.

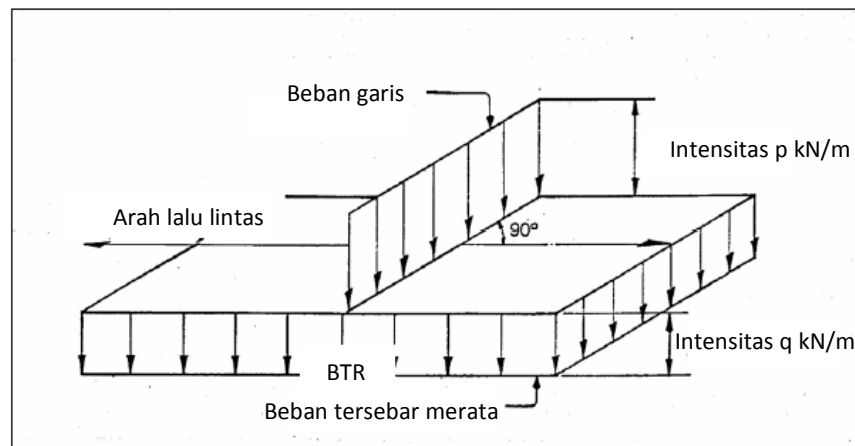
Beban “D” didasarkan pada karakteristik jembatan yang memiliki lajur lalu lintas rencana dimana jumlah maksimum lajur lalu lintas untuk berbagai lebar lalu lintas ditentukan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Jumlah Lajur Lalu Lintas

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10,000$	3
	$10,000 \leq w < 12,500$	4
	$12,500 \leq w < 15,250$	5
	$w \geq 15,250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10,750$	3
	$11,000 \leq w \leq 13,500$	4
	$13,750 \leq w \leq 16,250$	5
	$w \geq 16,500$	6
Catatan (1) : Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang. Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dan median untuk banyak arah.		

(Sumber: SNI-1725-2016)

Intensitas beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Intensitas Beban Lajur “D”.

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti berikut:

a. Bila $L \leq 30$ m; $q = 9$ kPa(2.4)

b. Bila $L > 30$ m; $q = 9 \left[0,5 + \left(\frac{15}{L} \right) \right]$ kPa(2.5)

dengan pengertian:

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

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter).

Panjang yang dibebani oleh L merupakan panjang total BTR yang menutupi pada jembatan. BTR harus dibagi menjadi beberapa panjang tertentu untuk mendapatkan pengaruh maksimum yang terjadi pada jembatan menerus atau bangunan khusus. Beban garis (BGT) dengan intensitas P kN/m harus ditempatkan secara tegak lurus terhadap arah lajur lalu lintas pada jembatan. Besarnya beban tersebut P adalah 49 kN/m. Untuk mendapatkan momen minimum lentur negatif pada jembatan menerus, BGT kedua yang sama harus diposisikan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

Penyebaran beban "D" diposisikan pada arah melintang sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan beban-beban BTR dan BGT dari beban "D" pada arah melintang harus sama. Penempatan beban-beban ini dilakukan dengan ketentuan adalah sebagai berikut :

- a. Apabila lebar jalur kendaraan jembatan kurang dari atau sama dengan 5,5 m, maka beban "D" ditempatkan di seluruh jalur dengan besar beban 100 %.
- b. Beban lajur lalu lintas rencana yang membentuk strip ini bisa ditempatkan dimana saja pada jalur jembatan. Beban "D" tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan beban sebesar 50 %.
- c. Bila lebar jalur lebih dari 5,5 meter, beban "D" harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (nl) yang berdekatan, dengan besar beban 100 %. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar $nl \times 2,75 q$ kN/m dan beban terpusat ekuivalen sebesar $nl \times 2,75 p$ kN, kedua-duanya bekerja berupa *strip* pada jalur selebar $nl \times 2,75$ m.

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan FBD dinyatakan sebagai beban statik ekuivalen. Harga FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah. Faktor beban dinamis berlaku pada BGT pada beban lajur "D" dan beban truk "T" untuk simulasi kejut dari kendaraan yang bergerak pada

struktur jembatan. FBD diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{AV} \times L_{max}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

L_{AV} adalah panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

L_{max} adalah panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambung secara menerus.

Faktor beban dinamis untuk BGT pada beban lajur "D" tergantung pada panjang bentang, sebagai berikut:

$$DLA = 0,4 \qquad L \leq 50 \text{ m} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$DLA = 0,525 - 0,0025 L_E \qquad 50 < L < 90 \text{ m} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$DLA = 0,3 \qquad L \geq 90 \text{ m} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

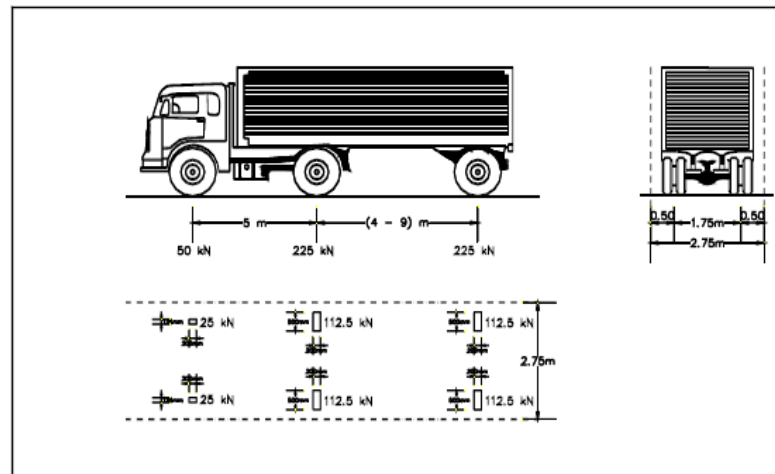
1. Untuk bentang sederhana L_E adalah panjang bentang aktual
2. Untuk bentang menerus L_E dicari menggunakan rumus pada Persamaan 2.3.

2.5.4. Beban Truk

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Ketentuan satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Berat dari masing – masing as disebarkan menjadi 2 beban

merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

Pengaruh gaya-gaya dalam arah memanjang jembatan akibat gaya rem, harus ditinjau. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan pengaruh gaya rem sebesar 5% dari beban “D” tanpa koefisien kejut yang memenuhi semua jalur lalu lintas yang ada dan dalam satu jurusan.



(Sumber: SNI-1725, 2016)

Gambar 2.14. Ketentuan Beban “T” Pada Jembatan Jalan Raya.

Gaya rem tersebut dianggap berkerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,80 meter di atas permukaan lantai kendaraan (Supriyadi et al, 2007).

2.5.5. Beban angin

Apabila suatu kendaraan sedang berada di atas jembatan, beban garis merata tambahan arah horizontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus :

$$T_{EW} = 0,0012 \times C_w \times (V_w)^2 \text{ (kN)} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

V_w = kecepatan angin rencana (m/dt) untuk keadaan batas yang ditinjau;

C_w = kof seret yang besarnya tergantung dari perbandingan dari lebar total jembatan dengan tinggibangunan atas termasuk tinggi bagian sandaran yang masif (b/d)

Tabel 2.4 Kecepatan Angina Rencana

Keadaan batas	Lokasi	
	≤ 5 km dari pantai	≥ 5 km dari pantai
Daya layan	30 km/s	25 km/s
Ultimit	35 km/s	30 km/s

(Sumber: SNI-1725, 2016)

Tabel 2.5 Koefisien Seret C_w

Tipe jembatan	C_w
b/d = 1	2.1
b/d = 1	1.5
b/d = 1	1.25
Bangunan atas rangka	1.2

(Sumber: SNI-1725, 2016)

2.5.6. Beban Gempa

Jembatan sangat penting direncanakan terlebih dahulu tujuannya adalah untuk memperkecil resiko keruntuhan namun kemungkinan lain dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan

akibat dari gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Kinerja yang lebih tinggi meliputi kinerja operasional hal ini dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang (SNI 2833, 2013).

Gaya pada beban gempa diambil secara horizontal yang ditentukan berdasarkan perhitungan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

- E_Q : gaya gempa horizontal statis (kN)
- R : faktor modifikasi respons
- C_{sm} : koefisien respons gempa elastik pada moda getar ke-m
- W_t : berat keseluruhan struktur terdiri dari beban mati maupun beban hidup yang sesuai (kN)

Peta gempa yang terdapat pada ketentuan ini mencakup peta percepatan puncak batuan dasar (PGA) dan respons spektra percepatan 0,2 detik maupun 1 detik di batuan dasar hal ini mewakili dua level hazard (potensi bahaya) gempa 500 dan 1000 dengan kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun dan 7% dalam 75 tahun.

a. Faktor Situs

Untuk penentuan respons spektra pada permukaan tanah, dibutuhkan suatu faktor amplifikasi yang terdapat pada periode nol detik, periode pendek ($T=0,2$ detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi juga terdiri dari faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode nol detik (F_{PGA}), faktor amplifikasi periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1

detik (F_v). Tabel 2.6 dan Tabel 2.7 memberikan nilai-nilai F_{PGA} , F_a , dan F_v untuk berbagai klasifikasi jenis tanah.

Tabel 2.6 Faktor Amplifikasi Untuk Periode 0 Detik Dan 0,2 Detik (F_{PGA}/F_a)

Kelas Situs	$PGA \leq 0.1$ $S_s \leq 0.25$	$PGA = 0.2$ $S_s = 0.5$	$PGA = 0.3$ $S_s = 0.75$	$PGA = 0.4$ $S_s = 1.0$	$PGA \geq 0.5$ $S_s = 1.25$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber : SNI 2833, 2013)

Keterangan :

- PGA yaitu percepatan puncak batuan dasar mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010.
- S_s yaitu parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek ($T=0.2$ detik) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010.
- SS yaitu lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

Tabel 2.7 - Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (F_v)

Kelas Situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber : SNI 2833, 2013)

Keterangan:

- S_1 : Parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 .
- SS : Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik
- R : Faktor Modifikasi Repon (R)

Untuk penggunaan faktor modifikasi respons (R) maka detailing struktur harus sesuai dengan ketentuan pada Tabel 2.8.

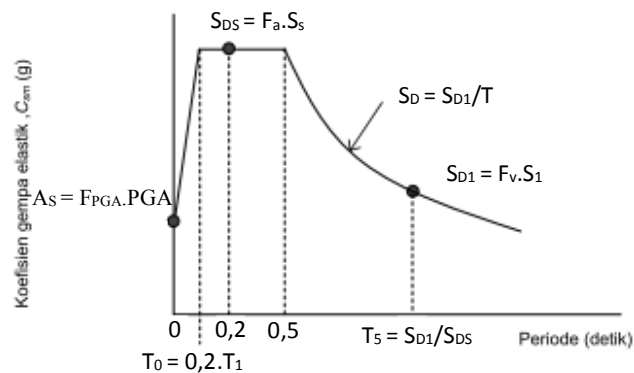
Tabel 2.8 Faktor Modifikasi Respons (R) Untuk Hubungan Antar Elemen Struktur

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

(Sumber : SNI 2833, 2013)

b. Respons spektrum rencana

Respons spektra yaitu penggambaran nilai pada respons maksimum dari sistem berderajat-kebebasan-tunggal yang terdapat diberbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis tersebut, maka respons spektra dibuat kedalam bentuk respons spektra yang telah disederhanakan.



(Sumber : SNI 2833, 2013)

Gambar 2.15. Bentuk Tipikal Respons Spektra Di Permukaan Tanah

Pada Gambar 2.15 koefisien respon gempa elastik dapat ditentukan berdasarkan:

1. Apabila periode lebih kecil dari T_0 , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{sm} = (S_{ds} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \dots\dots\dots 2.13$$

2. Apabila periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respons spektra percepatan, C_{sm} adalah sama dengan S_{DS} .

3. Apabila periode lebih besar dari T_s , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{sm} = \frac{S_{Dt}}{T} \dots\dots\dots 2.14$$

Keterangan:

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \text{nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek} \\ &\quad (T=0.2 \text{ detik}). \\ S_{D1} &= \text{nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik} \\ T_0 &= 0.2 T_s \\ T_s &= \frac{S_{Dt}}{S_{DS}} \end{aligned}$$

c. Periode getar alami (T)

Periode getar T yaitu waktu yang dibutuhkan dari suatu getaran untuk menempuh satu putaran lengkap ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. Periode getar pula dapat disebut dengan lengkapnya yaitu “periode getar alami struktur” (*natural fundamental period*), pada istilah “alami” tersebut digunakan untuk menggambarkan getaran untuk menekankan sejatinya bahwa hal tersebut ialah properti alami dari sebuah struktur yang bergantung pada kekakuan dan massa yang bergetar secara bebas tanpa adanya gaya luar.

Periode getar alami dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$(T) = 2 \times \pi \times \left(\sqrt{\frac{W}{(g \times K)}} \right) \text{ dengan } K = 48 \times E_c \times \frac{I_x}{L^3}$$

Dimana :

W = Berat sendiri struktur yang dihitung (kN)

g = Gaya gravitasi bumi (m/s^2)

K = Kekakuan balok prategang (kN/m)

E_c = modulus elastisitas beton (kN/m^2)

L = Panjang jembatan (m)

I_x = Momen inersia penampang

2.5.7. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang disyaratkan oleh SNI 1725 2016 adalah sesuai Tabel 2.9

Tabel 2.9 Kombinasi beban dan faktor beban menurut SNI 1725 2016

Keadaan batas	MS	MA	PR	TT	TD	TB	TP	Ews	Ewl	EQ
Kuat 1	1.2	2	1.2	1.8	1.8	1.8	1.8	0	0	0
Kuat 2	1.2	2	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	0	0	0
Kuat 3	1.2	2	1.2	0	0	0	0	1.4	0	0
Kuat 4	1.2	2	1.2	0	0	0	0	0	0	0
Kuat 5	1.2	2	1.2	0	0	0	0	1.4	1	0
Eks 1	1.2	2	1.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0
Eks 2	1.2	2	1.2	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	1

Dengan :

MS = Berat Sendiri/ beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan

MA = Beban mati akibat perkerasan dan utilitas

PR	= Gaya prategang
TT	= Beban truk “T”
TD	= Beban lajur “D”
TB	= Gaya akibat rem
TP	= Beban pejalan kaki
EWS	= Beban angin pada struktur
EWL	= Beban angin pada kendaraan
EQ	= Gaya gempa

Penjelasan tentang jenis-jenis kombinasi diuraikan pada penjelasan berikut:

Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, mengalikan faktor beban yang sesuai dengan semua gaya nominal yang terjadi.

Kuat II : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

Kuat III : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Kuat IV : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

Kuat V : Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90

km/jam hingga 126 km/jam.

Ekstrem I : Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

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.

Sedangkan kombinasi pembebanan yang disyaratkan oleh SNI-T-02 2005 adalah sesuai Tabel 2.10

Tabel 2.10 Kombinasi Beban Untuk Perencanaan Tegangan Kerja Menurut SNI T 02 2005

No.	Jenis Beban	Faktor Beban	Komb.1	Komb.2	Komb.3
1	Berat Sendiri	1.30	v	v	v
2	Beban tambahan	2.00	v	v	v
3	Beban lajur	2.00	v	v	v
4	Gaya rem	2.00	v	v	
5	Beban Angin	1.20	v		
6	Pejalan Kaki	2.00	v	v	v
7	Beban Gempa	1.00			v

2.6. Jembatan *Box Girder*

2.6.1. Umum

Beberapa kelebihan penggunaan profil *box girder* :

- a. *Box girder* dapat digunakan untuk jembatan dengan bentang dan panjang yang benar
- b. Bentuk interior dari *box girder* memungkinkannya digunakan untuk penggunaan lain seperti jalur pipa gas, atau pipa air
- c. Bentuk *box girder* cukup memenuhi nilai estetika pada jembatan sehingga penggunaannya mampu menambah keindahan kota

Dari segi ketinggian gelagarnya profil *box girder* dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu

- a. Profil *box girder* dengan ketinggian konstan (*constant depth*)
- b. Profil *box girder* dengan ketinggian bervariasi (*variable depth*)

Sebenarnya tidak ada aturan khusus yang digunakan untuk menentukan bentuk *box girder* yang akan digunakan, Cuma tergantung kebutuhan pada masing-masing kondisi lapangannya, seperti contoh :

- a. Jika memungkinkan, ketinggian tetap lebih baik digunakan pada struktur dengan geometris yang kompleks, dan lebih cocok digunakan pada area kompleks seperti pada daerah perkotaan.
- b. Ketinggian bervariasi biasanya digunakan pada jurang yang dalam dan pada sungai besar.

2.6.2. *Box Girder* dengan Ketinggian Konstan

Untuk struktur dengan bentang utama dengan panjang 65 atau 70 m,

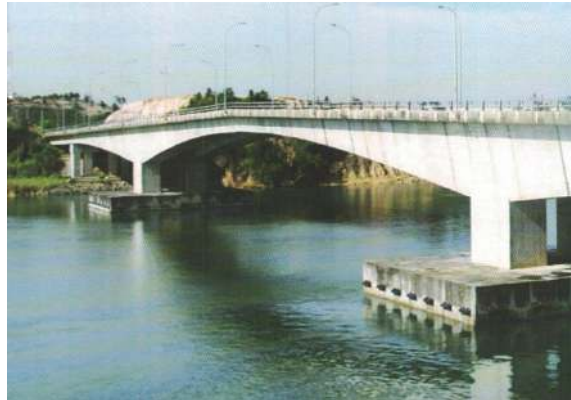
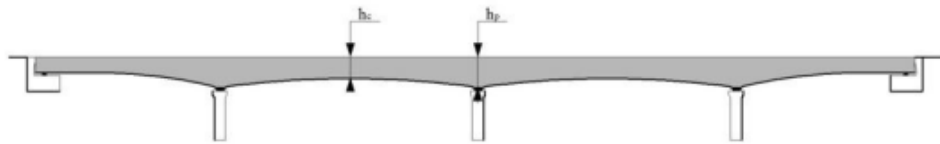
gelagar dengan ketinggian konstan lebih umum digunakan karena lebih ekonomis. Karena adanya penghematan dalam pembuatan bekisting untuk deck. Pada bentuk ini, ketinggian gelagar antara $1/20$ dan $1/25$ dari panjang bentang maksimum. Akan tetapi minimal 2,2 m dibutuhkan untuk memudahkan pergerakan di dalam *box girder* tersebut.



Gambar 2.16 Jembatan *Box Girder* Dengan Ketinggian Konstan

2.6.3. *Box Girder* dengan Ketinggian Bervariasi

Pada bentang utama melebihi 65 atau 70 m akan terjadi beban yang sangat besar pada cantilever, dan akan membutuhkan ukuran *box girder* yang sangat besar pada bagian pier nya, sedangkan ukuran ini sangatlah berlebihan jika digunakan pada bagian lain dari bentang. Karena hal ini akan lebih ekonomis jika digunakan *box girder* dengan ketinggian bervariasi. Standarnya ketinggian *box girder* pada bagian pier (hp) antara $1/16$ dan $1/18$ dari panjang bentang maksimum. Dan pada bagian tengah (hc) biasanya berukuran $1/30$ dan $1/35$ dari panjang bentang maksimum.



Gambar 2.17 Jembatan *Box Girder* Dengan Ketinggian Bervariasi

2.6.4. Keuntungan Penggunaan Jembatan *Box Girder*

Beberapa tahun terakhir jembatan beton sudah banyak digunakan sebagai solusi estetika dan ekonomi. Kekakuan torsial yang sangat besar tertutup bagian plat lantai *box girder* yang memberikan struktur di bawahnya lebih estetik. Secara interior jembatan *box girder* dapat digunakan untuk mengakomodasi layanan seperti pipa gas, air, instalasi listrik, dan lain-lain. Untuk bentang besar, *flens* bawah dapat digunakan sebagai dek lain yang bisa digunakan untuk mengakomodasi lalu lintas juga. Pemeliharaan *box girder* juga lebih mudah. Jembatan *box girder* juga memiliki nilai efisiensi struktural tinggi yang dapat meminimalkan kekuatan prestressing yang diperlukan untuk menahan momen lentur yang diberikan.

2.6.5. Kerugian Penggunaan Jembatan *Box Girder*

Salah satu kelemahan utama dari *box girder* adalah pengerjaan harus di lokasi pengerjaan jembatan tersebut. Untuk pelaksanaan *box girder* harus

direncanakan dengan benar sehingga seluruh penampang memungkinkan dicor, atau bila memungkinkan dicor secara bertahap.

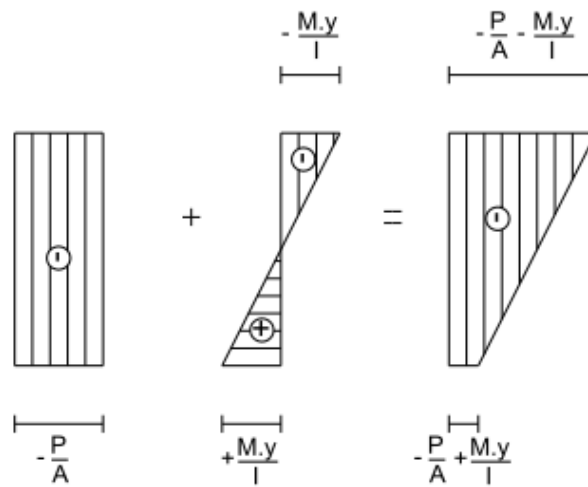
2.7. Perhitungan Jembatan *Box Girder* Prategang

2.7.1. Tegangan Pada Penampang Beton Prategang

Prinsip dasar beton prategang dimaksudkan memaksimalkan sifat beton yang kuat dalam menerima gaya tekan. Pada kasus sederhana untuk balok beton berpenampang persegi dengan perletakan sendi-rol. Tegangan pada penampang beton akibat berat sendiri, untuk serat atas mengalami tekan dan untuk serat bawah mengalami tarik. Kehadiran pemberian prategang pada beton bertujuan untuk menghilangkan serat tarik pada penampang bahkan menjadikannya serat tekan.

Konsep pemberian prategang pada beton merupakan penemuan Freyssinet, dimana pada konsep ini tidak ada tegangan tarik pada beton, beton mengalami dua sistim pembebanan yaitu gaya internal prategang dan beban eksternal.

Gambar distribusi tegangan pada penampang balok dengan diberikannya gaya prategang sebesar P pada pusat penampang (konsentris) dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. Distribusi Tegangan pada Penampang

Misalnya gaya prategang sebesar P dengan eksentrisitas e diberikan pada beton sehingga menimbulkan tegangan sebesar :

$$\sigma = -\frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan :

- σ = Tegangan (MPa)
- P = Gaya prategang (N)
- A = Penampang beton (mm^2)
- e = Jarak titik pusat tendon dengan sumbu netral penampang beton (mm)
- y = Jarak sumbu netral penampang beton dengan serat terluar (mm)
- I = Inersia penampang beton (mm^4)

Dan jika momen yang diakibatkan baik akibat sendiri maupun beban lain sebesar M , maka timbul tegangan pada penampang beton sebesar:

$$\sigma = \pm \frac{M.y}{I} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dengan :

- σ = Tegangan (MPa)
- M = Momen (Nmm)
- I = Inersia penampang beton (mm^4)

Sehingga tegangan maksimum pada serat penampang dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma = -\frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I} \dots\dots\dots (2.14)$$

2.7.2. Tegangan Izin pada Beton Prategang (SNI 7833, 2012)

Tegangan beton segera sesudah penyaluran prategang (sebelum terjadinya kehilangan prategang yang tergantung waktu):

- a. Tegangan serat tekan terluar kecuali seperti yang diijinkan dalam tidak boleh melebihi $0,60 f'_{ci}$
- b. Tegangan serat tekan terluar pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana tidak boleh melebihi $0,70 f'_{ci}$
- c. Jika kekuatan tarik beton yang dihitung, f_t , melebihi $0,5 \sqrt{f'_{ci}}$ pada ujung-ujung komponen tertumpu sederhana, atau $0,25 \sqrt{f'_{ci}}$ pada lokasi lainnya, maka harus dipasang tulangan lekatan tambahan dalam zona tarik untuk menahan gaya tarik total dalam beton, yang dihitung berdasarkan asumsi penampang yang tidak retak.

Bila tegangan tarik terhitung melampaui nilai tersebut di atas, maka harus dipasang tulangan tambahan (non-prategang atau prategang) dalam daerah tarik untuk memikul gaya tarik total dalam beton, yang dihitung berdasarkan asumsi suatu penampang utuh yang belum retak.

Untuk komponen lentur prategang Kelas U dan Kelas T, tegangan beton beban layan (berdasarkan sifat penampang tidak retak, dan sesudah semua kehilangan prategang diijinkan) tidak boleh melebihi nilai berikut:

(a) Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, ditambah beban tetap $0,45 f'_c$

(b) Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, ditambah beban total $0,6 f'_c$

Tegangan tarik pada baja prategang tidak boleh melebihi nilai berikut:

(a) Akibat gaya pengangkuran baja prategang $0,94 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari nilai terkecil dari $0,80 f_{pu}$ dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat baja prategang atau perangkat angkur.

(b) Segera setelah penyaluran gaya prategang $0,82 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$.

(c) Tendon pasca-tarik, pada perangkat angkur dan kopel (*couplers*), segera setelah penyaluran gaya $0,7 f_{pu}$

2.7.3. Tata Letak Tendon Prategang

Tegangan tarik pada serat beton yang terluar dari garis netral akibat beban layan tidak boleh melampaui nilai maksimum yang diizinkan oleh peraturan yang ada seperti pada SNI 7833 (2012). Oleh karena itu perlu ditentukan daerah batas pada penampang beton dimana pada daerah tersebut gaya prategang dapat diterapkan pada penampang tanpa menyebabkan terjadi tegangan tarik pada serat beton.

Tegangan pada serat beton paling atas :

$$f_{ca} = - \frac{P}{Ac} + \frac{P \cdot e \cdot y_a}{I}$$

Dengan :

f_{ca} = tegangan pada serat atas

e = eksentrisitas tendon prategang

A_c = luas penampang beton

I = momen inersia penampang beton

P = gaya prategang

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_c}}, r = \text{Jari-jari inersia}$$

$$I = A_c \cdot r^2$$

$$f_{ca} = -\frac{P}{A_c} + \frac{P \cdot e \cdot y_a}{I} = -\frac{P}{A_c} + \frac{P \cdot e \cdot y_a}{A_c \cdot r^2} = \frac{P}{A_c} \cdot \left(-1 + \frac{e \cdot y_a}{r^2}\right) \dots (2.15)$$

Agar tidak terjadi tegangan tarik pada serat atas maka $f_{ca} = 0$

$$\left(-1 + \frac{e \cdot y_a}{r^2}\right) = 0$$

$$r^2 = e \cdot y_a$$

$$e = \frac{r^2}{y_a} \dots (2.16)$$

Jadi agar tidak terjadi tegangan tarik pada serat atas maka batas bawah tendon prategang sebesar :

$$k_b = \frac{r^2}{y_a}$$

Tegangan pada serat beton paling bawah

$$f_{ca} = -\frac{P}{A_c} - \frac{P \cdot e \cdot y_a}{I} = -\frac{P}{A_c} - \frac{P \cdot e \cdot y_a}{A_c \cdot r^2} = \frac{P}{A_c} \cdot \left(-1 - \frac{e \cdot y_a}{r^2}\right) \dots (2.17)$$

Agar tidak terjadi tegangan tarik pada serat bawah maka $f_{ca} = 0$

$$\left(-1 - \frac{e \cdot y_a}{r^2}\right) = 0$$

$$r^2 = -e \cdot y_a$$

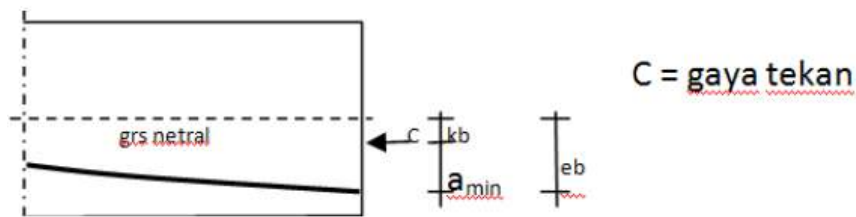
$$-e = \frac{r^2}{y_a} \dots (2.18)$$

Jadi agar tidak terjadi tegangan tarik pada serat bawah maka batas atas tendon prategang sebesar :

$$k_a = \frac{r^2}{y_a}$$

Apabila M_D adalah momen akibat beban mati dan M_T adalah momen akibat beban mati dan beban hidup dan P_o merupakan besar gaya prategang awal dan P_{eff} merupakan besar gaya prategang efektif, maka :

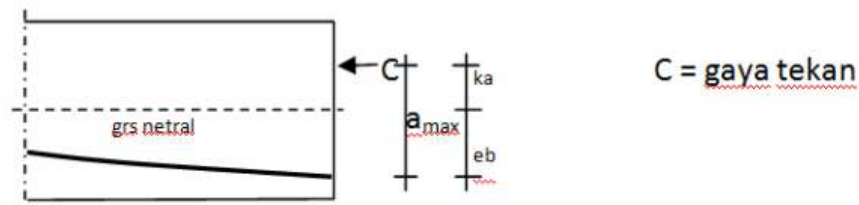
$$a_{min} = \frac{M_D}{P_a}, \text{ Terjadi saat transfer}$$



Gambar. 2.19 Daerah Batas Tendon pada saat Transfer

$$e_b = a_{min} + k_b \dots\dots\dots (2.19)$$

$$a_{max} = \frac{M_T}{P_a}, \text{ terjadi pada saat beban layan (service load)}$$



Gambar 2.20 Daerah Batas Tendon pada saat Beban Layan

$$e_b = a_{max} - k_b \dots\dots\dots (2.20)$$

2.8. Perencanaan *End Block*

Zona angkur ialah salah satu komponen struktur prategang pasca tarik dimana gaya prategang terpusat disalurkan ke penampang beton dan disebarkan secara lebih merata ke seluruh bagian luasan penampang. Zona angkur memiliki panjang daerah yaitu sama dengan dimensi penampang terbesar. Sedangkan, untuk perangkat angkur tengah, zona angkur hanya mencakup daerah yang terganggu di depan maupun di belakang perangkat angkur tersebut. Secara umum, zona angkur dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

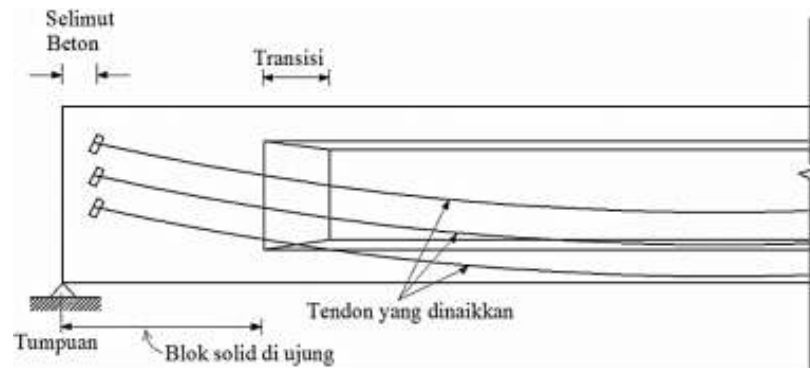
- a. Zona angkur global, yang merupakan daerah pengangkuran sejauh dimensi terbesar penampang, yang juga mencakup zona angkur lokal .
- b. Zona angkur lokal, yang berbentuk prisma persegi yang berada di sekitar angkur dan tulangan-tulangan pengekang.

2.8.1. Distribusi Tegangan

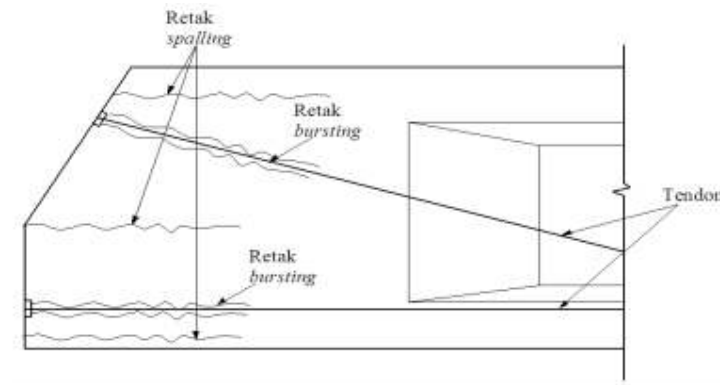
Pemusatan tegangan tekan yang besar dalam arah longitudinal terjadi di penampang tumpuan pada segmen kecil di muka ujung balok, baik pada balok pratarik maupun pada balok pasca tarik, akibat dari gaya prategang yang besar. Pada balok pratarik, transfer beban yang terpusat dari gaya prategang ke beton di sekitarnya secara gradual terjadi di seluruh panjang. It dari penampang tumpuan sampai pada dasarnya menjadi seragam. Pada balok pasca tarik, transfer dan distribusi beban secara gradual tidak mungkin terjadi karena gayanya bekerja secara langsung di muka ujung balok melalui pelat tumpu dan angkur. Juga, sebagian atau seluruh tendon di balok pasca tarik ditinggikan atau dibentuk *drapped* ke arah serat atas melalui bagian badan dari penampang beton.

Adanya transisi secara tidak gradual pada tegangan tekan longitudinal dari yang terpusat ke bentuk yang terdistribusi linier menimbulkan tegangan tarik transversal besar di arah vertikal (transversal). Retak longitudinal juga terjadi pada daerah angkur. Apabila tegangan tersebut melebihi modulus rupture beton, maka zona angkur akan terbelah (retak) secara longitudinal, kecuali apabila penulangan vertikal digunakan. Lokasi tegangan beton dan retaknya serta retak spalling atau bursting bergantung pada lokasi dan distribusi gaya terpusat horisontal yang diberikan oleh tendon prategang ke plat tumpu ujung.

Kadang-kadang luas penampang perlu diperbesar secara gradual di lokasi yang semakin mendekati tumpuan dengan cara membuat lebar badan di tumpuan sama dengan lebar sayap untuk mengakomodasi tendon yang ditinggikan, seperti terlihat pada Gambar 2.21. Namun, peningkatan luas penampang tersebut tidak berkontribusi dalam mencegah retak spalling atau bursting, dan tidak mempunyai pengaruh pada pengurangan tarik transversal di beton. Pada kenyataannya, baik hasil pengujian maupun analisis teoritis dari masalah tegangan tiga dimensi menunjukkan bahwa tegangan tarik dapat membesar.



a



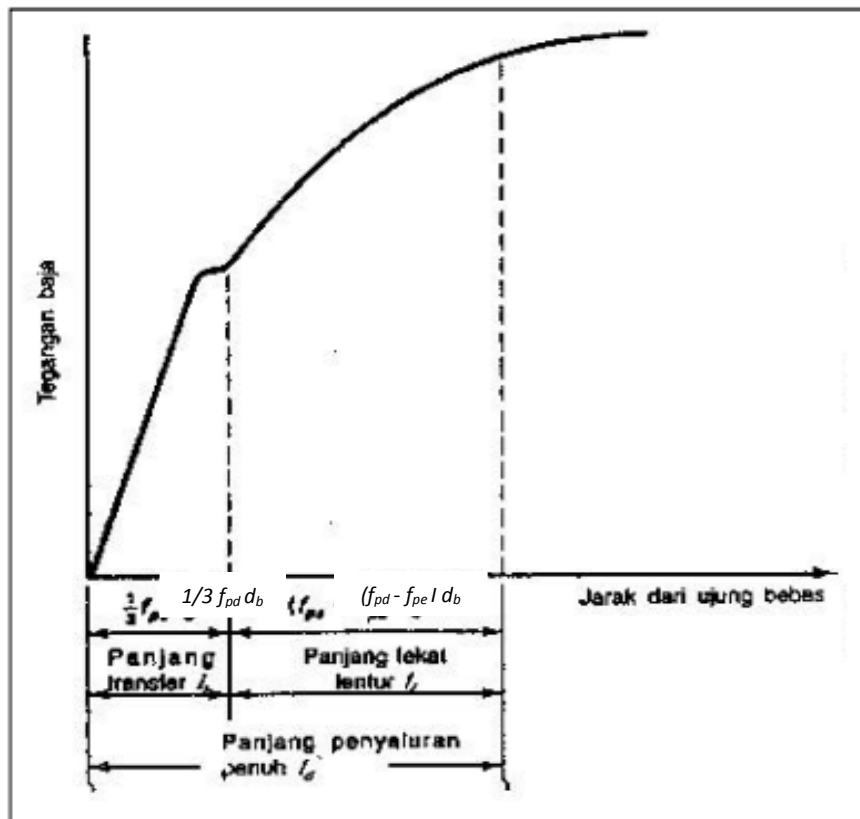
b

Gambar 2.21 Zona Angkur Ujung untuk Tendon Terlekat **a.** Transisi ke Daerah Solid di Tumpuan, **b.** Zona Ujung dan Retak Spalling

Oleh sebab itu, perkuatan dipengangkuran sangat dibutuhkan pada daerah transfer beban yang berbentuk Sengkang, tulangan tertutup, atau alat-alat pengangkuran yang menutupi semua kabel prategang utama dan penulangan longitudinal nonprategang. Didalam balok pasca tarik, perkuatan vertikal dibutuhkan untuk menahat kait di dekat muka ujung di belakang pelat tumpu.

2.8.2. Panjang Transfer dan Penyaluran pada Komponen struktur Pratarik dan Desain Penulangan Angkur.

Pada saat gaya jacking dilepaskan pada komponen struktur pratarik, gaya prategang secara dinamis ditransfer melalui lekatan antarmuka ke beton disekelilingnya. Adhesi antara sekitar tendon prategang dan beton di sepanjang terhitung dari tendon secara gradual mentransfer gaya prategang yang terpusat ke seluruh bagian beton di bidang-bidang yang jauh dari zone angkur dan menuju ke tengah bentang. Panjang penanaman menentukan besarnya prategang yang dapat timbul disepanjang bentang, semakin besar panjang penanaman, akan semakin besar pula prategang yang timbul. Pada Gambar 2.22 dijelaskan diagram hubungan antara tegangan baja dengan panjang penyaluran untuk strand prategang.



Gambar 2.22 Panjang Penyaluran untuk Strand Prategang

Dari Gambar 2.22, jelaslah bahwa panjang penanaman l_d yang menghasilkan pengembangan penuh tegangan yaitu kombinasi dari panjang transfer l_t dan panjang lekatan l_f . Panjang tersebut masing-masing adalah :

$$l_t = \frac{1}{1000} \left(\frac{f_{pe}}{3} \right) d_b \dots\dots\dots(2.21)$$

dimana:

f_{ps} = tegangan pada baja prategang dengan kekuatan nominal

f_{pe} = tegangan prategang efektif sesudah kehilangan gaya prategang

d_b = diameter nominal tendon prategang

Sehingga panjang minimum penyaluran yang diperlukan untuk strands prategang adalah :

$$Min l_d = \frac{1}{1000} \left(f_{ps} - \frac{2}{3} f_{pe} \right) d_b \dots\dots\dots(2.22)$$

Jika bagian dari tendon dilapisi di dekat ujung balok untuk mengurangi tegangan lekatan yang terkonsentrasi di ujung, maka transfer tegangan di daerah tersebut akan hilang dan panjang penyaluran l_d yang lebih besar dibutuhkan.

2.8.3. Daerah Angkur Pasca Tarik

Zona angkur dapat didefinisikan sebagai volume beton dimana gaya prategang yang terpusat pada angkur menyebar ke arah transversal menjadi terdistribusi linier di seluruh tinggi penampang di sepanjang bentang. Panjang daerah ini mengikuti prinsip St. Venant, yaitu bahwa tegangan menjadi seragam di lokasi sejauh kira-kira sama dengan penampang h diukur dari lokasi alat angkur. Keseluruhan prisma yang mempunyai

panjang transfer h adalah zona angkur total.

Zona ini terdiri dari atas dua bagian :

- a. Zona umum : Zona ini identik dengan zona angkur total. Panjangnya sama dengan tinggi penampang h pada kondisi standar.

- b. Zona lokal : Zona ini adalah prisma beton di sekeliling dan tepat di depan alat angkut dan mengekang penulangan didalamnya.

Penulangan pengekang di seluruh zona angkut harus sedemikian direncanakan sehingga mencegah pembelahan dan bursting yang merupakan hasil dari gaya tekan terpusat besar yang disalurkan melalui alat angkut. Selain itu, pengecekan tegangan tumpu di beton pada zona lokal harus dilakukan, yang merupakan akibat dari gaya tekan besar tersebut, untuk menjamin bahwa kapasitas tumpu tekan izin beton tidak pernah dilampaui.

2.8.4. Tegangan Tumpu Izin

Tegangan tumpu izin maksimum di dudukan alat angkut tidak boleh melebihi yang terkecil diantara dua nilai yang diperoleh dari kedua persamaan berikut :

$$fb \leq 0.7 \phi f'_{ci} \sqrt{\frac{A}{A_g}} \dots \dots \dots (2.23)$$

$$fb \leq 2.25 \phi f'_{ci} \dots \dots \dots (2.24)$$

dimana :

- f_b = beban tendon terfaktor maksimum P_u dibagi dengan luas tumpu efektif A_b '
- f'_{ci} = kuat tekan beton pada saat diberi tegangan
- A = luas maksimum pada bagian dari permukaan pendukung yang secara geometris sama dengan luas yang dibebani dan konsentris dengannya
- A_g = luas bruto plat tumpu
- A_b = luas netto efektif plat tumpu yang dihitung sebagai luas A_g dikurangi dengan luas lubang-lubang di plat tumpu

Kedua persamaan di atas hanya berlaku jika penulangan di zona umum digunakan dan jika banyaknya beton di sepanjang sumbu tendon di depan alat angkut sedikitnya 2 kali panjang zona lokal.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Kerangka acuan desain jembatan box girder dapat dilihat pada menu *Bridge-Brigde Wizard* diantaranya membuat data dimensi, material dan layout line jembatan, membuat dan mengidentifikasi pembebanan, menjalankan program dan melihat output program.
2. Dimensi penampang eksisting jembatan Namosain II memiliki tebal pelat sebesar 200 mm yang kemudian di analisis dengan menggunakan peraturan **lama**. Namun tebal pelat sebesar 200 mm tidak memenuhi syarat control dimensi yang disyaratkan oleh (Podolny & Muller, 2982) dan tidak memenuhi syarat terhadap design tulangan lentur (melebihi rasio tulangan maksimum).
3. Hasil pembebanan menggunakan peraturan lama dan baru memiliki perbedaan diantaranya akibat dari perbedaan dimensi dan akibat dari perbedaan peraturan itu sendiri.
4. Besarnya kombinasi pembebanan mengalami perbedaan dikarenakan perbedaan aturan pada peraturan. Peraturan lama kombinasi yang terbesar terjadi pada Kombinasi 3, namun pada peraturan baru kombinasi

yang terbesar terjadi pada Kombinasi Kuat 1 yang memiliki faktor beban yang lebih kecil dari peraturan lama dan menghilangkan pengaruh dari beban gempa.

5. Gaya prategang mengalami kenaikan, sedangkan tegangan yang terjadi pada penampang mengalami penurunan karena perbesaran dimensi.
6. Jarak tulangan geser mengalami pengurangan luas sehingga jarak tulangan semakin lebar, sedangkan jarak dari tulangan bagi mengalami perbesaran luas sehingga jarak tulangan semakin rapat.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam hal penentuan sistem pelaksanaan pemasangan girder jembatan yang efektif sebaiknya tidak hanya dilihat dari segi analisis struktur, tetapi juga dapat dianalisis dari segi pelaksanaan, pemakaian alat, biaya, waktu, dan sebagainya.
2. Perhitungan analisis menggunakan program CSI Bridge karena pada program ini khusus untuk menghitung analisis jembatan.
3. Menghitung kekuatan perbaikan terlebih dahulu sebelum memperbesar dimensi yang telah ada dengan cara menambahkan FRP yang diletakkan pada slab bawah *girder*.

DAFTAR PUSTAKA

- All About Safety. 2013. *Jenis-Jenis Jembatan*, March 26, 2018, 10:42:59 AM. <http://dhanieliezty.blogspot.co.id/2013/10/jenis-jenis-jembatan.html>
- ASTM A 416., *Standard Specification for Steel Strand, Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete*. ASTM
- Badan Standarisasi Nasional. 2016. *SNI 1725-2016 Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta. Standar Nasional Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 2833-2013 Standar Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta. Standar Nasional Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 2847-2013 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta. Standar Nasional Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI 2847-2002 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta. Standar Nasional Indonesia
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. *RSNI T 02-2016 Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta. Standar Nasional Indonesia
- Badan Standardisasi Nasional. 2004. *RSNI T-12-2004, Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Budiadi, Andri. 2008. *Desain Praktis Beton Prategang*. Yogyakarta. Andi,.
- Celik, Ogus. C. 2008. *Effect Of Elastomeric Bearing Modeling Parameters On The Seismic Design Of Rc Highway Bridges With Precast Concrete Girders*, Beijing, The 14th World Conference on Earthquake Engineering.
- Lin, T. Y. & Burns, Ned. H. 2000. *Desain Struktur Beton Prategang*. Jakarta. Binarupa Aksara
- Manu, Agus Iqbal. 1995. *Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. PT Mediatama Saptakarya, DPU.

- Masnul, Cut Retno. 2009. *Analisa Prestress (Post-Tension) Pada Precast Concrete U Girder “Studi Kasus Pada Jembatan Flyover Amplas”*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Sipil. Sumatra Utara, USU
- Nawy, EG., 2001. *Beton Prategang Suatu pendekatan Mendasar Jilid I Edisi III*:Erlangga. Jakarta.
- Podolny and Muller, 1982, *Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges*, John Wiley&Son, Canada
- Raju, N. Krishna. 1993. *Beton Prategang Edisi Kedua*. Penerbit : Erlangga. Jakarta.
- Supriyadi, Bambang dan Setyo Muntohar, 2007. *Jembatan*. Yogyakarta. Beta Offset Kavling Madukismo 28
- Struyk H.J., K.H.C.W. Van Der Veen., 1995, *Jembatan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Universitas Lampung. 2016. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Universitas Lampung*. Unila Offset. Bandar Lampung.