

**EVALUASI PERHITUNGAN BANGUNAN ATAS
JEMBATAN DI PROYEK PEMBANGUNAN
JEMBATAN SEI PARE-PARE KECIL
INDRA PURA JALAN LINTAS
SUMATERA**

SKRIPSI

DISUSUN OLEH:

OGIE TRI NANDA KARO-KARO

16.811.0099



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2019**

**EVALUASI PERHITUNGAN BANGUNAN ATAS
JEMBATAN DI PROYEK PEMBANGUNAN
JEMBATAN SEI PARE-PARE KECIL
INDRA PURA JALAN LINTAS
SUMATERA**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil
Universitas Medan Area

SKRIPSI

Disusun Oleh:

OGIE TRI NANDA KARO-KARO

NPM: 16.811.0099



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**EVALUASI PERHITUNGAN BANGUNAN ATAS
JEMBATAN DI PROYEK PEMBANGUNAN
JEMBATAN SEI PARE-PARE KECIL
INDRA PURA JALAN LINTAS
SUMATERA**

SKRIPSI

Disusun Oleh:


OGIE TRI NANDA KARO-KARO

NPM: 16.811.0099

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Ir. H. EDY HERMANTO, M.T.

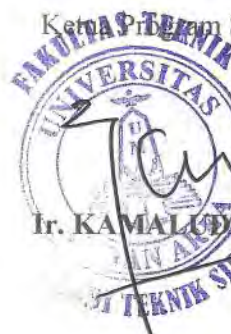

Ir. NURMAIDAH, M.T.

Mengetahui:



Dekan Fakultas Teknik,


Prof. Dr. Ir. ARMANSYAH GINTING, M.Eng



Ketua Program Studi Teknik Sipil,


Ir. KAMALUDDIN LUBIS, M.T.

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sajana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian- bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi- sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan,

2019

Penulis



Ogie Tri Nanda Karo-Karo

NPM 16.811.0099

ABSTRAK

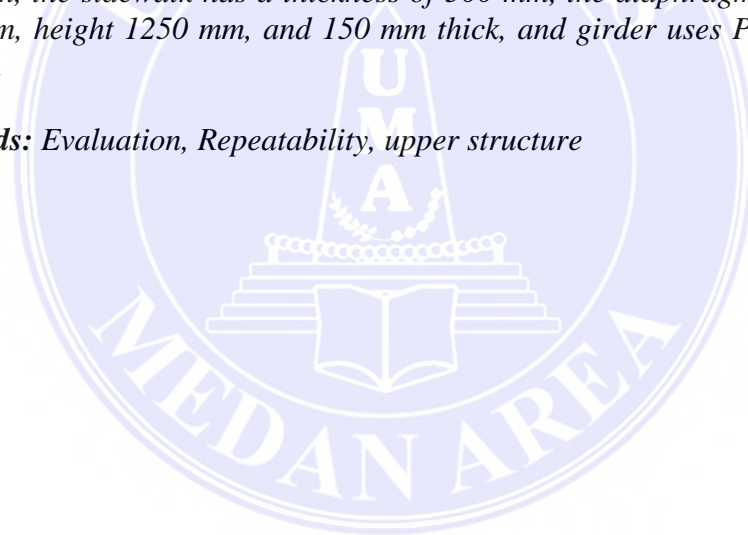
Evaluasi jembatan ini menggunakan konstruksi beton bertulang dan Girder menggunakan tipe I dengan sistem prategang yang mengacu pada SNI 1725:26 (peraturan pembebanan untuk jembatan) dan RSNI T-12-2004 (perencanaan struktur beton untuk jembatan). Tujuannya adalah untuk mengamati, menemukan, dan mengevaluasi perhitungan struktur atas jembatan yang sudah terlaksana di proyek dengan perhitungan Struktur atas jembatan sesuai SK SNI 03-2874-2002, SNI T-12-2004, Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016). Jembatan yang direncanakan memiliki panjang bentang total sepanjang 30,6 meter. Permasalahan yang diambil adalah evaluasi elemen-elemen struktur atas. Evaluasi struktur struktur jembatan tersebut meliputi slab lantai, Trotoar, Tiang sandaran, Plat injak, Balok Girder I Prategang, dan Diafragma. Perencanaannya meliputi tulangan lentur, geser, torsi. Beban yang dianalisis meliputi beban tetap, beban lalu lintas, beban gaya rem, beban untuk pejalan kaki, beban pengaruh temperatur, beban angin, dan beban akibat gempa. Dari hasil evaluasi, dihasilkan berbagai variasi dimensi dan penulangan untuk masing-masing elemen struktur yang dalam analisis telah memenuhi syarat kekuatan dan keamanan struktur. Untuk pelat lantai kendaraan digunakan pelat dengan tebal 270 mm, Tiang railing memiliki tebal 250 mm, tinggi 1300 mm, Trotoar memiliki tebal 500 mm, diafragma memiliki lebar 1160 mm, tinggi 1250 mm, dan tebal 150 mm, dan girder menggunakan PCI girder Post-Tension.

Kata Kunci: Evaluasi, Penulangan, Struktur atas jembatan

ABSTRACT

Evaluation of this bridge uses reinforced concrete and Girder construction using type I with prestressed systems that refer to SNI 1725: 26 (loading regulations for bridges) and RSNI T-12-2004 (planning concrete structures for bridges). The aim is to observe, discover, and evaluate the calculation of the structure of the bridge that has been carried out in the project by calculating the structure of the bridge in accordance with SK SNI 03-2874-2002, SNI T-12-2004, Loading for Bridges (SNI 1725: 2016). The planned bridge has a total span length of 30.6 meters. The problem taken is the evaluation of the upper structural elements. Evaluation of the structure of the bridge includes floor slabs, sidewalks, backposts, stamped plates, prestressed beam I, and diaphragm. The plan includes bending, shear, torque reinforcement. The analyzed load includes fixed load, traffic load, brake force load, pedestrian load, temperature, wind load, and earthquake load. From the evaluation results, a variety of dimensions and reinforcement results for each structural element which in the analysis meets the structural strength and safety requirements. For vehicle floor slabs used 270 mm thick plate, railing pole has a thickness of 250 mm, height of 1300 mm, the sidewalk has a thickness of 500 mm, the diaphragm has a width of 1160 mm, height 1250 mm, and 150 mm thick, and girder uses PCI girder Post-Tension.

Keywords: *Evaluation, Repeatability, upper structure*



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat-Nya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana Jurusan Teknik Sipil Universitas Medan Area.

Penulisan laporan ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa adanya bantuan, dukungan material, spiritual dan informasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc, Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Armansyah Ginting, M.Eng., Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, M.T., Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir. H. Edy Hermanto, M.T., Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.
5. Ibu Ir. Nurmaidah, M.T., Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.
6. Seluruh staf dan pekerja Satker Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Sumatera Utara.
7. Orang tua saya yang memberikan dukungan moral dan semangat dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.
8. Rekan-rekan Mahasiswa Universitas Medan Area, khususnya Program Studi Teknik Sipil yang telah turut membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

9. Seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu namanya.

Penulis sudah menyajikan Skripsi ini dengan baik, namun penulis merasa masih banyak terdapat kekurangan dan kesilapan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritikan untuk membangun Skripsi ini.

Demikian laporan Skripsi ini ditulis, semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca laporan ini, terutama di dunia pendidikan dalam bidang Teknik Sipil.



Medan,

2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
1.3 Perumusan Masalah	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Pengumpulan Data	4
1.6 Manfaat	4
1.7 Kerangka Berfikir	5
BAB II. TINJAUAN KEPUSTAKAAN	
2.1 Pengertian Jembatan	6
2.2 Bagian-Bagian Konstruksi Jembatan	7
2.2.1 Bangunan atas jembatan (upper structure)	7
2.2.2 Struktur bawah jembatan	10
2.3 Jembatan Beton Prategang	11
2.3.1 Definisi beton prategang	11
2.3.2 Material untuk beton prategang	12
2.3.3 Baja prategang	13
2.3.4 Prinsip dasar prategang	17
2.3.5 Konsep prategang	19
	v

2.3.6 Sistem prategang dan pengangkeran	23
2.3.7 Analisis prategang	24
2.3.8 Kehilangan prategang.....	28
2.3.9 Desain penampang beton prategang terhadap lentur	28
2.3.10 Modulus penampang minimum	29
2.4 Pembebanan Pada Jembatan	30
2.4.1 Beban permanen	30
2.4.2 Beban lalu lintas	33
2.4.3 Aksi lingkungan	42
2.5 Perhitungan Bangunan Atas Jembatan.....	46
2.5.1 Analisa perhitungan pelat lantai	46
2.5.2 Analisa Trotoar.....	51
2.5.3 Analisa Tiang Railing.....	52
2.5.4 Analisa pelat injak	54
2.5.5 Analisa girder/Balok prategang.....	55
2.5.6 Analisa gaya geser.....	61
2.5.7 Gaya prategang, eksentrisitas dan jumlah tendon	62
2.5.8 Posisi tendon	63
2.5.9 Kehilangan gaya prategang	64
2.5.10 Analisa Lendutan.....	67
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Lokasi Proyek	69
3.2 Data yang diperlukan	70
3.2.1 Sumber data.....	70
3.3 Proses perhitungan bangunan atas jembatan.....	71
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Mutu Bahan	75
4.2 Data Dimensi Struktur Perancangan Jembatan	75
4.2.1 Struktur atas.....	76
4.3 Analisa Beban Slab Lantai Jembatan.....	78
	vi

4.3.1 Momen pada pelat lantai	81
4.3.2 Pembesian plat lantai.....	85
4.3.3 Kontrol lendutan plat.....	92
4.3.4 Kontrol tegangan geser pons	96
4.4 Perhitungan Slab Trotoar	98
4.5 Perhitungan Tiang Railing	103
4.5.1 Penulangan tiang railing.....	104
4.6 Perhitungan Pelat Injak	108
4.3.1 Pelat injak arah melintang jembatan	108
4.3.2 Pelat injak arah memanjang jembatan.....	113
4.7 Diafragma.....	119
4.8 Perhitungan Balok Prategang	121
4.8.1 Beton girder prategang	122
4.8.2 Beton slab lantai jembatan	123
4.8.3 Baja prategang	123
4.8.4 Baja tulangan.....	124
4.8.5 Penentuan lebar efektif pelat lantai	124
4.8.6 Section properties balok prategang	125
4.8.7 Section properties balok komposit (balok prategang + pelat)	127
4.8.8 Pembebanan balok prategang.....	128
4.8.9 Gaya prategang, eksentrisitas, dan jumlah tendon	140
4.9 Hasil dan Pembahasan.....	144

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	146
5.2 Saran.....	146

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Berat isi untuk beban mati	31
Tabel 2.2	Faktor beban untuk berat sendiri.....	32
Tabel 2.3	Faktor beban untuk beban mati tambahan	32
Tabel 2.4	Faktor beban akibat tekanan tanah.....	33
Tabel 2.5	Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan	33
Tabel 2.6	Jumlah lajur lalu lintas rencana.....	34
Tabel 2.7	Faktor beban untuk beban lajur “D”	35
Tabel 2.8	Faktor beban untuk beban T	37
Tabel 2.9	Faktor kepadatan lajur.....	39
Tabel 2.10	Faktor beban akibat pengaruh prategang	43
Tabel 2.11	Nilai V_o dan Z_o untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu.....	45
Tabel 2.12	Tekanan angin dasar.....	46
Tabel 4.1	Nilai karakteristik bahan	75
Tabel 4.2	Nilai modulus elastic bahan	75
Tabel 4.3	Data-data dimensi jembatan.....	76
Tabel 4.4	Kobinasi beban pada pelat lantai	84
Tabel 4.5	Kombinasi-1 pelat lantai	85
Tabel 4.6	Kombinasi-2 pelat lantai	85
Tabel 4.7	Berat sendiri trotoar	98
Tabel 4.8	Data jembatan	121
Tabel 4.9	<i>Spesific gravity</i>	121

Tabel 4.10	Dimensi balok prestress	122
Tabel 4.11	Rekapitulasi penulangan tiang sandaran	145
Tabel 4.12	Rekapitulasi penulangan slab trotoar	145
Tabel 4.13	Rekapitulasi penulangan slab lantai	145
Tabel 4.14	Rekapitulasi penulangan plat injak	145
Tabel 4.15	Rekapitulasi penulangan Diafragma	145
Tabel 4.16	Rekapitulasi penulangan girder I	145



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kerangka Berfikir.....	5
Gambar 2.1 Bagian-bagian jembatan kayu	7
Gambar 2.2 Asumsi dalam perhitungan balok lantai	7
Gambar 2.3 Penggunaan lapis aus untuk lantai jembatan.....	8
Gambar 2.4 Lantai dengan menggunakan kayu.....	8
Gambar 2.5 Susunan tiang sandaran dan trotoar.....	9
Gambar 2.6 Lantai dengan menggunakan kayu.....	10
Gambar 2.7 Strands prategang 7 kawat standard dan dipadatkan.....	15
Gambar 2.8 Diagram tegangan-regangan untuk baja prategang.....	16
Gambar 2.9 Diagram tegangan-regangan untuk strand baja prategang yang mengalami tekanan dan mempunyai penulangan batang baja lunak.....	17
Gambar 2.10 Prinsip-prinsip prategang linier dan melintang	18
Gambar 2.11 Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang.....	20
Gambar 2.12 Momen tahan internal pada balok beton prategang dan beton bertulang.....	21
Gambar 2.13 Balok prategang dengan tendon parabola	22
Gambar 2.14 Angker hold-down untuk tendon prategang harping.....	23
Gambar 2.15 Skema landasan (bed) pemberian prategang	24
Gambar 2.16 Prategang konsentris	25
Gambar 2.17 Prategang eksentris.....	26
Gambar 2.18 Distribusi tegangan akibat prategang eksentris, beban mati dan beban hidup	27

Gambar 2.19 Beban lajur “D”	35
Gambar 2.20 Alternatif penempatan beban “D” dalam arah memanjang.....	36
Gambar 2.21 Pembebanan truk “T”	37
Gambar 2.22 Penempatan beban truk untuk kondisi momen negatif maksimum.....	40
Gambar 2.23 Penyebaran beban satu roda	47
Gambar 2.24 Gaya angin yang menerima samping kendaraan.....	48
Gambar 2.25 Bidang geser pons pada lantai kendaraan	61
Gambar 3.1 Lokasi penelitian	69
Gambar 4.1 Denah jembatan.....	76
Gambar 4.2 Dimensi struktur atas.....	76
Gambar 4.3 Slab lantai.....	76
Gambar 4.4 Dimensi trotoar.....	77
Gambar 4.5 Dimensi tiang sandaran	77
Gambar 4.6 Dimensi deck slab	77
Gambar 4.7 Dimensi girder.....	77
Gambar 4.8 Dimensi diafragma	78
Gambar 4.9 Potongan melintang jembatan	78
Gambar 4.10 Beban truk “T” plat lantai	79
Gambar 4.11 Beban angin (Pew) pada slab lantai	80
Gambar 4.12 Formasi pembebanan yang terjadi pada slab lantai.....	82
Gambar 4.13 Koefisien momen akibat berbagai beban pada slab lantai	82
Gambar 4.14 Penulangan slab lantai jembatan	97
Gambar 4.15 Berat sendiri slab trotoar	98

Gambar 4.16 Beban pada trotoar	99
Gambar 4.17 Beban hidup pada pedestrian.....	104
Gambar 4.18 Penulangan tiang sandaran/railing	108
Gambar 4.19 Pembebanan pelat injak arah melintang.....	109
Gambar 4.20 Pembebanan pelat injak arah memanjang	114
Gambar 4.21 Potongan girder I	122
Gambar 4.22 <i>Section properties</i> balok prategang	125
Gambar 4.23 Pembesian balok prategang	144



DAFTAR NOTASI

- \emptyset : Kuat nominal; diameter tulangan.
- ϕ : Faktor reduksi kekuatan.
- U : Kuat perlu.
- $\emptyset M_n$: Kuat nominal momen rencana.
- $\emptyset V_n$: Kuat nominal gaya geser rencana.
- $\emptyset P_n$: Kuat nominal gaya torsi rencana.
- f_y : Tegangan leleh rencana baja.
- f'_c : Kuat tekan beton.
- f_s : Tegangan tarik izin tulangan baja.
- A_s : Luas penampang tulangan.
- ϵ_y : Regangan luluh tulangan baja.
- A : Luas bagian penampang.
- μ : Koefisien nilai faktor daktilitas.
- T : Periode / waktu getar bangunan.
- V : Gaya geser dasar horizontal.
- C_1 : Koefisien gempa dasar.
- I : Momen inersia penampang yang menahan beban luar terfaktor yang bekerja.
- W : Berat total bangunan.
- ρ : Perbandingan tulangan ($=A_s/bwxd$)
- D : Diameter tulangan.

ρ_{maks} : rasio tulangan maksimum.

R : Faktor jenis struktur.

P : Gaya prategang



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Denah, Potongan Memanjang, dan Potongan Melintang
- Lampiran 2 Denah, Elevasi, Denah Pondasi Abutment 1 & 2
- Lampiran 3 Penulangan Abutment 1 & 2
- Lampiran 4 Penulangan Lantai Span 30 m
- Lampiran 5 PC-I Girder Segmental H-160 cm, L-30,6 m, CTC-140 cm Detail
Penulangan & Potongan Diafragma (Nomor gambar 21)
- Lampiran 6 PC-I Girder Segmental H-160 cm, L-30,6 m, CTC-140 cm Detail
Penulangan & Potongan Diafragma (Nomor gambar 22)
- Lampiran 7 Detail Angkur Tiang Pancang
- Lampiran 8 Penulangan Railing
- Lampiran 9 Detail Bearing dan Expansion Joint Type Asphaltic Plug
- Lampiran 10 STD. Pot. Melintang, STD. Guide Post, STD. Guard Rail dan
Diagram Super Elevasi
- Lampiran 11 Tembok Penahan dan Parit Saluran
- Lampiran 12 Pipa Saluran Air Jembatan
- Lampiran 13 H-160 cm, L-30,60 m, CTC-140 cm Tampak dan Potongan PC-I
- Lampiran 14 H-160 cm, L-30,60 m, CTC-140 cm Layout dan Trase Tendon
- Lampiran 15 H-160 cm, L-30,60 m, CTC-140 cm Penulangan (1)
- Lampiran 16 H-160 cm, L-30,60 m, CTC-140 cm Penulangan (2)
- Lampiran 17 Technical Calculation PC I Girder For Highway Bridges
- Lampiran 18 Lembar Asistensi Doping

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan yang merupakan sarana penghubung antar daerah setiap tahun mengalami perkembangan seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan tingkat perekonomian di sekitar daerah tersebut.

Pesatnya pertumbuhan dan perkembangan pembangunan, ekonomi dan teknologi beberapa dekade ini, menyebabkan terjadi peningkatan volume dan beban kendaraan berat pada jalan dan jembatan. Sehingga banyak jembatan yang dibangun dengan menggunakan desain standard terdahulu tidak dapat melayani kebutuhan lalu lintas saat ini dan memerlukan pembatasan beban, perkuatan, dan bahkan penggantian total.

Mengingat jembatan berfungsi sebagai penghubung dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan, sehingga jembatan dapat dikatakan bagian dari suatu jalan, baik jalan raya atau jalan kereta api. Berikut beberapa lokasi jembatan:

- a. Jembatan di atas sungai;
- b. Jembatan di atas saluran irigasi/drainase;
- c. Jembatan di atas lembah;
- d. Jembatan di atas jalan yang sudah ada/*viaduct*.

Dengan mengambil bahan penelitian Jembatan Sei Pare-Pare Kecil ini maka akan dilakukan perhitungan kembali menurut Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016) dan juga akan dilakukan Evaluasi perhitungan bangunan atas jembatan yang menggunakan *PCI girder Post-Tension* yang saat ini sedang sangat

trand di gunakan pada pembuatan jembatan dunia dengan kondisi beton prategang yang mengalami berbagai tahapan pembebanan, pembahasan perencanaan dilakukan dengan metode perencanaan struktur beton, yaitu metode beban kerja (working stress method) dan metode beban batas (ultimate limit states method) dengan mengacu kepada SK SNI 03-2874-2002, Jembatan (SNI T-12-2004), Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016), *Bridge Management System* (BMS), AASHTO 1992 dan ACI.

Karena adanya perhitungan PCI *girder Post-Tension* Dalam penelitian ini maka saya tertarik dalam mengambil judul penelitian ini dimana perhitungan PCI girder menggunakan sistem precast sudah tidak asing lagi kita dengar sehingga membuat saya tertantang untuk melakukan evaluasi perhitungannya kembali agar mendapatkan hasil yang praktis dan ekonomis sesuai dengan peraturan jembatan yang berlaku.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud penelitian ini adalah mengevaluasi perhitungan Struktur atas jembatan berdasarkan SK SNI 03-2874-2002, SNI T-12-2004, Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016) dan RSNI T- 02-2005.

Sedangkan tujuannya adalah untuk mengamati, menemukan, dan mengevaluasi perhitungan struktur atas jembatan yang sudah terlaksana di proyek dengan perhitungan struktur atas jembatan sesuai SK SNI 03-2874-2002, SNI T-12-2004, Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016) dan RSNI T- 02-2005.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka diperoleh rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah bagaimana mengevaluasi struktur atas jembatan Sei Pare-Pare dengan sistem *Prategang* sesuai SK SNI 03-2874-2002, Jembatan (SNI T-12-2004), Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725:2016), *Bridge Management System* (BMS), AASHTO 1992 dan ACI.

1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dari perencanaan jembatan *Prategang* ini diantaranya adalah:

- a. Tinjauan hanya mencakup struktur atas (*Upper structure*).
- b. Tidak mendesain ukuran dan jumlah pondasi serta kontrol terhadap bangunan bawah.
- c. Perencanaan jembatan ini tidak termasuk kemungkinan pembangunan dinding penahan tanah akibat kondisi topografis lapangan.
- d. Jembatan yang direncanakan adalah jembatan dengan sistem *prategang* dengan bentang 30.6 meter dan lebar 10 meter.
- e. Tidak menganalisa harga satuan dan merencanakan anggaran biaya (RAB) pembangunan.
- f. Tidak meninjau metode pelaksanaan proyek secara keseluruhan (realisasi jembatan).

1.5 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang penulis lakukan ialah:

a. Data Primer

Data primer yaitu data yang diperoleh dari hasil peninjauan dilapangan dengan pengukuran secara langsung. Selanjutnya penulis melakukan studi kepustakaan sebagai bahan referensi pembahasan data.

b. Data Sekunder

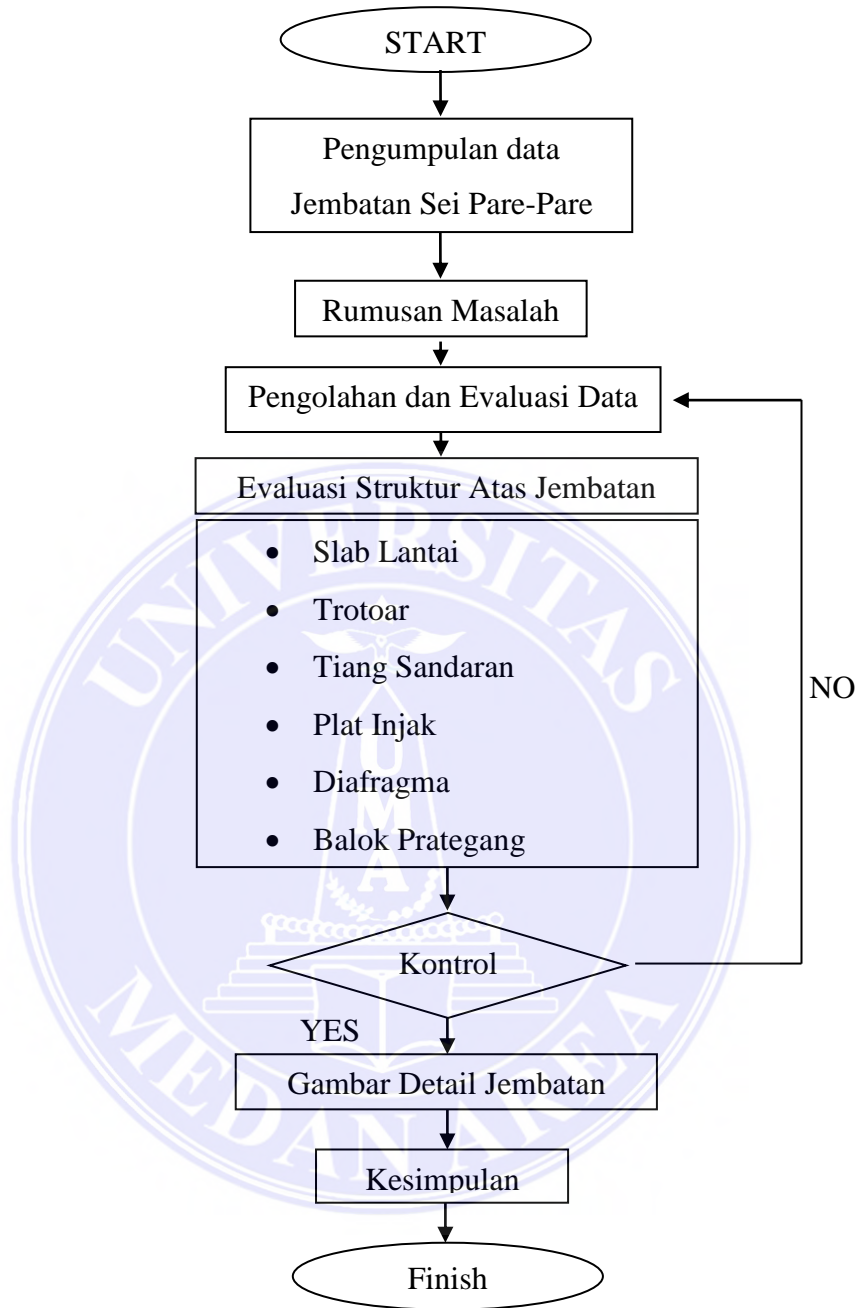
Data sekunder yang penulis terima dari Satuan Kerja Wilayah Sumut yaitu: Data gambar rencana (Profil Melintang, Profil Memanjang, Dimensi Gelagar, Dimensi Diafragma, dst).

1.6 Manfaat

Dari perencanaan jembatan dengan sistem *Prategang* ini, dapat diambil manfaat sebagai berikut:

- a. Untuk menambah wawasan tentang sistem atau tipe jembatan, dalam hal ini jembatan dengan sistem *prategang*.
- b. Untuk memberikan alternatif desain jembatan bentang panjang untuk pembangunan jembatan lanjutan apabila jembatan yang ada telah sampai pada kelebihan kapasitas.

1.7 Kerangka Berfikir



Gambar 1.1 Kerangka Berfikir

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Pengertian Jembatan

Jembatan mempunyai arti penting bagi setiap orang. Akan tetapi tingkat kepentingannya tidak sama bagi tiap orang, sehingga akan menjadi suatu bahan berbeda oleh tiap orang, sebab penglihatan/pandangan masing-masing orang yang melihat berbeda pula. Seseorang yang melintasi jembatan tiap hari pada saat pergi bekerja, hanya dapat melintasi sungai bila ada jembatan, dan ia menyatakan bahwa jembatan adalah sebuah jalan yang diberi sandaran pada tepinya. Tentu bagi seorang pemimpin pemerintah dan dunia bisnis akan memandang hal yang berbeda pula.

Dari keterangan di atas, dapat dilihat bahwa jembatan merupakan suatu sistem transportasi untuk tiga hal, yaitu:

- a. Merupakan pengontrol kapasitas dari sistem,
- b. Mempunyai biaya tertinggi per mil dari sistem,
- c. Jika jembatan runtuh, sistem akan lumpuh.

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

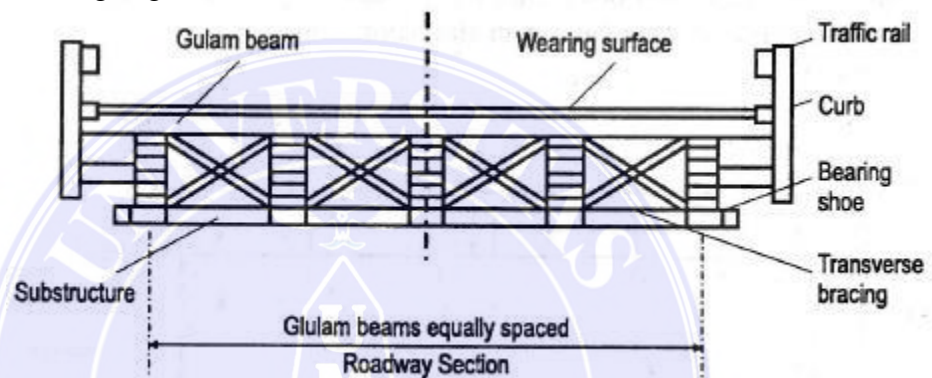
Sumber: buku "Jembatan" Cetakan ke-5 oleh Supriyadi dan Muntohar (2007)

2.2 Bagian-Bagian Konstruksi Jembatan

2.2.1 Bangunan Atas Jembatan (*upper structure*)

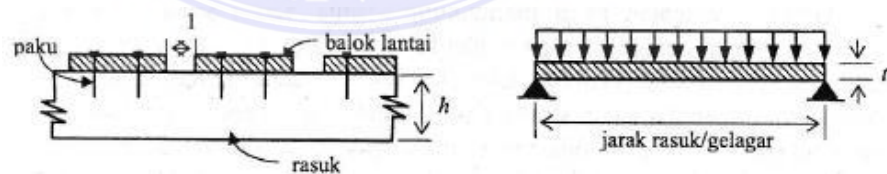
a. Balok Lantai Jembatan

Lantai jembatan berfungsi sebagai lantai untuk lalu lintas, merupakan balok yang disusun sedemikian sehingga mampu mendukung beban. Biasanya dipasang dalam arah melintang jembatan, di atas gelagar (rasuk).



Gambar 2.1 Bagian-bagian jembatan kayu
Sumber: *Jembatan, supriyadi/ dkk 2007*

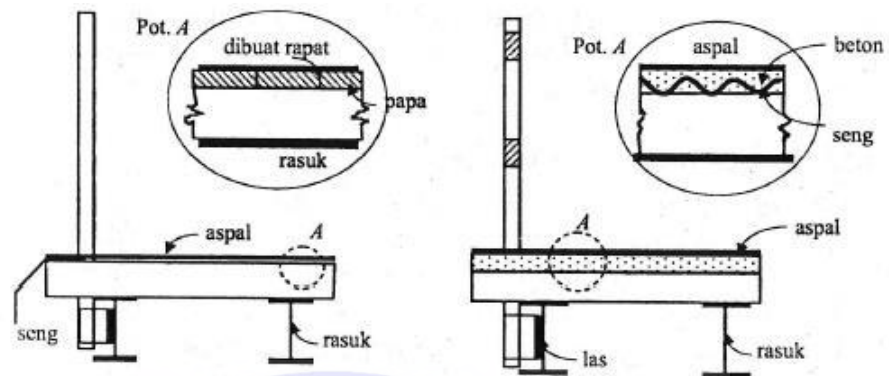
Dalam perhitungan mekanika (perancangan) dibuat penyederhanaan (asumsi) modal, dimana balok lantai didukung oleh tumpuan sederhana, seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2.2 Asumsi dalam perhitungan balok lantai
Sumber: *Jembatan, supriyadi/ dkk 2007*

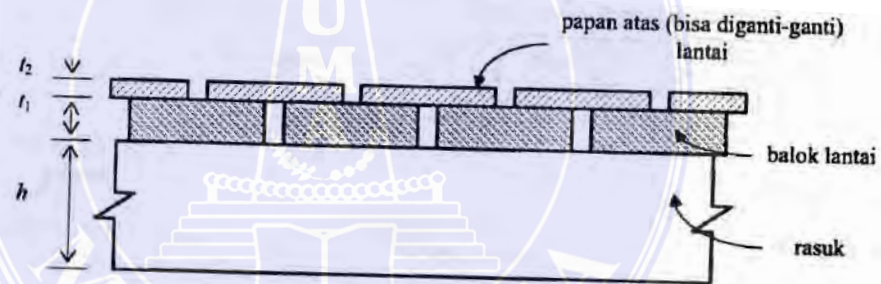
Agar balok lantai jembatan lebih baik, dapat diberi lapis aus permukaan berupa aspal atau beton. Bila diberi aspal, maka balok

lantai jembatan harus disusun rapat tanpa spasi, sedangkan bila menggunakan beton dapat di lihat gambar berikut ini.



Gambar 2.3 Penggunaan lapis aus untuk lantai jembatan
 Sumber: *Jembatan, supriyadi/ dkk 2007*

Bila bahan aspal dan beton sulit didapat atau tidak tersedia, dapat menggunakan papan (kayu) yang disusun di atas balok lantai.



Gambar 2.4 Lantai dengan menggunakan kayu
 Sumber: *Jembatan, supriyadi/ dkk 2007*

b. Gelagar (Rasuk)

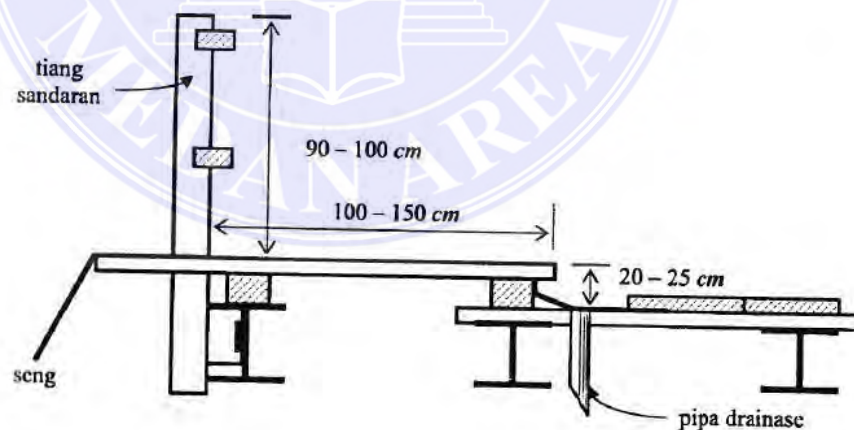
Gelagar jembatan akan mendukung semua beban yang bekerja pada jembatan. Seperti telah dikemukakan, bahwa untuk control lendutan ijin jembatan tidak boleh dilampaui. Untuk mengurangi/ memperkecil lendutan dapat menambah balok melintang sebagai perkuatan sekaligus untuk meratakan beban.

Untuk bentang jembatan lebih dari 8 meter, guna memperkuat konstruksi jembatan perlu diberi pertambahan angin. Fungsinya adalah untuk menahan gaya akibat tekanan angin. Letak pertambahan angin biasanya di bagian bawah gelagar, yang dibuat bersilangan.

c. Tiang Sandaran dan Trotoar

Tiang sandaran merupakan kelengkapan jembatan yang berfungsi untuk keselamatan sekaligus untuk membuat struktur lebih kaku. Sedangkan trotoar bias dibuat dan bias juga tidak, tergantung perencanaan. Secara umum, lebar trotoar minimum adalah untuk simpangan 2 orang ($\pm 100 - 150$ cm)

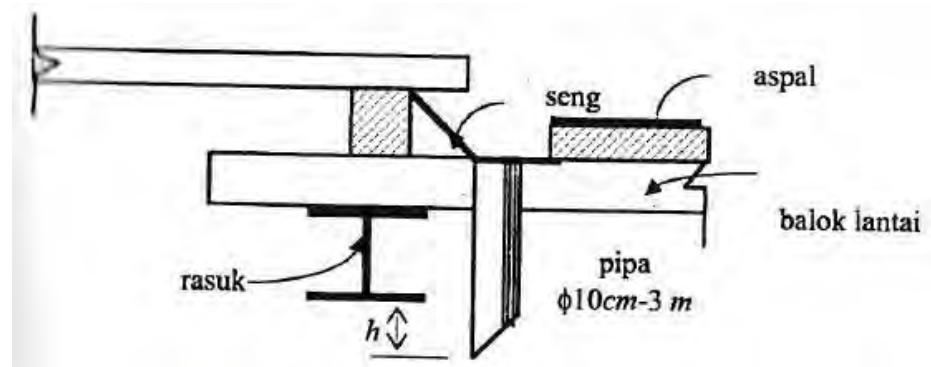
Tiang sandaran umumnya direncanakan/dibuat dengan tinggi $\pm 90 - 100$ cm dari muka trotoar, dan trotoar dibuat lebih tinggi 20 - 25 cm dari lantai jembatan.



Gambar 2.5 Susunan tiang sandaran dan trotoar
Sumber: Jembatan, supriyadi/ dkk 2007

Satu hal yang perlu mendapat perhatian adalah saluran/pipa drainase pada jembatan, guna mendrain genangan yang ada pada

jembatan terutama bila lantai diberi lapis aus. Pemasangan pipa drainase dapat dilakukan sebagai berikut.



Gambar 2.6 Lantai dengan menggunakan kayu
Sumber: *Jembatan, supriyadi/ dkk 2007*

2.2.2 Struktur Bawah Jembatan

Bangunan bawah jembatan merupakan bangunan yang berfungsi sebagai penerima / memikul beban beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian disalurkan ke pondasi.

Berikut ini adalah komponen-komponen bangunan bawah jembatan :

a. Abutment

Abutment atau kepala jembatan adalah bagaian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas abutmen juga berfungsi sebagai penahan tanah.

b. Pilar

Pilar atau pier merupakan struktur pendukung bangunan atas.pilar biasa digunakan pada jembatan bentang panjang, posisi pilar berada diantara kedua abutment.

c. Pondasi

Pondasi berfungsi menerima beban-beban dari bangunan bawah dan menyalurkan ke tanah, secara umum pondasi dapat dibedakan sebagai berikut :

Pondasi Langsung: Digunakan bila lapisan tanah pondasi yang telah diperhitungkan mampu memikul beban-beban di atasnya, terletak pada lokasi yang dangkal dari tanah setempat.

Pondasi Dalam: Digunakan apabila lapisan tanah keras yang mampu memikul beban letaknya cukup dalam, sehingga beban-beban harus disalurkan melalui suatu konstruksi penerus yang juga disebut tiang pancang dan pondasi sumuran.

sumber: <http://www.sarjanasipil.my.id/2017/04/bangunan-ata-dan-bawah-pada-jembatan>

2.3 Jembatan Beton Prategang

2.3.1 Definisi Beton Prategang

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. (ACI)

Dalam definisi lain, Beton Prategang adalah beton bertulang yang diberi tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja. (SNI T-12-2004).

Beton prategang merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam akibat beban kerja. (SNI 03-2847-2002).

Beton prategang juga dapat didefinisikan sebagai Jenis beton dimana tulangan bajanya ditarik/ditegangkan terhadap betonnya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tahanan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Karena beton cukup kuat dan daktail terhadap tekanan dan sebaliknya lemah serta rapuh terhadap tarikan maka kemampuan menahan beban luar dapat di tingkatkan dengan pemberian pratekanan (*Collins & Mitchell, 1991*).

2.3.2 Material Untuk Beton Prategang

Beton berkekuatan tinggi menurut Krishna Raju dalam buku beton prategang menyebutkan bahwa:

- a. Beton prategang memerlukan beton yang mempunyai kekuatan tekan yang lebih tinggi pada usia yang cukup muda, dengan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibanding dengan beton biasa.
- b. Menghasilkan beton berkekuatan tinggi, yang mempunyai kekuatan tekan kubus yang diinginkan setelah 28 hari antara 70-100 N/mm² tanpa mengambil bantuan material/ proses luar biasa serta tanpa mengalami suatu kesulitan teknis yang berarti.
- c. Agregat batu pecah, dengan permukaan yang tajam, pada umumnya menghasilkan beton lebih kuat dibandingkan dengan memakai agregat pada umur beton yang sama.

Beton yang digunakan untuk beton prategang adalah yang mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi dengan nilai f'_c antara 30-40

MPa. Kuat tekan yang tinggi diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengankuran tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkakan lebih kecil. Kuat tarik beton mempunyai harga yang jauh lebih rendah dari kuat tekannya. Untuk tujuan desain, SNI 2002 menetapkan kuat tarik beton sebesar $\sigma_{ts} = 0,5 \sqrt{f'c}$, sedangkan ACI 318 sebesar $\sigma_{ts} = 0,6 \sqrt{f'c}$.

(Andri Budiadi, 2008)

Modulus elastisitas beton E dalam RSNI T-12-2004 ditetapkan:

$$E_c = (w_c)^{1.5} \times 0.043 \sqrt{f'c}$$

Dimana:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa),

w_c = Berat jenis beton (kg/m^3),

F_c = Kuat tekan beton (MPa)

Sedangkan untuk beton normal diambil: $E_c = 4700 \times \sqrt{f'c}$,

2.3.3 Baja Prategang

a. Jenis-Jenis Baja Prategang

Karena tingginya kehilangan rangkakan dan susut beton, maka prategang efektif dapat di capai dengan menggunakanbaja dengan mutu sangat tinggi hingga 270.000 psi atau lebih (1862 MPa atau lebih lagi). Baja bermutu tinggi seperti itu dapat mengimbangi kehilangan di beton sekitarnya dan mempunyai taraf tegangan sisa yang dapat menahan gaya prategang yang dibutuhkan.

(Edward. G. Nawy, 2001:53)

Baja prategang dapat berbentuk kawat-kawat tunggal, stands yang terdiri atas beberapa kawat yang di punter membentuk elemen tunggal dan batang-batang bermutu tinggi. Tiga jenis yang umum digunakan di Amerika Serikat adalah:

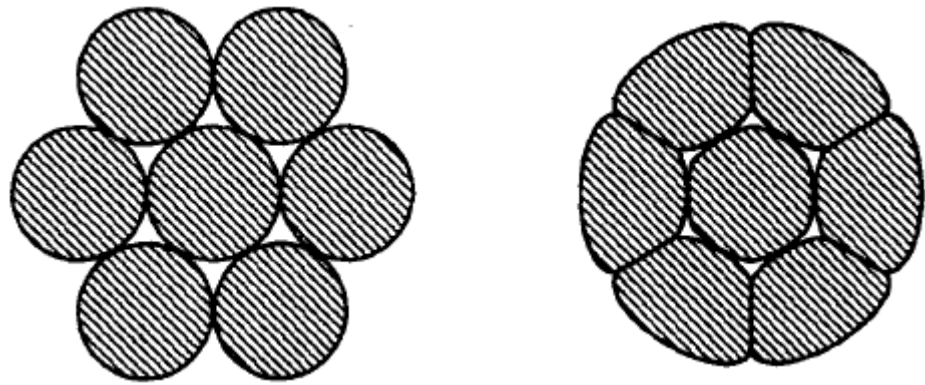
- (a) Kawat-kawat relaksasi rendah atau *Stress-relieved* tak berlapisan.
- (b) Stands relaksasi rendah atau *stress-relieved* strands tak berlapisan.
- (c) Batang-batang baja mutu tinggi tak berlapisan.

(Edward. G. Nawy, 2001)

b. Baja Prategang Berkekuatan Tarik Tinggi

Batang baja paduan berkekuatan tarik tinggi yang digunakan untuk pemberian prategang dapat berulir atau polos, dan tersedia dalam ukuran diameter nominal dari $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) sampai 1,375 in. (35 mm). Batang-batang tersebut harus memenuhi standar ASTM A 722. Selain ditarik dalam kondisi dingin dengan maksud meningkatkan kuat leleh, batang prategang juga dilepaskan tegangannya (*stress relieved*) untuk meningkatkan daktilitasnya.

Edward. G. Nawy, 2001



(a)

(b)

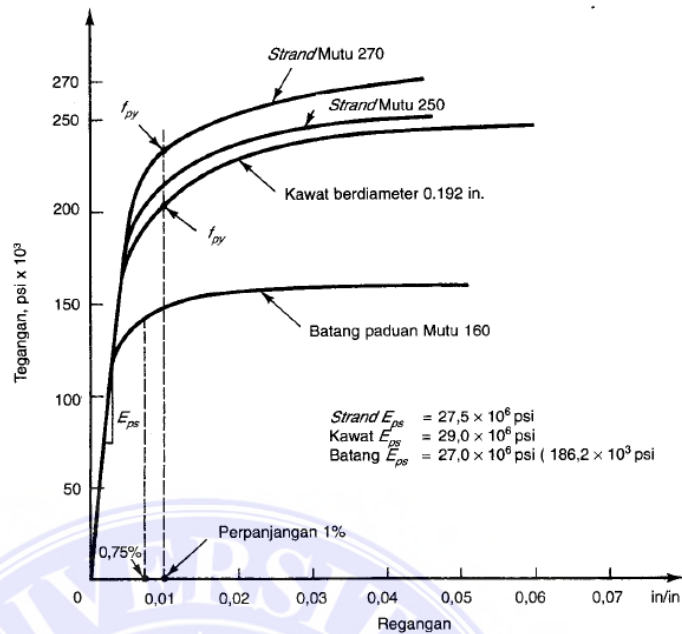
Gambar 2.7 *Strands* prategang 7 kawat standar dan dipadatkan.

(a) Penampang *strand* standar.(b) Penampang *Strand* yang dipadatkan.

Sumber: *Beton Prategang, Edward G. Nawi*

c. Relaksasi Baja

Relaksasi baja dalam baja prategang adalah kehilangan prategang apabila kawat-kawat atau *strand* mengalami regangan yang pada dasarnya konstan. Ini identik dengan rangkai pada beton, dengan perbedaan bahwa rangkai adalah perubahan regangan, sedangkan relaksasi baja adalah kehilangan tegangan pada baja. Sesudah pemberian prategang, kehilangan tegangan akibat relaksasi pada kawat dan *strands* yang tegangannya dilepaskan dapat dihitung dengan menggunakan rumus.



Gambar 2.8 Diagram tegangan-regangan untuk baja prategang.
 Sumber: Beton Prategang, Edward G. Nawi

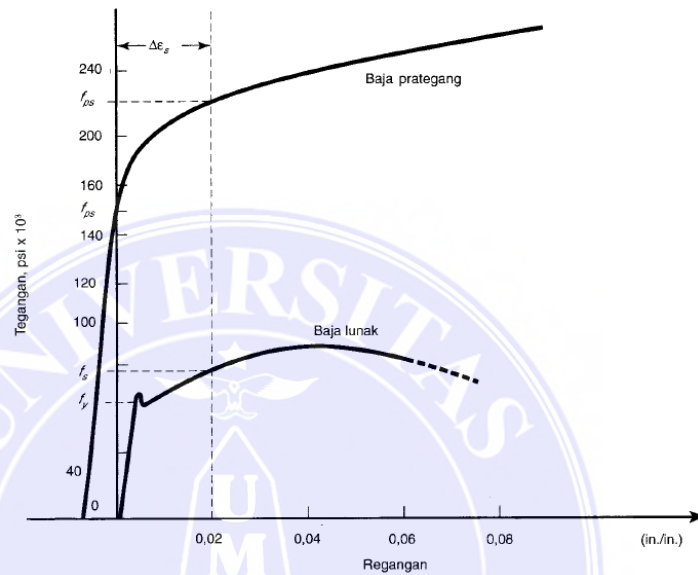
d. Baja prategang

Baja yang dipakai untuk beton prategang dalam praktik ada empat macam, yaitu

- (a) Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton pra-tegang dengan sistem pra-tarik (*pre-tension*).
- (b) Kawat untaian (*strand*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton pra-tegang dengan sistem pasca-tarik (*post-tension*).
- (c) Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton pra-tegang dengan sistem pra-tarik (*pre-tension*).

(d) Tulangan biasa, sering digunakan untuk tulangan non-prategang (tidak ditarik), seperti tulangan memanjang, sengkang, tulangan untuk pengangkuran dan lain-lain.

(Andri Budiadi, 2008 : 13).



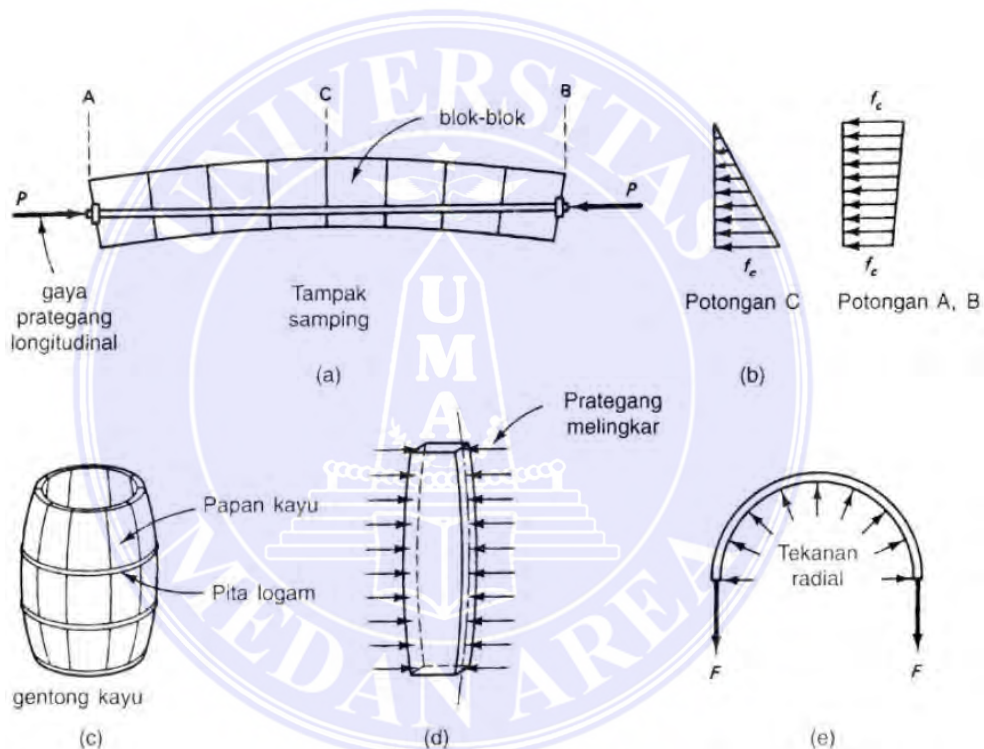
Gambar 2.9 Diagram tegangan-regangan untuk strand baja prategang yang mengalami tekanan dan mempunyai penulangan batang baja lunak.
Sumber: buku "Beton prategang" Edisi ketiga jilid 1 oleh Edward G.Nawy / Bambang suryoatmini hal.57

2.3.4 Prinsip Dasar Prategang

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tarik bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya, karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan pada arah longitudinal elemen struktur. Gaya ini mencegah perkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi

tegangan tarik dibagian tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang tersebut.

Gaya longitudinal yang diterapkan seperti diatas disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang disepanjang bentang disuatu elemen struktur sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horizontal transien.



Gambar 2.10 Prinsip-prinsip Prategang Linier dan Melingkar.
 Sumber: *Beton Prategang*, Edward G. Nawi

Gambar 2.10 mengilustrasikan, dengan cara mendasar, aksi pemberian prategang pada kedua jenis sistem struktural dan respons tegangan yang dihasilkan. Pada bagian (a), blok-blok beton bekerja bersama sebagai sebuah balok akibat pemberian gaya prategang tekan P yang besar.

Meskipun mungkin blok-blok tersebut tergelincir dan dalam arah vertikal menstimulasikan kegagalan gelincir geser, pada kenyataannya kayu di dalam bagian (c) kelihatannya dapat terpisah satu sama lain sebagai akibat dari adanya tekanan radial internal yang bekerja padanya. Akan tetapi, sekali lagi, karena adanya prategang tekan yang diberikan oleh pita logam sebagai bentuk dari pemberian prategang melingkar, papan-papan tersebut tetap menyatu.

Edward. G. Nawy, 2001 : 1

2.3.5 Konsep Prategang

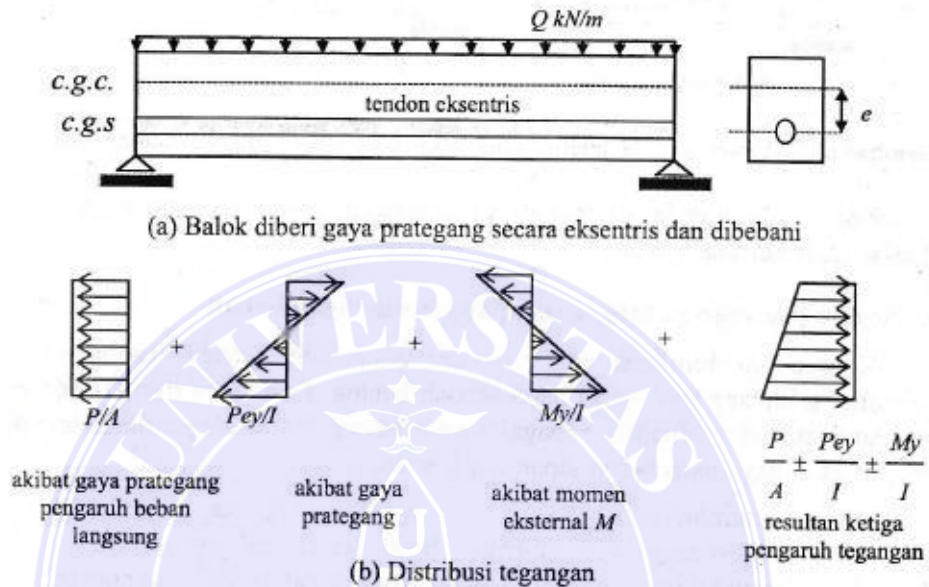
Menurut T.Y. Lin dan Burns (1982), ada tiga konsep yang berbeda yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang.

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis.

Konsep ini memerlukan beton sebagai bahan yang elastik dan merupakan pendapat yang umum dari para insinyur. Ini merupakan buah pemikiran Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastik dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan sedemikian rupa sehingga bahan yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep ini lahir kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton. Atas dasar pandangan ini, beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan

yaitu: gaya internal prategang dan beban eksternal, dengan tahanan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang.

Distribusikan tegangan menurut konsep ini dapat di lihat pada gambar



Gambar 2.11 Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang eksentris
sumber: jembatan, supriyadi/dkk, 2007

Dari gambar 2.11 dapat dihitung distribusi tegangan yang dihasilkan yaitu:

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M \cdot y}{I} \pm \frac{P \cdot e \cdot y}{I}$$

dengan:

P = gaya prategang

A = luas penampang

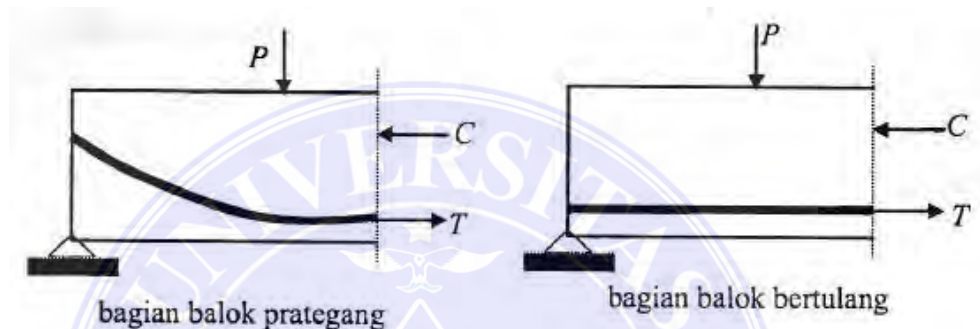
e = jarak pusat tendon terhadap c.g.c

y = jarak dari sumbu yang melalui titik berat

I = Momen inersia penampang

2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan desakan. Dengan demikian kedua bahan membentuk tahanan untuk menahan momen eksternal, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Momen tahanan internal pada balok beton prategang dan beton bertulang.
Sumber: jembatan, supriyadi/dkk, 2007

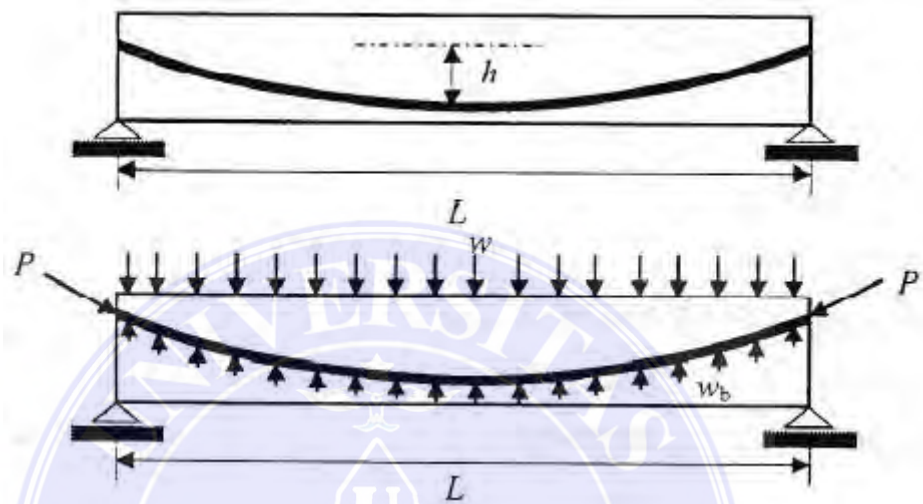
Konsep ini mendasari metode perancangan kuat baras dan juga dapat dipakai pada keadaan elastis.

3. Sistem prategang untuk mencapai perimbangan beban.

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya pada beton sepanjang bentang.

Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat, balok, dan gelagar tidak akan

mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik di dalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit.



Gambar 2.13 Balok prategang dengan tendon parabola jembatan, supriyadi/dkk, 2007

Dari Gambar 2.13 beban yang bekerja yang terdistribusi secara merata kearah atas dinyatakan dalam:

$$w_b = \frac{8 F h}{L^2}$$

Dengan,

F : gaya prategang

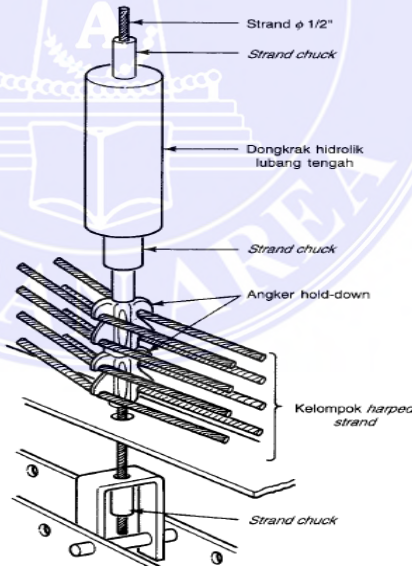
h : tinggi parabola

L : Panjang bentang

2.3.6 Sistem Prategang dan Pengangkeran

a. Pemberian Pratarik

Baja prategang diberi pratarik terhadap pengangkeran independen sebelum pengecoran beton di sekitarnya. Penjangkaran seperti ini ditumpu oleh bulk heads yang stabil dan besar untuk memikul gaya terpusat yang sangat besar yang diberikan pada masing-masing tendon. Sebutan “pratarik” berarti pemberian pratarik pada baja prategang bukan pada baloknya. Dengan demikian, balok pratarik adalah balok prategang dimana tendon prategang yang ditarik sebelum di cor, sedangkan balok paskatarik adalah balok yang tendon prategangnya ditarik sesudah balok dicor dan mencapai sebagian besar dari kuat betonnya. (Edward. G. Nawy, 2001 : 61)



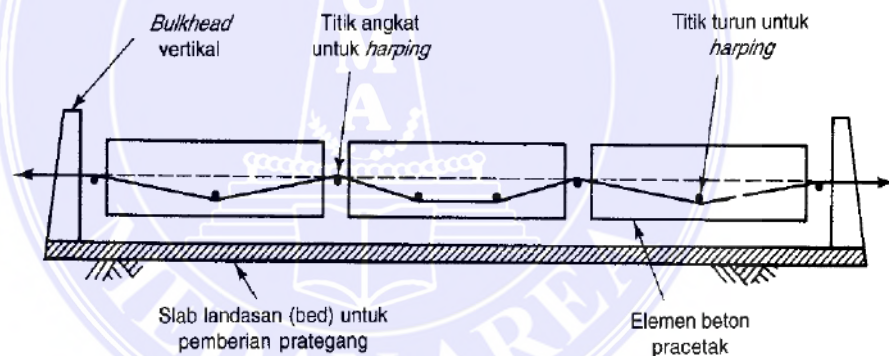
Gambar 2.14 Angker hold-down untuk tendon prategang harping.
(Atas izin Post-Tensioning Institute)

Sumber: buku “Beton prategang” Edisi ketiga jilid 1 oleh Edward G.Nawy / Bambang suryoatmini hal.62

Dalam Pelaksanaan pratarik, *strand* kawat-kawat tunggal di angker dengan menggunakan beberapa sistem yang telah dipaten.

b. Pemberian Pascatarik

Di dalam pemberian pascatarik, *strand*, kawat-kawat, atau batang-batang ditarik sesudah beton mengeras. *Strand* diletakkan di dalam saluran longitudinal di dalam Elemen beton pracetak. Gaya prategang ditransfer melalui penjangkaran ujung seperti chuks dari *Supreme Products* seperti terlihat dalam Gambar 2.8. Tendon berupa *strand* tidak boleh diletakkan atau disuntik sebelum terjadinya prategang penuh. (Edward. G. Nawy, 2001 : 62-63)



Gambar 2.15 Skema landasan (bed) pemberian prategang.
Sumber: buku "Beton prategang" Edisi ketiga jilid 1 oleh Edward G.Nawy / Bambang suryoatmini hal.63

2.3.7 Analisis Prategang

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris.

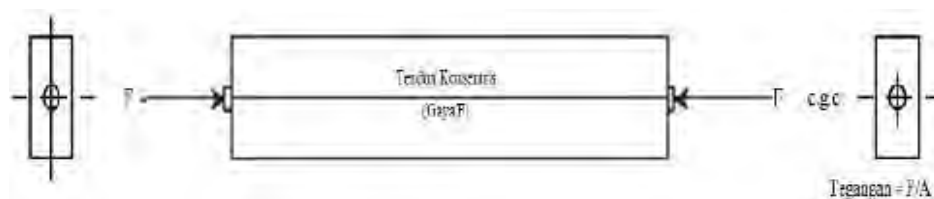
Analisa tegangan-tegangan yang timbul pada suatu elemen struktur beton prategang didasarkan atas asumsi-asumsi berikut (N. Krishna Raju, 1986):

- a) Beton prategang adalah suatu material yang elastis.
- b) Didalam batas-batas tegangan kerja, baik beton maupun baja berperilaku elastis. Tidak dapat menahan rangkai yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut pada pembebanan terus-menerus.
- c) Suatu potongan datar sebelum melentur dianggap tetap datar meskipun sudah mengalami lenturan, yang menyatakan suatu distribusi regangan linier pada keseluruhan tinggi batang.

Selama tegangan tarik tidak melampaui batas modulus keruntuhan beton (yang sesuai dengan tahap retakan yang terlihat pada beton). setiap perubahan dalam pembebanan batang menghasilkan perubahan tegangan pada beton saja. satu-satunya fungsi dan tendon prategang adalah untuk memberikan dan memelihara prategang pada beton.

a. Tendon Konsentris

Balok beton dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar dibawah ini,



Gambar 2.16 Prategang Konsentris
Sumber: Beton Pratekan, N Krishna Raju

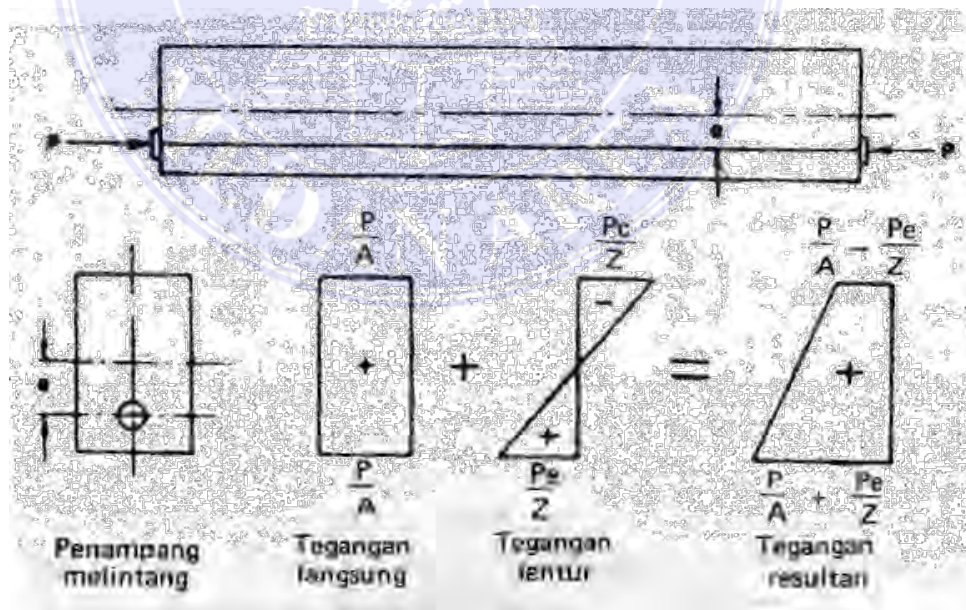
Prategang seragam pada beton = P/A yang berupa tekan pada seluruh tinggi balok. Pada umumnya beban-beban yang dipakai dan beban mati balok menimbulkan tegangan tarik terhadap bidang bagian bawah dan ini diimbangi dengan lebih efektif dengan memakai tendon eksentris.

b. Tendon Eksentris

Gambar 2.17 memperlihatkan sebuah balok beton yang mengalami suatu gaya prategang eksentris sebesar P yang ditempatkan dengan eksentrisitas (e). Tegangan- tegangan yang ditimbulkan pada serat-serat bagian atas dan bagian bawah balok di peroleh dengan hubungan:

$$f_{bawah} = \frac{P}{A} + \frac{Pe}{Z_b} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{ey_b}{i^2} \right)$$

$$f_{atas} = \frac{P}{A} - \frac{Pe}{Z_t} = \frac{P}{A} \left(1 - \frac{ey_t}{i^2} \right)$$

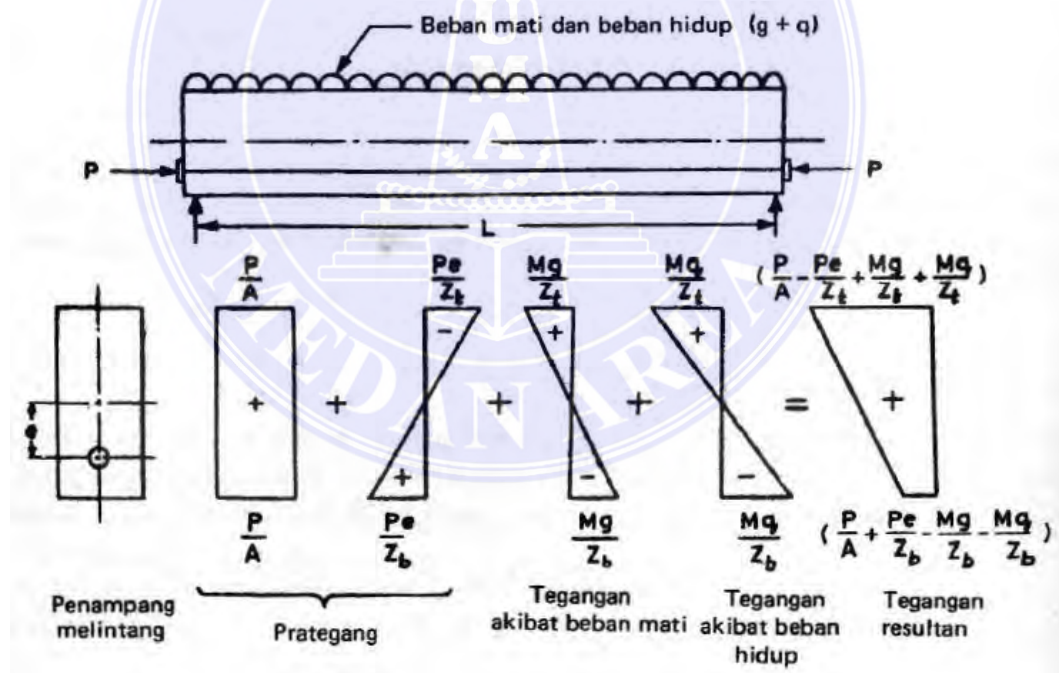


Gambar 2.17 Prategang Eksentris
 Sumber: Beton Pratekan. N Krishna Raju

c. Tegangan Resultan Pada Suatu Penampang

Balok beton yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini memikul beban hidup dan mati yang terbagi rata dengan q dan g . Balok diprategangkan dengan suatu tendon lurus yang membawa suatu gaya prategang (P) dengan eksentrisitas (e). Tegangan resultan pada suatu penampang beton diperoleh dengan superposisi pengaruh prategang dan tegangan-tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Jika M_q dan M_g merupakan momen akibat beban hidup dan beban mati pada penampang di tengah bentang.

$$M_q = \frac{q L^2}{8} \quad M_g = \left(\frac{q L^2}{8} \right)$$



Gambar 2.18 Distribusi Tegangan akibat Prategang Eksentris, Beban Mati dan Beban Hidup,
 Sumber: Beton Pratekan. N Krishna Raju

2.3.8 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan (Andri Budiadi, 2008 : 217). Di dalam suatu sistem struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan gaya prategang, baik akibat sistem penegangan maupun akibat pengaruh waktu. Kehilangan tegangan langsung disebabkan oleh:

- a. Perpendekan elastis dari beton.
- b. Gesekan sepanjang kelengkungan tendon pada struktur pasca tarik.
- c. Selip pada ankur, dll.

Kehilangan tegangan akibat pengaruh waktu disebabkan oleh:

- a. Relaksasi baja, dan
- b. Perpendek dari beton pada level baja akibat rangkakan penyusutan.

2.3.9 Desain Penampang Beton Prategang Terhadap Lentur

Dalam desain lentur komponen struktur beton bertulang, adalah suatu hal yang memadai untuk menerapkan kondisi batas tegangan pada saat gagal di dalam menentukan pilihan penampang, asalkan semua persyaratan lain seperti daya layan, kapasitas geser dan lekatan dipenuhi. Namun, dalam desain komponen struktur beton prategang, pengecekan lainnya dibutuhkan pada saat transfer beban dan kondisi batas pada saat beban kerja, selain juga kondisi batas pada saat gagal, dengan beban gagal menunjukkan kekuatan cadangan untuk kondisi kelebihan beban. Semua pengecekan ini dibutuhkan untuk menjamin bahwa pada kondisi beban kerja, retak dapat diabaikan dan

efek-efek jangka panjang terhadap defleksi atau lawan lendut dapat dikontrol dengan baik (Edward G. Nawy, 2001 : 107).

2.3.10 Modulus Penampang Minimum

Untuk mendesain dan memilih penampang, penentuan modulus penampang minimum yang dibutuhkan, serat bawah dan serat atas harus dilakukan terlebih dahulu. Jika,

f_{ci} = Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan. ($0,6.f_{ci}$).

f_{ci} = Tegangan tarik izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan. ($3.\sqrt{f'_{ci}}$, nilai ini dapat diperbesar menjadi $6.\sqrt{f'_{ci}}$ di tumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana).

f_c = Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah kehilangan pada taraf beban kerja. ($0,45.f_c$ atau $0,60.f_c'$ apabila diperkenankan oleh standar).

f_t = Tegangan tarik izin maksimum di beton sesudah semua kehilangan pada taraf beban kerja. ($6.\sqrt{f'_{ci}}$ pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi $12.\sqrt{f'_{ci}}$ jika persyaratan defleksi jangka panjang di penuhi).

(Edward G. Nawy, 2001: 108)

Rumus umum perhitungan tegangan

$$\text{Tegangan akibat prategang} = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{W}$$

Tegangan akibat beban luar termasuk berat sendiri = $\frac{M}{W}$

Resultan tegangan di serat tarik dibuat sama dengan nol untuk struktur fully prestressed (prategang penuh) sementara untuk yang partial prestressed (prategang sebagian) disesuaikan dengan tegangan ijinnya. Di serat tekan, tegangan tidak boleh melebihi tekan tegangan yang diijinkan. Dengan demikian tegangan di serat tertekan adalah

$$fb = -\frac{P}{A} + \frac{P.e}{W} + \frac{M}{W} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

fb = Tegangan di serat tertekan/bawah (MPa = kN/m²)

P = Gaya prategang (kN)

e = Eksentrisitas penampang (m)

M = Momen akibat beban luar (kN.m)

W = Momen tahan (m³)

(Andri Budiadi, 2008:23)

2.4 Pembebanan pada Jembatan

2.4.1 Beban Permanen

a. Umum

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa

dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Berat isi untuk beban mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m)	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: RSNI 1725:2016

Pengambilan kerapatan massa yang besar, aman untuk suatu keadaan batas akan tetapi tidak untuk keadaan yang lainnya. Untuk mengatasi hal tersebut dapat digunakan faktor beban terkurangi. Akan tetapi, apabila kerapatan massa diambil dari suatu jajaran nilai, dan nilai yang sebenarnya tidak bisa ditentukan dengan tepat, perencana harus memilih di antara nilai tersebut yang memberikan keadaan yang paling kritis.

b. Berat sendiri (MS)

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

bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap.

Tabel 2.2 Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Bahan	Keadaan Batas Layan ($\gamma^S MS$)	Keadaan Batas Ultimit ($\gamma^U MS$)	
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
Tetap	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: RSNi 1725:2016

c. Beban mati tambahan/utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

Tabel 2.3 Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan	Keadaan Batas Layan ($\gamma^S MA$)	Keadaan Batas Ultimit ($\gamma^U MA$)	
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Umum	1,00(1)	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

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

Sumber: RSNi 1725:2016

d. Beban akibat tekanan tanah (TA)

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari γ_s dan nilai rencana dari c serta ϕ . Nilai-nilai rencana dari c serta ϕ diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan.

Tabel 2.4 Faktor beban akibat tekanan tanah

Tipe beban	Faktor beban (γ_{TA})			
	Kondisi Batas Layan (γ^S_{TA})	Kondisi Batas Ultimit (γ^U_{TA})		
	Tekanan tanah	Biasa	Terkurangi	
	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
Tetap	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00	(1)	

Catatan (1) : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.

Sumber: RSNI 1725:2016

e. Pengaruh tetap pelaksanaan

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{PL})		
	Keadaan Batas Layan (γ^S_{PL})	Keadaan Batas Ultimit (γ^U_{PL})	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

Sumber: RSNI 1725:2016

2.4.2 Beban Lalu Lintas

a. Lajur Lalu Lintas Rencana

Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Jumlah lajur lalu lintas rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
	$5250 \leq w < 7500$	2
Dua Arah, tanpa Median	$7500 \leq w < 10,000$	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: RSNI 1725:2016

Berdasarkan Tabel 2.6, bila lebar bersih jembatan berkisar antara 3000 mm sampai 5000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana dan lebar jalur rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas.

b. Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 24. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Faktor beban untuk beban lajur “D”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^s)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: RSNI 1725:2016

a) Intensitas beban “D”

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

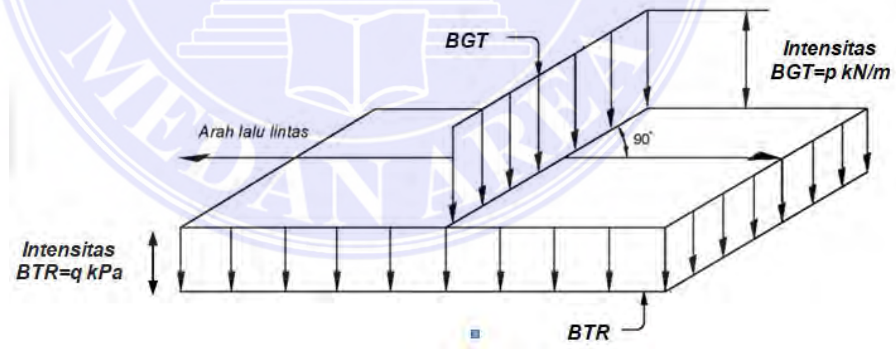
Jika $L \leq 30m$, $q = 9,0$ kPa (1)

Jika $L > 30m$, $q = 9,0(0,5 + 15/L)$ kPa (2)

Keterangan:

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

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



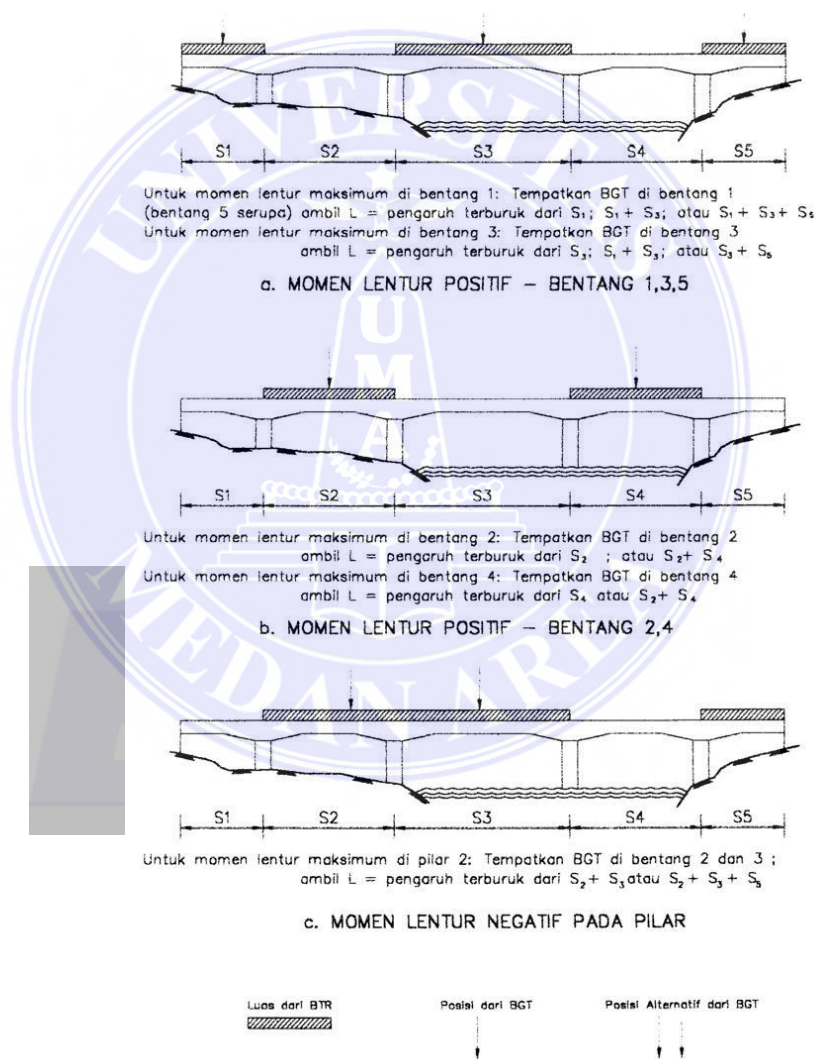
Gambar 2.19 Beban Lajur “D”

Sumber: RSNI 1725:2016

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

b) Distribusi beban "D"

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.19. Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Alternatif penempatan beban "D" dalam arah memanjang
 Sumber: RSNI 1725:2016

c) Respons terhadap beban Lajur “D”

Distribusi beban hidup dalam arah melintang digunakan untuk memperoleh momen dan geser dalam arah longitudinal pada gelagar jembatan.

d. Beban Truk “T” (TT)

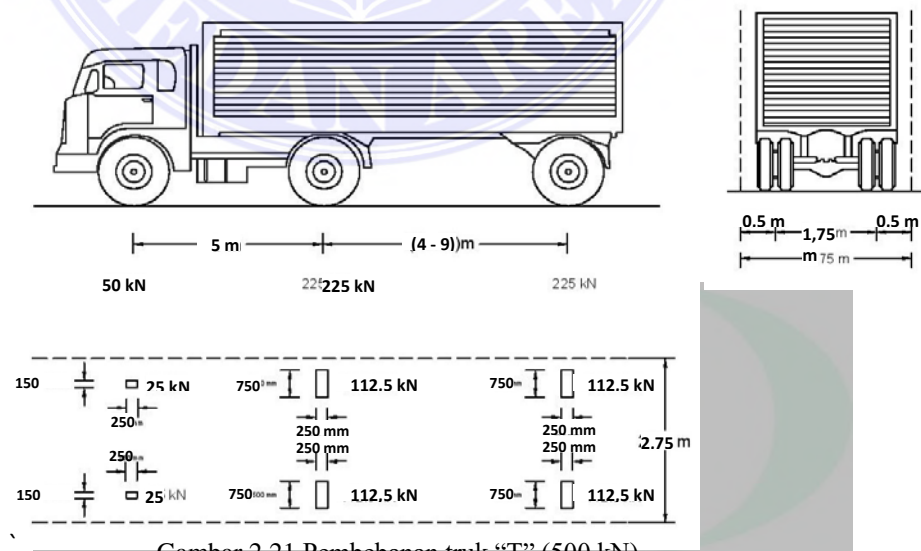
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor beban untuk beban “T”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ^S) _{TT}	Keadaan Batas Ultimit (γ^U) _{TT}
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: RSNI 1725:2016

a) Besarnya Pembebanan truk “T”



Gambar 2.21 Pembebanan truk “T” (500 kN)

Sumber: RSNI 1725:2016

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.21. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

b) Posisi dan penyebaran pembebanan truk "T" dalam arah melintang

Kendaraan truk "T" ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam Gambar 2.21. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana dapat dilihat dalam Tabel 2.6, tetapi jumlah lebih kecil bisa digunakan dalam perencanaan apabila menghasilkan pengaruh yang lebih besar. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana dalam nilai bulat harus digunakan. Lajur lalu lintas rencana bisa ditempatkan di mana saja pada lajur jembatan.

c) Penerapan Beban Hidup Kendaraan

Pengaruh beban hidup harus ditentukan dengan mempertimbangkan setiap kemungkinan kombinasi jumlah jalur yang terisi dikalikan dengan faktor kepadatan lajur yang sesuai untuk memperhitungkan kemungkinan terisinya jalur rencana

oleh beban hidup. Jika perencana tidak mempunyai data yang diperlukan maka nilai-nilai pada Tabel 2.9.

- dapat digunakan saat meneliti jika hanya satu jalur terisi,
- boleh digunakan saat meneliti pengaruh beban hidup jika ada tiga atau lebih lajur terisi.

Tabel 2.9 Faktor kepadatan lajur (m)

Jumlah lajur yang dibebani	faktor kepadatan lajur
1	1,2
≥ 2	1

Sumber: RSNI 1725:2016

d) Bidang kontak roda kendaraan

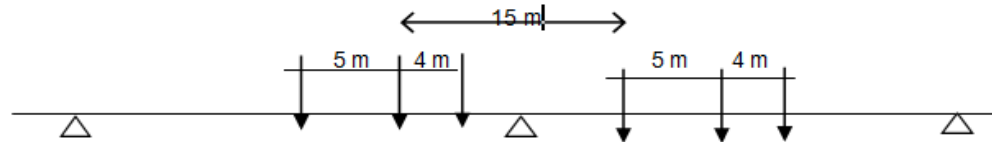
Bidang kontak roda kendaraan yang terdiri atas satu atau dua roda diasumsikan mempunyai bentuk persegi panjang dengan panjang 750 mm dan lebar 250 mm. Tekanan ban harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan bidang kontak.

e) Penerapan Beban Hidup Kendaraan

Kecuali ditentukan lain, pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari:

- Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
- Pengaruh beban terdistribusi "D" dan beban garis KEL dikalikan FBD

Untuk momen negatif, beban truk dikerjakan pada dua bentang yang berdampingan dengan jarak gandar tengah truk terhadap gandar depan truk dibelakangnya adalah 15 m dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m.



Gambar 2.22 Penempatan beban truk untuk kondisi momen negative maksimum

Sumber: RSNI 1725:2016

f) Beban plat kantilever

Untuk perencanaan pelat kantilever dengan bentang kurang dari 1800 mm dari sumbu gelagar eksterior terhadap tepi dalam parapet, maka beban roda dapat diganti menjadi beban garis dalam arah memanjang jembatan dengan intensitas 17 kN/m berjarak 250 mm dari tepi dalam parapet.

e. Klasifikasi pembebanan lalu lintas

a) Pembebanan lalu lintas yang di kurangi

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan "D" setelah dikurangi menjadi 70 % bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi hanya berlaku untuk jembatan darurat atau semipermanen.

b) Pembebanan lalu lintas yang berlebih (overload)

Faktor pembesaran di atas 100 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan

f. Faktor Beban dinamis

Faktor Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan,

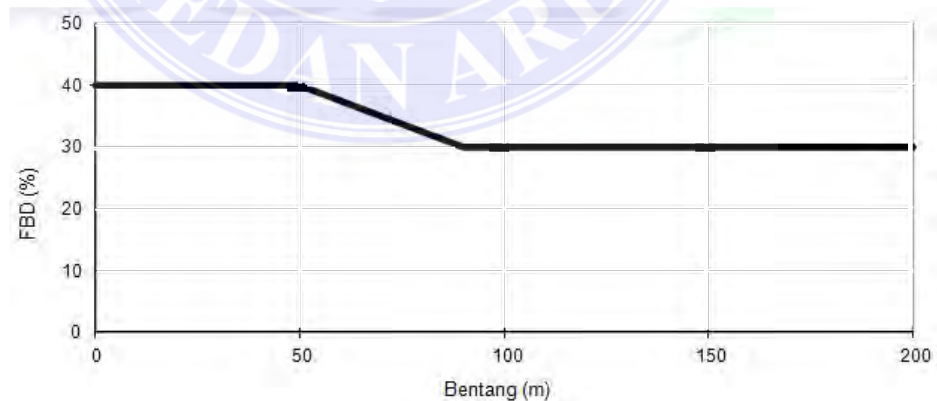
Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{av} \cdot L_{max}}$$

Keterangan :

L_{av} adalah panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus,

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



Gambar 2.21 Pembebanan truk "T" (500 kN)
Sumber: RSNI 1725:2016

g. Gaya Rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata

BTR

h. Gaya sentrifugal (TR)

Untuk tujuan menghitung gaya radial atau efek guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari berat gandar truk rencana dengan faktor C sebagai berikut :

$$C = f \frac{v^2}{g R_t}$$

Keterangan :

v adalah kecepatan rencana jalan raya (m/detik)

f adalah faktor dengan nilai 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik

g adalah percepatan gravitasi: 9.8 (m/detik²)

R_t adalah jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m)

2.4.3 Aksi lingkungan

a. Gaya akibat deformasi

Gaya dalam yang terjadi karena deformasi akibat rangkakan dan susut harus diperhitungkan dalam perencanaan. Selain itu pengaruh temperatur gradien harus dihitung jika diperlukan. Gaya-gaya yang

terjadi akibat adanya pengekangan deformasi komponen maupun tumpuan serta deformasi pada lokasi dimana beban bekerja harus diperhitungkan dalam perencanaan.

a) Temperatur merata (EUn)

$$\Delta T = \alpha L (T_{\max \text{ design}} - T_{\min \text{ design}})$$

Keterangan :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

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

b) Pengaruh Prategang (PR)

Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

Tabel 2.10 Faktor beban akibat pengaruh prategang

Tipe beban	Faktor beban (γ_{PR})	
	Keadaan Batas Layan (γ^S) _{PR}	Keadaan Batas Ultimit (γ^U) _{PR}
Tetap	1,0	1,0

Sumber: RSNI 1725:2016

b. Beban angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (VB) sebesar 90 hingga 126 km/jam.

Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-

komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

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

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

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm,

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

V_0 = Kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorology, sebagaimana ditentukan dalam tabel 2.10, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_0 = Panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorology, ditentukan pada tabel 2.10

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang
- Survey angin pada lokasi jembatan, dan
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencanaan dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 2.11 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

Sumber: RSNI 1725:2016

- Beban angin pada struktur (EWs)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan.

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

Keterangan:

P_B = tekanan angin dasar seperti yang di tentukan dalam tabel 2.11 (MPa)

Tabel 2.12 Tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Sumber: RSNi 1725:2016

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

2.5 Perhitungan Bangunan Atas Jembatan

2.5.1 Analisa Perhitungan Plat Lantai

1. Berat Sendiri (MS)

$$Q_{MS} = b \cdot h \cdot w_c$$

Dimana:

b = lebar plat lantai yang ditinjau (m)

h = tebal plat yang ditinjau (m)

w_c = berat jenis beton (kN/m³)

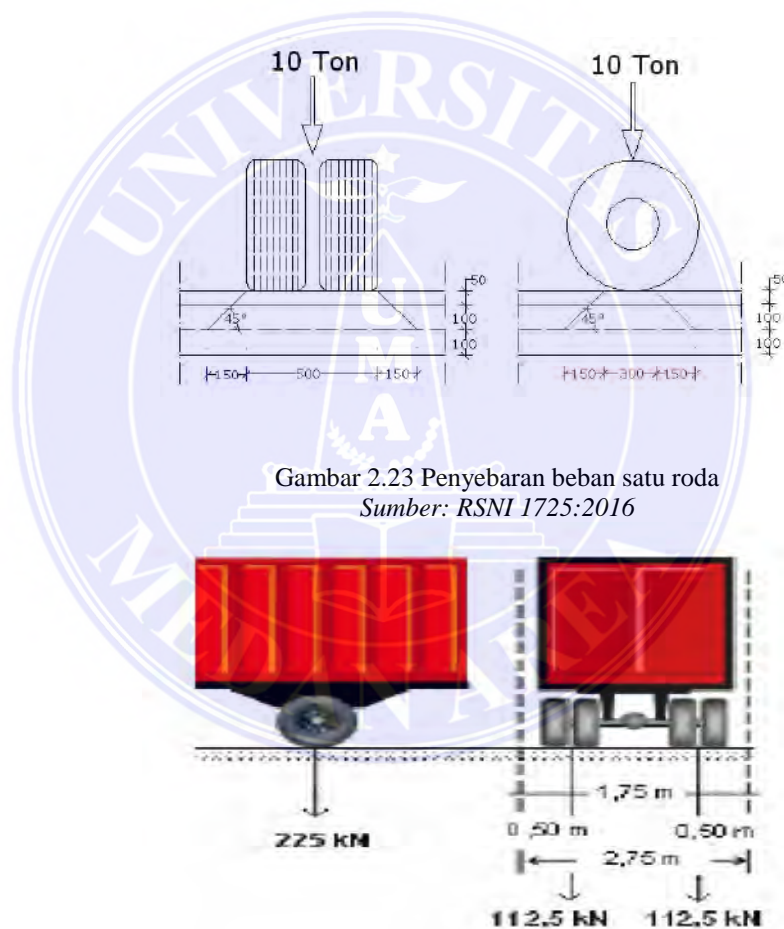
2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural. Beban mati tambahan berupa beban lapisan aspal (overlay) + beban air hujan.

3. Beban Truk T

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya ($T=100 \text{ kN}$) dan nilai Faktor Beban Dinamis untuk pembebanan truk diambil, 30%, harga FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah.

$$\text{Beban Truk "T"} (P_{TT}) = (1 + \text{DLA}) * T$$



Beban Truk "T"

4. Beban Angin (EW)

Beban garis merata tambahan arah horizontal pada permukaan

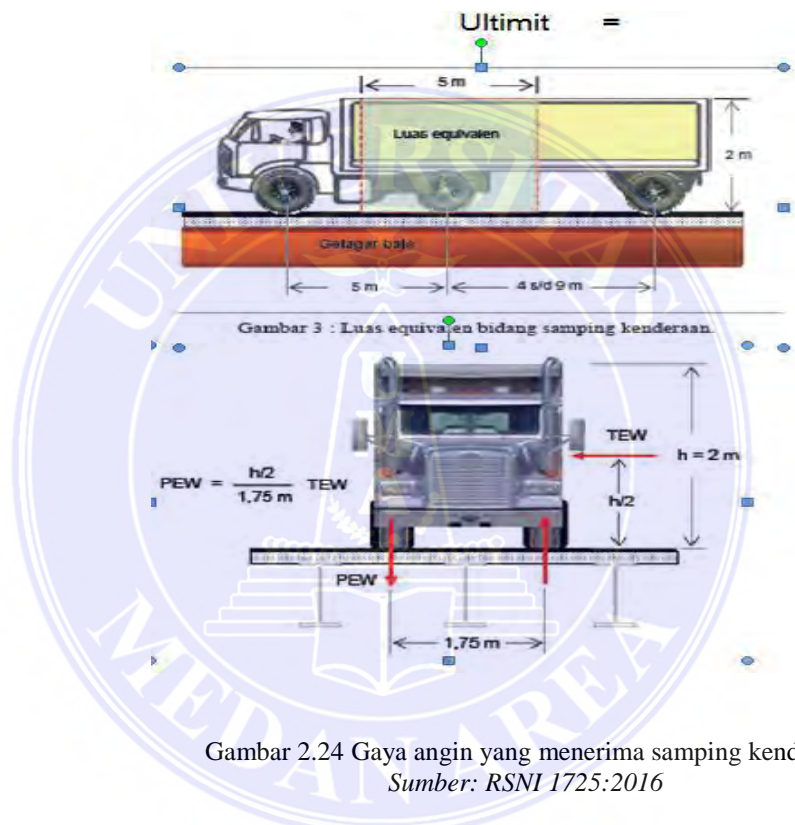
lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan di atas jembatan
 di hitung dengan rumus:

$$T_{EW} = 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2$$

Dimana:

C_w = Koefisien seret (RSNI 2005)

V_w = Kecepatan angin rencana



Transfer beban angin ke lantai kendaraan:

$$P_{EW} = 0,5 \cdot (h/x) \cdot T_{EW}$$

5. Pengaruh Temperatur (ET)

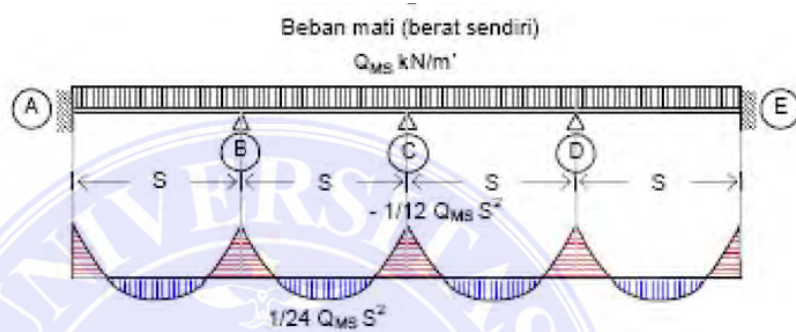
Untuk memperhitungkan tegangan maupun deformasi struktur yang timbul akibat pengaruh temperature, diambil perbedaan temperatur yang besarnya setengah dari selisih antara temperatur

maksimum dan temperatur minimum rata-rata pada lantai kendaraan.

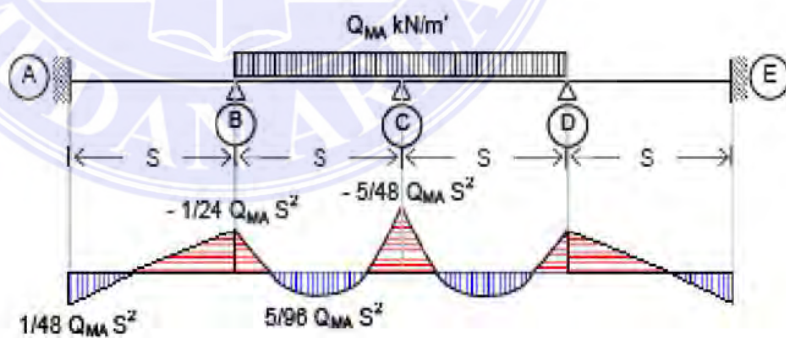
$$\Delta T = (T_{\max} - T_{\min}) / 2$$

6. Momen Pada Slab Lantai Kendaraan

a. Akibat beban sendiri (Q_{MS})



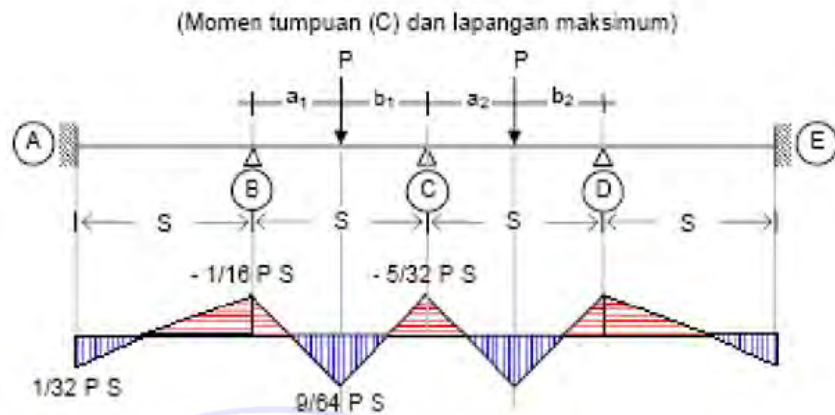
b. Akibat beban mati tambahan (Q_{MA})



$$\text{Momen tumpuan maksimum} = 5/48 Q_{MA} S^2$$

$$\text{Momen lapangan maksimum} = 5/96 Q_{MA} S^2$$

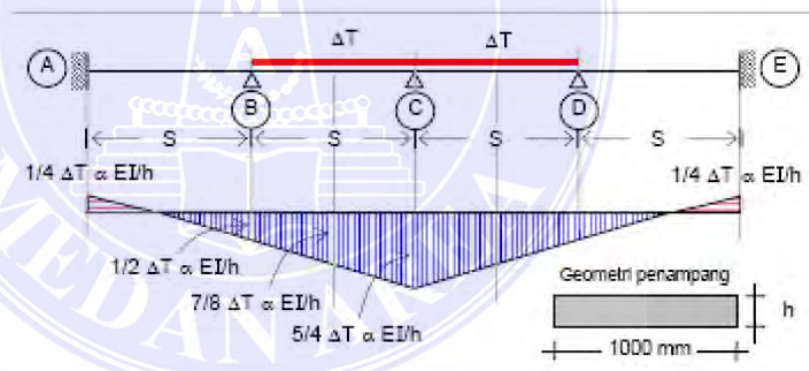
c. Akibat beban truk (T) dan angin (P_{EW})



$$\text{Momen tumpuan maksimum} = 5/32 P_{EW} S$$

$$\text{Momen lapangan maksimum} = 9/64 P_{EW} S$$

d. Akibat temperatur



$$\text{Momen tumpuan maksimum} = 1/4 \Delta T \alpha EI/h$$

$$\text{Momen lapangan maksimum} = 7/8 \Delta T \alpha EI/h$$

2.5.2 Analisa Trotoar

Berikut tahap perhitungan untuk slab trotoar pada jembatan:

1. Faktor bentuk distribusi tegangan beton

$$\rho_b = \beta_1 \cdot 0,85 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600+f_y}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b$$

$$R_{maks} = \rho_{maks} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho_{maks} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right)$$

2. Tebal efektif slab beton

$$d = h - d'$$

3. Hitung momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}, \text{ nilai } \phi \text{ untuk lentur} = 0,8$$

4. Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2}, \text{ Harus dipenuhi syarat, } R_n < R_{max}$$

5. Rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{\left(1 - \frac{2R_n}{0,85 \cdot f_c'} \right)} \right)$$

6. Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

7. Luas tulangan yang dibutuhkan

$$A = \rho \cdot b \cdot d$$

8. Jarak antara tulangan

$$s = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot dt^2 \cdot b}{A_s}$$

dimana, dt = diameter tulangan

9. Tulangan bagi pada arah memanjang

$$A_{bg} = 50\% \cdot A_s$$

2.5.3 Analisa Tiang Railing

Berikut tahapan perhitungan untuk tiang railing pada jembatan:

1. Beban tiang railing

- a. Beban horizontal pada railing,

$$H_1 = 0,750 \text{ kN/m (RSNI T - 02 - 2005)}$$

- b. Gaya horizontal pada tiang railing,

$$H_{TP} = H_1 \cdot L$$

- c. Momen pada tiang railing,

$$M_{TP} = H_{TP} \cdot y$$

- d. Faktor beban ultimit,

$$K_{TP} = 2,0$$

- e. Momen ultimit rencana

$$M_U = K_{TP} \cdot M_{TP}$$

2. Pembesian tiang railing

- a. Tulangan lentur

- Faktor bentuk distribusi tegangan beton

$$\rho_b = \beta_1 \cdot 0,85 \cdot \frac{f_c'}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b$$

$$R_{maks} = \rho_{maks} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho_{maks} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'} \right)$$

- Tebal efektif tiang railing

$$d = h - d'$$

- Momen nominal rencana

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi}, \text{ nilai } \Phi \text{ untuk lentur} = 0,8$$

- Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2}, \text{ Harus dipenuhi syarat, } R_n < R_{max}$$

- Rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right)$$

- Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

- Luas tulangan yang diperlukan

$$A = \rho \cdot b \cdot d$$

- Jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = A_s / (\pi / 4 \cdot D^2)$$

b. Tulangan geser

- Kuat geser beton

$$V_c = (\sqrt{f_c'}) / 6 \cdot b \cdot d$$

- Luas tulangan geser perlu

$$\Phi \cdot V_c$$

- Luas tulangan geser sengkang

$$A_v = \pi / 4 \cdot \Phi^2 \cdot 2$$

- Jarak tulangan geser (sengkang)

$$S = A_v \cdot f_y \cdot d / V_s$$

- Jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan,

$$S = A_v \cdot f_y \cdot \frac{d}{V_s}$$

2.5.4 Analisa Plat injak

Berikut tahapan perhitungan untuk plat injak

1. Faktor bentuk distribusi tegangan beton

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b$$

$$R_{maks} = \rho_b \times f_y \times \left(1 - \frac{1}{2} \times \frac{\rho_{maks} \times f_y}{0,85 \times f_c'} \right)$$

2. Tebal efektif slab beton

$$d = h - d'$$

3. Hitung Momen Nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\Phi}, \text{ nilai } \Phi \text{ untuk lentur} = 0,8$$

4. Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2}, \text{ Harus dipenuhi syarat, } R_n < R_{max}$$

5. Rasio Tulangan yang diperlukan

$$\rho = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{\left(1 - \frac{2R_n}{0,85 \times f_c'} \right)} \right)$$

6. Rasio Tulangan Minimum

$$\rho_{\min} = 25\% \times \frac{1,4}{f_y}$$

7. Luas Tulangan yang diperlukan

$$A = \rho \cdot b \cdot d$$

8. Jarak antara Tulangan

$$s = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot dt^2 \cdot b}{A_s}$$

dimana, dt = diameter tulangan

9. Tulangan Bagi pada Arah Memanjang dan Melintang

$$A_{bg} = 50\% \cdot A_s$$

2.5.5 Analisa Girder/Balok Prategang

1. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan non struktural yang dipikulnya yang bersifat tetap.

a. Perhitungan Diafragma

Distribusi beban lantai pada balok diafragma adalah sebagai berikut:

$$\text{Gaya geser akibat akrobat berat sendiri } V_{MS} = \frac{1}{2} \times Q_{MS} \times S$$

$$\text{Momen akibat beban sendiri } M_{MS} = 1/12 \times Q_{MS} \times S^2$$

$$\text{Gaya geser akibat beban mati tambahan } V_{MA} = 1/2 \times Q_{MA} \times S$$

$$\text{Momen akibat beban truk } V_{TT} = 1/2 \times P_{TT}$$

$$\text{Gaya geser akibat beban truk } M_{TT} = 1/8 \times P_{TT}$$

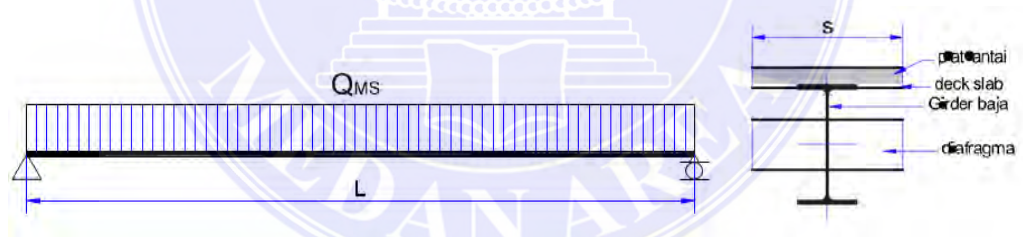
$$\text{Momen akibat beban sendiri } M_{MS} = 1/12 \times Q_{MS} \times S^2$$

$$\text{Jumlah balok diafragma sepanjang bentang: } n = \left(\frac{b}{s} + 1 \right)$$

$$\text{Berat 1 diafragma: } Q = A \times L \times W_c$$

$$\text{q diafragma: } q_{\text{diafragma}} = \frac{Q}{L}$$

$$\text{Berat total diafragma: } Q_{\text{tot}} = n \times Q$$



$$Q_{MS} = \text{Beban Plat Lantai} + \text{Beban Girder} + \text{Beban Diafragma}$$

Dimana:

$$\text{Beban diafragma Girder } (Q_d) = n_d \times (L_d/L)$$

$$\text{Gaya geser akibat berat sendiri } V_{MS} = 1/2 \times Q_{MS} \times L$$

$$\text{Momen pada girder MMS} = 1/8 \times Q_{MS} \times L^2$$

b. Perhitungan Girder/Balok Prategang

$$W_{\text{balok}} = A \times L \times w_c$$

$$\text{Beban } (Q_{MS}) = A \times w \quad (\text{kN/m})$$

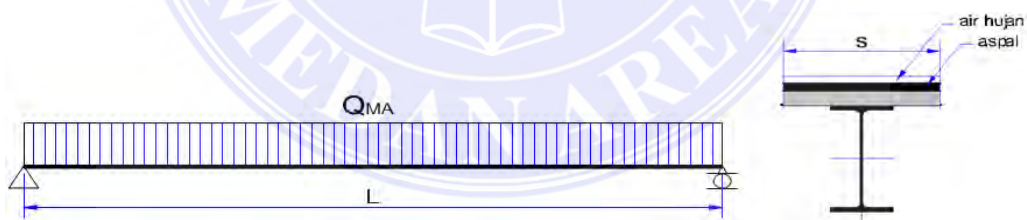
$$\text{Panjang bentang } (L) = 30,6 \text{ m}$$

$$\text{Gaya geser } (V_{MS}) = 1/2 \times Q_{MS} \times L \quad (\text{kN})$$

$$\text{Momen } (M_{MS}) = 1/8 \times Q_{MS} \times L^2 \quad (\text{kNm})$$

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural. Beban mati tambahan berupa beban lapisan aspal (*overlay*) + beban air hujan.



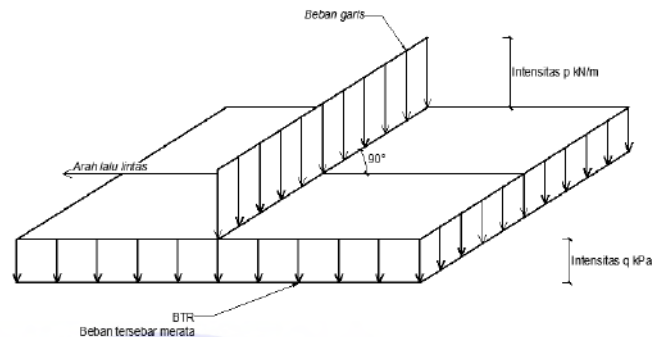
$$\text{Gaya geser akibat beban mati tambahan } V_{MA} = 1/2 \cdot Q_{MA} \cdot L$$

$$\text{Momen akibat beban mati tambahan } M_{MA} = 1/8 \cdot Q_{MA} \cdot L^2$$

3. Beban Lalulintas

a. Beban Lajur “D” dan beban garis “KEL”

Beban lajur “D” terdiri dari beban terbagi merata UDL (*Uniformly Distributed Load*) dan beban garis KEL (*Knife Edge Load*)



Gambar 2.19 Beban Lajur “D”

Sumber: RSNI 1725:2016

$q = 9.0 \text{ kPa}$, untuk $L \leq 30 \text{ m}$

$q = 9.0 * (0.5 + 15 / L) \text{ kPa}$, untuk $L > 30 \text{ m}$

KEL mempunyai intensitas, $p = 440 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis untuk KEL diambil sebagai berikut:

$DLA = 0.4$ untuk $L \leq 50 \text{ m}$

$DLA = 0.4 - 0.0025 * (L - 50)$ untuk $50 < L < 90 \text{ m}$

$DLA = 0.3$ untuk $L \geq 90 \text{ m}$

Untuk bentang menerus, digunakan panjang bentang ekuivalen yang dinyatakan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{av} * L_{max}}$$

Dimana,

L_{AV} = Panjang bentang rata – rata

L_{Max} = Panjang bentang maksimum

Dimana:

C_w = Koefisien seret

V_w = Kecepatan angin rencana

Transfer beban angin ke lantai kendaraan:

$$P_{EW} = 0,5 \cdot (h/x) \cdot T_{EW}$$

6. Pengaruh Temperatur (ET)

Untuk memperhitungkan tegangan maupun deformasi struktur yang timbul akibat pengaruh temperatur, diambil perbedaan temperatur yang besarnya setengah dari selisih antara temperatur maksimum dan temperatur minimum rata-rata pada lantai kendaraan.

$$\Delta T = (T_{\max} - T_{\min}) / 2$$

7. Beban Gempa

Gaya gempa vertikal pada girder dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal ke bawah minimal sebesar $0,10 \times g$ (g = percepatan gravitasi) atau dapat diambil 50% koefisien gempa horizontal statik ekuivalen.

$$K_h = C \cdot S$$

K_h = koefisien beban gempa horizontal

C = koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, waktu getar, dan kondisi tanah setempat (0,18)

S = Faktor tipe struktur yang berhubungan dengan kapasitas penyerapan energy gempa dari struktur.

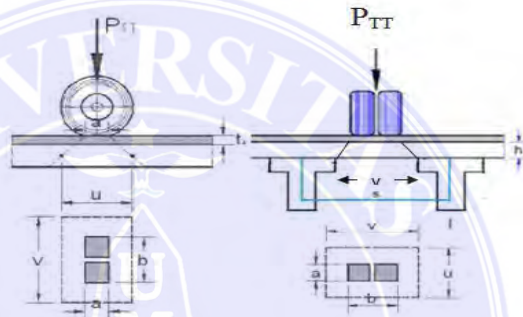
Koefisien beban gempa vertikal $K_v = 50\% \cdot K_h$

Gaya geser akibat beban gempa pada girder $V_{EQ} = \frac{1}{2} \times Q_{EQ} \times L$

Momen akibat beban gempa pada girder $M_{EQ} = \frac{1}{8} \times Q_{EQ} / L^2$

2.5.6 Analisa Gaya Geser

Gaya geser pons adalah gaya yang terjadi akibat adanya beban truk pada roda yang dipikul oleh lantai jembatan (lapis perkerasan). Bagian roda truk yang bersentuhan dengan lapis perkerasan disebut bidang geser.



Gambar 2.25 Bidang geser pons pada lantai jembatan

Sumber: RSNI 1725:2016

Berikut tahapan perhitungan kontrol tegangan geser pons:

1. Bidang geser pons

$$u = a + 2ta + h$$

$$v = b + 2ta + h$$

2. Luas bidang geser

$$A_v = 2(u + h)$$

3. Gaya geser pons nominal

$$P_n = (A_v \times P_n)$$

4. Beban ultimit roda truk pada slab

$$P_u = K_{TT} \times P_{TT} \text{ (syarat, } P_u < \Phi P_n \rightarrow \text{aman)}$$

2.5.7 Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon

Gaya prategang adalah gaya yang diperlukan untuk menahan semua beban yang terjadi akibat beban sendiri maupun beban luar yang terjadi.

1. Kondisi Awal (Saat Transfer)

Tegangan di serat atas

$$0 = -\frac{P_t}{A} + P_t \times \frac{e_s}{W_a} - \frac{M_{\text{balok}}}{W_a} \quad (\text{persamaan 1})$$

Tegangan di serat bawah

$$0,6 \times f'_{ci} = -\frac{P_t}{A} - P_t \times \frac{e_s}{W_b} + \frac{M_{\text{balok}}}{W_b} \quad (\text{persamaan 2})$$

Besar gaya prategang awal:

Dari persamaan (1):

$$P_t = \frac{M_{\text{balok}}}{\left(e_s - \frac{W_a}{A}\right)}$$

Dari persamaan (2):

$$P_t = \frac{[0,6 \times f'_{ci} \times W_b + M_{\text{balok}}]}{\left(\frac{W_b}{A} + e_s\right)}$$

2. Kondisi Akhir

Untuk mencari gaya prategang saat jacking digunakan dua persamaan berikut ini:

Gaya prategang saat *jacking*:

$$P_j = \frac{P_t}{0,85} \quad \text{persamaan (1)}$$

$$P_j = 0,85 \times P_{b1} \times n_t \quad \text{persamaan (2)}$$

Dari persamaan diatas diperoleh jumlah tendon yang diperlukan:

$$n_t = \frac{P_t}{0,85 \times 0,80 \times P_{b1}}$$

Jumlah kawat untai (strands cable) yang digunakan:

$$n_s = \frac{P_t}{(0,85 \times 0,80 \times P_{bs})}$$

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% force jacking):

$$P_o = \frac{P_t}{(0,85 \times n_s \times P_{bs})}$$

2.5.8 Posisi Tendon

Posisi tendon akan berbeda ditumpuan dan ditengah bentang. Pada tengah bentang kecenderungan posisi tendon berada dibawah garis eksentrisitas balok. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan gaya tekan ke atas.

Untuk menentukan posisi tendon dicari sebagai berikut:

1. Posisi Tendon di Tengah Bentang

Momen statis tendon terhadap alas

$$n_s \times z_o = n_1 \times a + n_2(a + y_d)$$

$$y_d = \frac{n_s \times (z_o - a)}{n_2}$$

2. Posisi Tendon di Tumpuan

$$\sum n_i \times y_{d'} = n_s \times y_e$$

$$\frac{y_e}{y_{d'}} = \frac{\left(\frac{\sum n_i \times y_{d'}}{y_{d'}}\right)}{n_s} = \frac{36}{24} = 1,5$$

$$y_e = y_b - a' = 0,353 - 0,212 = 0,141 \text{ m}$$

$$y'_d = \frac{y_e}{\left[\frac{y_e}{y'_d} \right]} = \frac{0,141}{1,5} = 0,094 \text{ m}$$

3. Lintasan Inti tendon

Persamaan lintasan tendon adalah sebagai berikut:

$$Y = \frac{4 \times f \times X}{L^2 \times (L - X)}$$

Untuk mencari sudut angkur dipakai persamaan lintasan tendon berikut:

$$Y = \frac{4 \times f_i \times X}{L^2 \times (L - X)}$$

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{4 \times f_i \times (L - 2X)}{L^2}$$

Maka untuk $x = 0$ (posisi angkur di tumpuan):

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{4 \times f_i}{L}$$

Sehingga persamaan sudut angkur:

$$\alpha = \text{arc Tan} \left(\frac{d_y}{d_x} \right)$$

2.5.9 Kehilangan Gaya Prategang

1. Kehilangan Langsung (*Immediately Loss*)

Yaitu kehilangan gaya pratekan yang terjadi segera setelah peralihan gaya pratekan yang meliputi:

- a. Kehilangan pratekan akibat perpendekan elastis (*T.Y Lin* tahun 1996):

Pada penampang yang menggunakan lebih dari satu kabel, kehilangan gaya prategang ditentukan oleh kabel yang pertama ditarik dan memakai harga setengahnya untuk mendapatkan harga rata-rata semua kabel.

$$ES = \Delta f_c = \frac{n P_j}{A_p}$$

Dimana:

P_j = Gaya prategang awal (Jacking), n = rasio modular

E_s/E_c

b. Kehilangan prategang akibat gesekan kabel (*friction and wobble effect*). Pada struktur beton prategang dengan tendon melengkung diketahui adanya gesekan pada sistem penarik (*jacking*) dan angkur sehingga tegangan yang ada pada beton sangat dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong (*wobble*).

Kehilangan prategang akibat gesekan menurut ACI 318:

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

Dimana:

P_o = Tegangan baja prategang pada saat *jacking*

P_x = Tegangan baja prategang dititik x sepanjang beton

μ = Koefisien friksi 0.2 untuk strand pada selongsong besi yang mengkilap dan dilapisi zink

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

β = koefisien wobble atau tergantung pada diameter selongsong,
untuk $50 < d_s < 90$ mm besar koefisien $0.012 < \beta < 0.016$

e = nilai dasar logaritmik natural naverian

L_x = Panjang baja prategang diukur dari titik *jacking*.

c. Kehilangan pratekan akibat slip anker (*slip anchorage*):

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

2. Kehilangan Tak langsung

Yaitu kehilangan pratekan yang bergantung pada fungsi waktu yang meliputi:

a. Kehilangan pratekan akibat rangkak beton (*creep*)

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{cds})$$

Dimana:

K_{cr} = Koefisien rangkak, harganya 1.6 untuk pasca tarik

E_c = modulus elastisitas beton

E_s = modulus elastisitas baja

F_{cir} = tegangan pada beton pada level baja sesaat setelah transfer

F_{cds} = tegangan pada beton pada pusat berat tendon akibat beban

mati

b. Kehilangan pratekan akibat susut beton (*shrinkage*)

$$\Delta f_{sh} = 8.2 \times 10^{-6} K_{sh} E_s \left(1 - 0.06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH)$$

Dimana:

E_s = modulus elastistas baja prategang

V = volume beton dari suatu komponen struktur

S = Luas permukaan dari suatu komponen struktur

R_h = Kelembaban udara relatif

K_{sh} = Koefisien susut, harganya ditentukan terhadap waktu antara akhir pengecoran dan pemberian gaya prategang

c. Kehilangan pratekan akibat relaksasi baja (*relaxation*):

$$\Delta f_{pR} = P_j \times \frac{\log t}{10} \times \frac{P_j}{f_y}$$

2.5.10 Analisa Lendutan

Berikut tahapan perhitungan kontrol lendutan slab secara garis besar:

1. Hitung jarak garis netral terhadap sisi atas beton

$$c = n \cdot A_s / b$$

2. Inersia penampang dan momen retak yang ditransformasikan ke beton

$$I_{cr} = 1/3 \cdot b \cdot c^3 + n \cdot A_s \cdot (d-c)^2 \quad \text{dan} \quad M_{cr} = f_r \cdot I_q / y_t$$

3. Momen maksimum akibat beban (tanpa faktor beban)

$$M_a = 1/8 \cdot Q \cdot L_x^2 + 1/4 \cdot P \cdot L_x$$

4. Inersia efektif untuk perhitungan lendutan

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_q + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr}$$

5. Lendutan elastic seketika akibat beban mati dan beban hidup

$$\delta_e = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q \cdot L_x^4}{E_c \cdot I_e} + \frac{1}{48} \cdot \frac{P \cdot L_x^3}{E_c \cdot I_e}$$

6. Rasio tulangan slab lantai jembatan

$$\rho = A_s / (b \cdot d)$$

7. Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati

$$\lambda = \frac{\zeta}{1 + 50\rho}$$

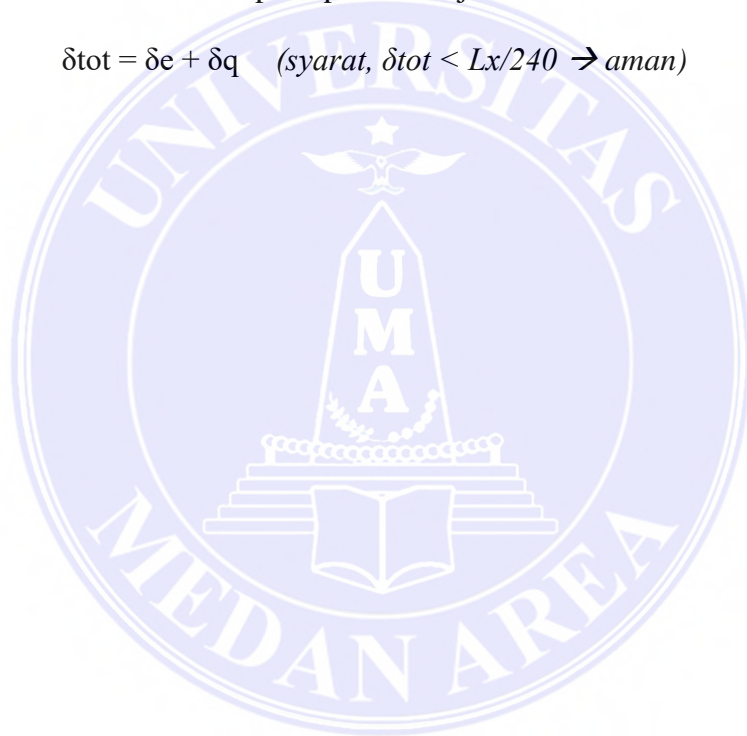
8. Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut

$$\delta_q = \frac{5}{384} \cdot \lambda \cdot Q \cdot Lx^4$$

$Ec \cdot Ie$

9. Lendutan total pada plat lantai jembatan

$$\delta_{tot} = \delta_e + \delta_q \quad (\text{syarat, } \delta_{tot} < Lx/240 \rightarrow \text{aman})$$



3.2.1 Sumber Data

Adapun Sumber data yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Data Primer

Data primer merupakan yang diperoleh langsung dilapangan untuk dijadikan data dasar, namun dapat juga dijadikan pengontrol data yang sudah tersedia pada data sekunder. Data-data yang berhubungan dengan data primer meliputi data hasil survey wawancara kepada pihak owner, kontraktor maupun konsultan.

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh penyusun berupa informasi tertulis atau bentuk dokumen lainnya yang berupa informasi tertulis atau bentuk dokumen lainnya yang berhubungan dengan rencana proyek, seperti:

a) Deskripsi Bangunan

Direncanakan bangunan konstruksi Jembatan Sei Pare-Pare Kecil. Jembatan Sei Pare-Pare Kecil ini memiliki Panjang 30.6m.

b) Desain Bangunan

Gambar desain jembatan sebagaimana terlampir pada lampiran.

3.3 Proses Perhitungan Bangunan Atas Jembatan

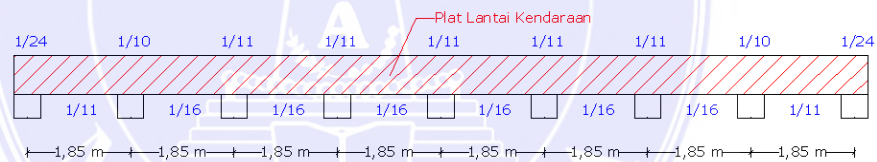
Berikut adalah proses perhitungan perencanaan jembatan Beton Prategang:

a. Perhitungan pembebanan :

- Beban Mati (berat gelagar, diafragma, deck slab, pelat lantai, perkerasan)
- Beban Mati Tambahan (pelapisan perkerasan ulang, rambu lalu lintas, pengaman lalu lintas)
- Beban Lalu lintas (Beban T, Lajur D, beban garis KEL)
- Beban Sementara (Rem, gempa, angin, hujan)

b. Perhitungan struktur pengaman (parapet): Mengikuti aturan Standar bangunan pengaman tepi (SNI 013 / S /BNKT / 1990).

c. Perhitungan struktur pelat lantai :



d. Perhitungan struktur diafragma:

- Asumsi awal dimensi
- Hitung beban sendiri diafragma
- Diafragma dan girder dianggap sebagai 1 kesatuan struktur yang menahan beban semua beban. Dicari M_{max} dan D_{max} pada diafragma dengan kondisi pembebanan penuh dan penuh sebagian.
- Hitung tegangan pada beton pada kondisi awal & kondisi akhir
Tegangan dan gaya pratekan pada tendon (T_i).

- Hitung kebutuhan tendon
- Hitung tulangan pelat diafragma akibat berat sendiri diafragma.

e. Perhitungan struktur Gelagar Balok 'I':

- Penentuan Spesifikasi dan dimensi berdasar bentang dan ketersediaan di pasaran,
- Hitung analisa Penampang untuk menghitung tahanan momen (S_t dan S_b) gelagar.
- Hitung Momen dan Lintang akibat berbagai beban sampai setengah bentang
- Analisa Gaya Pratekan (T_i):
 - a) Tentukan tegangan batas penampang pada 4 kasus
 - b) Hitung tegangan penampang pada 4 kasus
 - c) Hitung tegangan pada garis pusat berat gelagar (σ_{cgc})
 - d) Mencari gaya pratekan pada tiap kasus ($T_i = \sigma_{cgc} * A$)
 - e) Mencari eksentrisitas tendon tiap kasus

$$\sigma_b = \frac{T_i}{A_{(p)}} + \frac{T_i \cdot e}{S_{(b)}} = \sigma_{cgc} + \frac{T_i \cdot e}{S_{(b)}}$$

$$e = \frac{S_{(b)}}{T_i} * (\sigma_b - \sigma_{cgc})$$

- Buat grafik hubungan T_i dan eksentrisitas tendon
- Tentukan nilai T_i dan e yang masuk pada daerah 'aman'(di antara 4 kasus tadi)
- Penentuan jenis dan jumlah ikatan kawat (*strand*) untuk tendon

$$A_s = \frac{T_i}{0.7 * f_{pu}} ; n = \frac{A_s}{A_{nominal}}$$

- Penentuan jumlah tendon dan Tipe angkur.(Lihat buku Beton Prategang ; T.Y. Lin)
- Hitung kehilangan tegangan gaya prategang (perpendekan elastic beton/ES, Rangkak Beton/CR, Susut Beton (SH), Relaksasi Baja/RE)

$$ES = n * T_i' / A_c ; CR = Kcr \frac{ES}{Ec} (f_{cir} - f_{c ds})$$

$$SH = 8,2 * 10^{-6} * Ksh * Es * (1 - 0,06 \frac{V}{S} * (100 - RH))$$

$$RE = [Kre - J (SH + CR + ES)]C$$

$$E = (ES + CR + SH + RE) / \text{Teg. tendon} * 100\%$$

$$R = 100 - E$$

- Kontrol tegangan kondisi awal dan akhir.
- Daerah aman Kabel Prategang (cek eksentrisitas tendon pada serat atas dan bawah saat kondisi awal dan akhir)
- Lay Out Tendon (hitung koordinat lengkungan tendon dan duct)
- Hitung Perpanjangan Kabel untuk tiap tendon :

- a) Akibat lenturan Beton

$$\Delta L = (f_{si} * L') / Es$$

- b) Akibat Elastisitas Beton

$$\Delta L = (\sigma_b' * L') / Ec$$

- c) Akibat Elastisitas Beton

$$\Delta L = (Eb * L')$$

- Kontrol Terhadap Lendutan

$$\left(\delta_6 = \frac{5}{384} * \frac{q \cdot L^4}{E_c \cdot I_x} + \frac{1}{48} * \frac{P \cdot L^3}{E_c \cdot I_x} \right); \delta_{ijin} = 1/300 * L :$$

- a) Akibat gaya Prategang Awal (Ti) δ_1
 - b) Akibat gaya Prategang Akhir (R*Ti) δ_2
 - c) Akibat berat sendiri balok gelagar δ_3
 - d) Akibat Berat Diafragma δ_4
 - e) Akibat beban mati tambahan δ_5
 - f) Akibat beban Hidup δ_6
 - g) Total lendutan pada kondisi awal = $\delta_1 + \delta_3$
 - h) Total lendutan pada kondisi akhir = $\delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_5 + \delta_6$
- Perencanaan Tulangan Balok Prategang

