

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Jembatan

Jembatan merupakan suatu bangunan struktur yang berfungsi untuk meneruskan jalan dari satu tempat ke tempat yang lain yang terhalang oleh rintangan berupa sungai, lembah, perlintasan kereta api, teluk, selat atau laut bahkan jalan raya yang lain. Adapun fungsi dari jembatan yaitu sama dengan jalan yang melintasinya yakni prasarana penghubung atau meneruskan pergerakan lalu lintas barang dan jasa, secara langsung dan ekonomis sehingga akan menambah nilai efisiensi produksi barang tersebut.

2.2 Pembebanan Jembatan

2.2.1 Aksi dan beban tetap

A. 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. Faktor beban untuk beban sendiri dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari 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. Berat isi untuk beban mati dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Berat isi untuk beban mati [kN/ m³]

No.	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1.	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22	2245
2.	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71	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	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	$22 + 0,022 f'$	$2240 + 2,29 f'$
8.	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9.	Kayu (ringan)	7,8	800
10.	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11	1125

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

B. Beban Mati Tambahan / Ultimit (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 dengan ketentuan pada Tabel 2.3 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap

beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

Faktor beban untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,0	0,7
	Khusus (terawasi)	1	1,4	0,8

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar rencana.

C. Beban akibat tekanan tanah (TA)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari γ_s dan nilai rencana dari c serta ϕ_f .

Nilai-nilai rencana dari c serta ϕ_f diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti yang tercantum pada Tabel 2.1.

Faktor beban akibat beban tekanan tanah dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Faktor beban akibat tekanan tanah

Tipe beban	Faktor beban (γ_{TA})			
	Kondisi Batas Layan (γ_{TA}^S)		Kondisi Batas Ultimit (γ_{TA}^U)	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertical	1	1,25	0,8
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1	1,25	0,8
	- Pasif	1	1,4	0,7
	- Diam	1	(1)	

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

D. Pengaruh tetap pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai. Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.5.

Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

2.2.2 Beban lalu lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban truk "T" adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak. pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk "T" diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

A. Lajur lalu lintas rencana

Secara umum, Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Perencana harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan dimasa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan dapat dilihat pada tabel 2.5.

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
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: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

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.

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

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

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left[0,5 + \frac{15}{L} \right] \text{ kPa}$$

dengan pengertian :

q = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan.

L = Panjang total jembatan yang dibebani (meter).

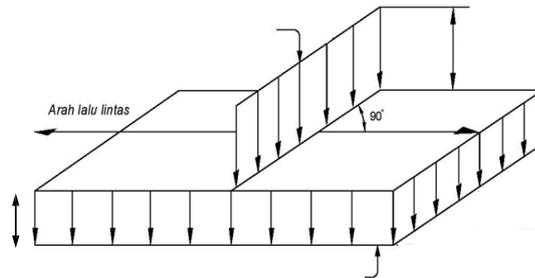
Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat 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	1,8
	Boks Girder	1	2
	Baja		

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada gambar 2.1

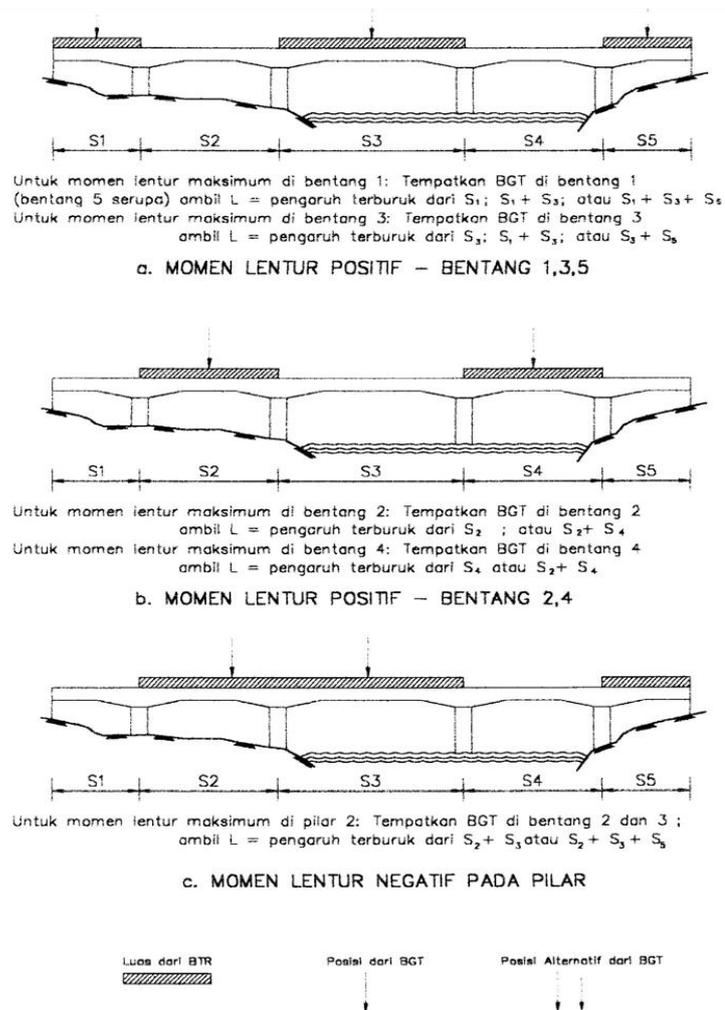


Gambar 2.1 Beban Lajur “D”

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

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 2.1. Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Alternatif penempatan beban “D” dalam arah memanjang

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

C. Beban truk "T" (TT)

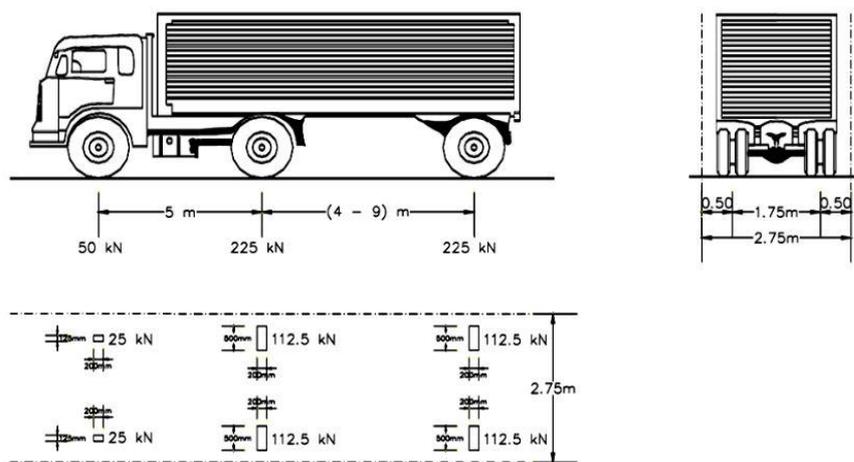
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban “T” seperti terlihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor beban akibat beban truck "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1	1,8
	Boks Girder Baja	1	2

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Untuk pembebanan *truck* sendiri bisa dilihat pada gambar 2.3.

**Gambar 2.3** Pembebanan truk "T" (500 kN)

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.3. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, umumnya hanya ada satu kendaraan truk "T" yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk "T" ini harus

ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam Gambar 2.3. 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.

Ketentuan pasal ini tidak boleh digunakan untuk perencanaan keadaan batas fatik dan fraktur, dimana hanya satu jalur rencana yang diperhitungkan dan tidak tergantung dari jumlah total lajur rencana. Jika perencana menggunakan faktor distribusi beban kendaraan untuk satu lajur, maka pengaruh beban truk harus direduksi dengan faktor 1,20. Tetapi jika ada perencana menggunakan *lever rule* atau metode statika lainnya untuk mendapatkan faktor distribusi beban kendaraan, maka pengaruh beban truk tidak perlu direduksi.

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

1. Dapat digunakan saat meneliti jika hanya satu jalur terisi,
2. 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: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Untuk tujuan menentukan jumlah lajur ketika kombinasi pembebanan mencakup beban pejalan kaki dengan satu atau lebih lajur kendaraan, maka perencana harus menentukan bahwa beban pejalan kaki akan mengisi salah satu lajur kendaraan. Faktor-faktor yang ditentukan dalam Tabel 2.9 tidak boleh digunakan untuk menentukan faktor

distribusi beban kendaraan. Dalam hal ini perencana harus menggunakan *lever rule* untuk menentukan beban yang bekerja pada balok eksterior.

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.

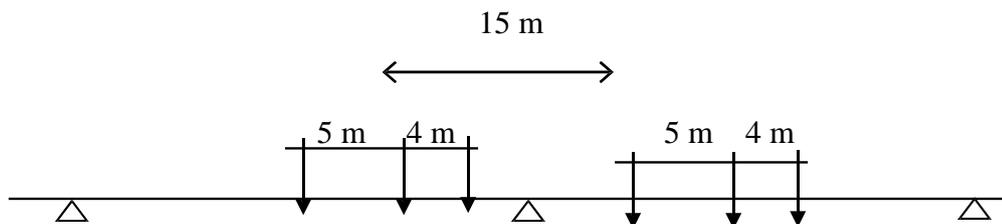
Kecuali ditentukan lain, pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari :

1. Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD), atau
2. 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 (Gambar 2.3), dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m. Kecuali ditentukan lain, pengaruh beban hidup pada waktu menentukan momen positif harus diambil nilai yang terbesar dari :

1. Pengaruh beban truk dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD),
atau
2. 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 (Gambar 2.4), dengan jarak antara gandar tengah dan gandar belakang adalah 4 m.



Gambar 2.4 Penempatan beban truk untuk kondisi momen negatif maksimum

D. Klasifikasi pembebanan lalu lintas

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.

- 1) Faktor sebesar 70% ini diterapkan untuk BTR dan BGT yang tercantum dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT.
- 2) Faktor pengurangan sebesar 70% tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

Dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan "D" dapat diperbesar di atas 100% untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat. Faktor pembesaran di atas 100% ini diterapkan untuk BTR dan BGT dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT. Faktor pembesaran di atas 100 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T" atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

E. Faktor beban dinamis

Beban statis truk rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD berdasarkan Gambar 2.5. Gaya sentrifugal dan gaya rem tidak perlu diperbesar. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata BTR.

Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk:

- 1) Dinding penahan yang tidak memikul reaksi vertikal dari struktur atas jembatan, dan
- 2) Komponen fondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah.

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari

pembebanan lajur “D” tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan "D": FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 2.5. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

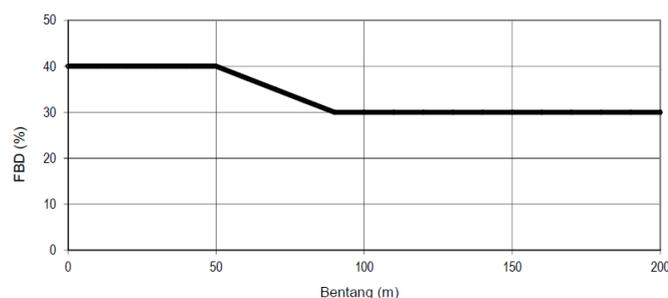
$$L_E = \sqrt{L_{av} - L_{max}}$$

Keterangan :

L_{av} : panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.

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

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



Gambar 2.5 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”
(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Faktor beban dinamis dalam persen untuk gorong-gorong dan struktur yang terkubur lainnya harus diambil sebagai berikut:

$$FBD = 33 \times (300 - 0,125 D_E) \geq 0\%$$

Keterangan :

D_E = kedalaman timbunan minimum di atas struktur (mm)

F. Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 1) 25% dari berat gandar truk desain atau,
- 2) 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana dan berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing - masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

G. 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 :

$$C = f \frac{V^2}{gR_l}$$

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_l adalah jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m).

Kecepatan rencana jalan raya harus diambil tidak kurang dari nilai yang ditentukan dalam Perencanaan Geometrik Jalan Bina Marga. Faktor kepadatan lajur berlaku pada waktu menghitung gaya sentrifugal. Gaya

sentrifugal harus diberlakukan secara horizontal pada jarak ketinggian 1800 mm diatas permukaan jalan.

H. Pembebanan untuk pejalan kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

2.2.3 Aksi lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat. Perencana mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus diperhitungkan dalam perencanaan.

A. Penurunan (ES)

Tabel 2.10 Faktor beban akibat penurunan

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan dapat dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai dengan Tabel 2.10.

B. Beban angin

Tabel 2.11 Faktor Beban Akibat Beban Angin

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_s EW$	$K_u EW$
Transien	1,0	1,2

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Pasal ini tidak berlaku untuk jembatan yang besar atau penting, seperti yang ditentukan oleh Instansi yang berwenang.

Gaya nominal ultimit dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana sebagai berikut:

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \text{ [kN]}$$

dengan pengertian :

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

C_w = koefisien seret (Tabel 2.12)

A_b = luas koefisien bagian samping jembatan (m²)

Kecepatan angin rencana harus diambil seperti yang diberikan Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Kecepatan angin rencana V_w

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horisontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

$$T_{EW} = 0,0012 C_w (V_w) 2Ab \text{ [kN]}$$

dengan pengertian :

$$C_w = 1.2$$

Tabel 2.12 Koefisien seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: (1), (2)	
$b/d = 1.0$	2.1 (3)
$b/d = 2.0$	1.5 (3)
$b/d \geq 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
CATATAN (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran masif	
CATATAN (2) Untuk harga antara dari b / d bisa di interpolasi linier	
Tipe Jembatan	C_w
CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan kenaikan maksimum 2,5%	

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

C. Beban Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

E_Q adalah gaya gempa horizontal statis (kN).

C_{sm} adalah koefisien respons gempa elastis.

R_d adalah faktor modifikasi respons.

W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN).

Koefisien respons elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan.

Faktor beban akibat pengaruh gempa dapat diambil pada tabel 2.13.

Tabel 2.13 Faktor Beban Akibat Pengaruh Gempa

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_s EQ$	$K_u EQ$
Transien	FAKTOR BEBAN	
	Tak dapat digunakan	1,0

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

1.2.4 Aksi lainnya

A. Gesekan pada perletakan

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan hanya beban tetap, harga rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer). Untuk mengetahui faktor beban akibat gesekan pada perletakan dapat dilihat pada tabel 2.18.

Tabel 2.14 Faktor beban akibat gesekan pada perletakan

Jangka waktu	Faktor beban		
	γ_{BF}^S	γ_{BF}^U	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1	1,3	0,8
CATATAN (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas, tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.			

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan "beban lajur D", dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada trotoar.

2.2.5 Kombinasi beban

Beberapa kombinasi beban mempunyai probabilitas kejadian yang rendah dan jangka waktu yang pendek. Untuk kombinasi yang demikian maka tegangan yang berlebihan diperbolehkan berdasarkan prinsip tegangan kerja. Tegangan berlebihan yang diberikan dalam Tabel dibawah adalah sebagai presentase dari tegangan kerja yang diizinkan. Untuk mendapatkan kombinasi pembebanan dapat dilihat pada 2.15.

Tabel 2.15 Kombinasi pembebanan

No	Aksi	Kombinasi No.						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Aksi Tetap	X	X	X	X	X	X	X
2	Beban lalu lintas	X	X	X	X	-	-	X
3	Pengaruh temperatur	-	X	-	X	-	-	-
4	Arus /hanyutan/hidro/daya apung	X	X	X	X	X	-	-
5	Beban angin	-	-	X	X	-	-	-

6	Pengaruh gempa	-	-	-	-	X	-	-
7	Beban tumbukan	-	-	-	-	-	-	X
8	Beban pelaksanaan	-	-	-	-	-	X	-
Tegangan berlebihan yang diperoleh r_{os}		Ni 1	25%	25%	40%	50%	30%	50%

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

2.3 Peraturan Beton Jembatan

2.3.1 Syarat umum perencanaan struktur beton

Umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun. Namun untuk jembatan penting dan/atau berbentang panjang, atau yang bersifat khusus, disyaratkan umur rencana 100 tahun.

1. Beton

Bila tidak disebutkan lain dalam spesifikasi teknik, kuat tekan harus diartikan sebagai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Dalam segala hal, beton dengan kuat tekan (benda uji silinder) yang kurang dari 20 MPa tidak dibenarkan untuk digunakan dalam pekerjaan struktur beton untuk jembatan, kecuali untuk pembebanan yang tidak dituntut persyaratan kekuatan. Dalam hal komponen struktur beton prategang, sehubungan dengan pengaruh gaya prategang pada tegangan dan regangan beton, baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 30 MPa.

Kuat tarik langsung dari beton, f_{ct} , bisa diambil dari ketentuan,

- $0,33 \sqrt{f_c}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

Kuat tarik lentur beton, f_{cf} , bisa diambil sebesar,

- $0,6 \sqrt{f_c}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

Tegangan tekan dalam penampang beton, akibat semua kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur dan aksial tekan, tidak boleh

melampaui nilai $0,45 f_c'$, di mana f_c' adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa.

2. Tulangan baja prategang

Kuat tarik baja prategang, f_{pu} , harus ditentukan dari hasil pengujian, atau diambil sebesar mutu baja yang disebutkan oleh fabrikator berdasarkan sertifikat fabrikasi yang resmi.

Kuat leleh baja prategang, f_{py} , harus ditentukan dari hasil pengujian atau dianggap sebagai berikut :

- a. Untuk kawat baja prategang : $0,75 f_{pu}$,
- b. Untuk semua kelas *strand* dan tendon baja bulat : $0,85 f_{pu}$.

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi batas layan tidak boleh melampaui nilai berikut :

- a. Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar : $0,70 f_{pu}$.
- b. dan untuk kondisi layan, sebesar : $0,60 f_{pu}$.

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi transfer tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. Akibat gaya penjangkaran tendon, sebesar $0,94 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,85 f_{pu}$ atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabrikator pembuat tendon prategang atau jangkar.
- b. Sesaat setelah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar $0,82 f_{py}$, tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$.

Modulus elastisitas baja prategang, E_p , bisa diambil sebesar:

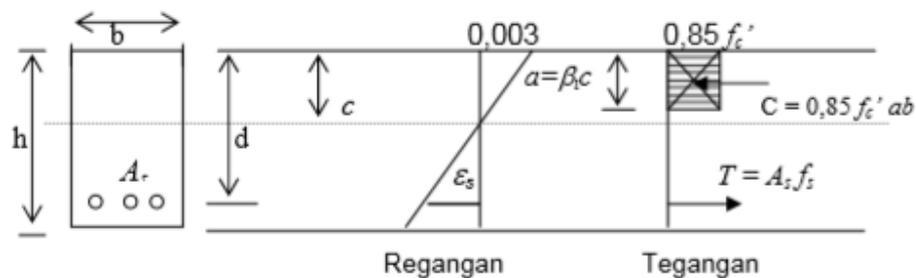
- a. untuk kawat tegang-lepas : 200×10^3 MPa;
- b. untuk *strand* tegang-lepas : 195×10^3 MPa;
- c. untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi : 170×10^3 MPa;

2.3.2 Perencanaan kekuatan struktur beton bertulang

Kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimit atau cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT).

Hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang diasumsikan bahwa egangan beton = $0,85 f_c'$ terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi tertekan terluar dari penampang dan suatu garis yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta l c$ dari tepi tertekan terluar tersebut.

Jarak c dari tepi dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus sumbu tersebut. Regangan dan tegangan pada penampang beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Regangan dan tegangan ada penampang beton bertulang
Faktor β_1 harus diambil sebesar:

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' < 30 \text{ MPa (5.1-1)}$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30) \text{ untuk } f_c' > 30 \text{ MPa (5.1-2)}$$

tetapi β_1 pada persamaan 5.1-2 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Jarak tulangan harus cukup memadai untuk penempatan penggetar dan memungkinkan ukuran terbesar dari agregat kasar dapat bergerak saat digetarkan.

Jarak bersih minimum antara tulangan sejajar, seikat tulangan dan sejenisnya tidak boleh kurang dari:

- a. 1,5 kali ukuran nominal maksimum agregat; atau
- b. 1,5 kali diameter tulangan; atau
- c. 40 mm

Jarak bersih antara tulangan yang sejajar dalam lapisan tidak boleh kurang dari 1,5 kali diameter tulangan atau 1,5 kali diameter seikat tulangan.

Tulangan geser dapat terdiri dari sengkang segi empat yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, jaring kawat baja las dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur. Batas jarak antar tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ atau 600 mm.

2.4 Pondasi

2.4.1 Pengertian pondasi

Pondasi adalah suatu bagian dari bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, dan berfungsi pendistribusi beban bangunan ke tanah. Beton bertulang adalah material yang paling cocok sebagai pondasi untuk struktur beton bertulang itu sendiri, bangunan baja, jembatan, menara, dan struktur lainnya. Beban dari kolom yang bekerja pada fondasi ini harus disebar ke permukaan tanah yang cukup luas sehingga tanah dapat memikul beban dengan aman. Jika tegangan tekan melebihi tekanan yang diizinkan, maka dapat menggunakan bantuan tiang pancang untuk membantu memikul tegangan tekan pada dinding dan kolom pada struktur.

2.4.2 Jenis pondasi

Secara garis besar fondasi dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. Pondasi dangkal

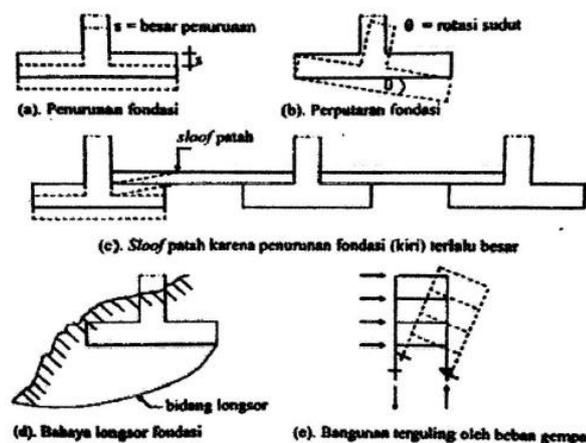
Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung beban secara langsung. Pondasi dangkal disebut pondasi langsung, pondasi ini digunakan apabila lapisan tanah pada dasar pondasi yang mampu mendukung beban yang dilimpahkan terletak tidak dalam

2. Pondasi dalam adalah fondasi yang didirikan dipermukaan tanah dengan kedalaman tertentu dimana daya dukung dasar fondasi dipengaruhi oleh beban struktural dan kondisi permukaan tanah. Fondasi dalam biasanya dipasang pada kedalaman lebih dari 3 m di bawah elevasi permukaan tanah. Fondasi dalam dapat dijumpai dalam bentuk fondasi tiang pancang, dinding pancang dan caissons atau fondasi kompensasi.

2.4.3 Penurunan pondasi

Penurunan di atas tanah keras tidak perlu diperhitungkan. Sedangkan untuk tanah-tanah yang lain harus diperiksa penurunannya dengan menggunakan pembebanan yang mendekati keadaan batas pada kemampuan daya layannya. Pergeseran pondasi dapat diakibatkan karena pergerakan total seluruh pondasi atau sebagai pergerakan diferensial. Tiga tipe utama pergerakan pondasi yang harus dipertimbangkan adalah:

- 1) Penurunan.
- 2) Pergerakan horisontal (geser).
- 3) Terguling (rotasi).



Gambar 2.7 Pertimbangan Keamanan Pondasi

2.4.4 Daya dukung tanah

Jenis dan besar kecilnya ukuran pondasi sangat ditentukan oleh kekuatan/daya dukung tanah dibawah pondasi tersebut. Sebagai contoh untuk jenis pondasi telapak tunggal, semakin kuat daya dukung tanah, semakin kecil ukuran pondasi yang akan direnakan. Sebaliknya, semakin lemah daya dukung tanah, semakin besar ukuran pondasi yang akan direncanakan.

Kekuatan/daya dukung tanah pada umumnya dapat diketahui melalui berbagai usaha berikut :

1. Peraturan bangunan setempat yang dikeluarkan oleh lembaga terkait

2. Pengalaman tentang pembuatan pondasi yang sudah ada, atau keterangan yang berkaitan dengan pondasi disekitarnya.

a. Daya dukung tiang pancang berdasarkan kekuatan material

Daya dukung tiang pancang berdasarkan leluatan materialnya merupakan bagian sangat penting dalam perencanaan tiang pancang.

Perhitungan daya dukung berdasarkan kekuatan materialnya bisa terlihat dalam rumus :

Kuat tekan beton	(f_c')
Tegangan ijin beton	(f_c) = $0.3 \times f_c \times 1000$
Luas tampang tiang pancang	(A) = $\pi / 4 \times D^2$
Panjang tiang pancang	(L)
Berat tiang pancang	(W) = $A \times L \times W_c$
Daya dukung ijin tiang pancang	(P_{ijin}) = $A \times f_c - W$

b. Daya dukung pondasi berdasarkan nilai SPT

SPT (*Standard Penetration Test*)Sering kali digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung dsi lokasi. SPT merupakan tes dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukan tabung sample berdiameter dalam 35 mm sedalam 305 mm dengan menggunakan massa pendorong (Palu) seberat 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760mm. banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukan tabung sample sedalam 305 mm dinyatakan sebagai nilai N.

Pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) adalah pengujian yang dilakukan dengan menggunakan penumbuk seberat 63,5 kg yang dijatuhkan bebas setinggi 75 cm. Pelaksanaan SPT dilakukan sesuai standar ASTM D 1586. Jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk memasukka N 30 cm terakhir dari tabung SPT merupakan nilai N_{SPT} .

Nilai SPT hasil pengujian (N)

Daya dukung ijin tiang pancang

- 1) Pasir halus (Q_{ull}) = $40 \times N \times L/B$, dan
(Q_{ull}) = $400 \times N'$

- 2) Pasir Kasar (Q_{ull}) = $40 \times N \times L/B$, dan
 (Q_{ull}) = $300 \times N'$

Daya dukung ijin tiang bor

- 1) Pasir halus (Q_{ull}) = $12 \times N \times L/B$, dan
 (Q_{ull}) = $130 \times N'$

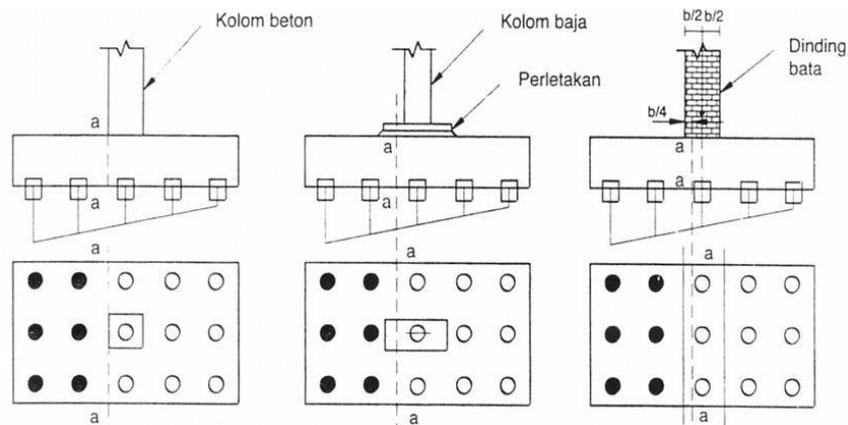
Luas penampang tiang pancang (A) = $\pi/4 \times D^2$

Angka aman (S_f) = 3

Daya dukung ijin tiang pancang (P_{ijin}) = $(A \times Q_{ull})/S_f$

2.5 Pile Cap

Pile cap berfungsi untuk mengikat tiang-tiang menjadi satu kesatuan dan memindahkan beban kolom kepada tiang. *Pile cap* biasanya terbuat dari eton bertulang.



Gambar 2.8 Pile cap

2.6 Abutment/Pier

Abutment merupakan struktur bawah jembatan yang berfungsi untuk memikul semua beban yang bekerja pada bangunan atas jembatan, serta berfungsi untuk meneruskan beban yang dipikul bangunan atas kelapisan tanah dasar dengan aman sekaligus sebagai bangunan penahan tanah serta menerima tekanan dan diteruskan ke pondasi. Dalam perencanaan abutment, selain beban-beban yang bekerja juga diperhatikan pengaruh kondisi lingkungan seperti

angin, aliran air, gempa, dan penyebab-penyebab alam lainnya. Selain itu faktor pemilihan bentuk atau jenis abutment yang digunakan juga harus diperhatikan dengan teliti.

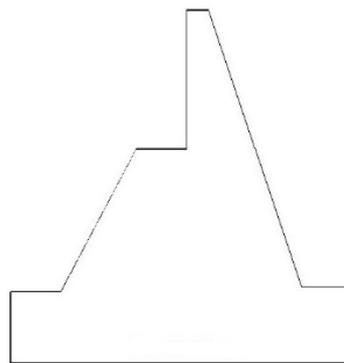
Pemeriksaan kestabilan abutmen meliputi :

1. kontrol daya dukung tanah
2. kontrol abutmen terhadap gaya geser
3. kontrol abutmen terhadap guling

Adapun jenis-jenis abutment terdiri dari beberapa tipe atau bentuk yang umum, diantaranya adalah:

1. Abutment tipe Gravitasi

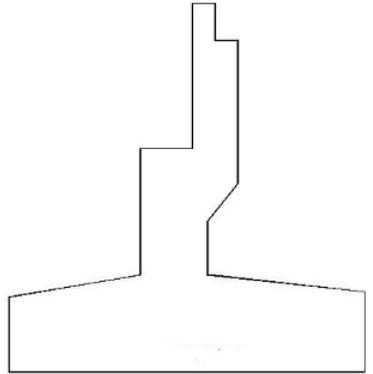
Memperoleh kekuatan dan ketahanan terhadap gaya-gaya yang bekerja dengan menggunakan berat sendiri. Karena bentuknya yang sederhana dan begitu juga dengan pelaksanaannya tidak begitu rumit. Abutment tipe ini sering digunakan pada struktur yang tidak terlalu tinggi dan tanah pondasinya yang baik.



Gambar 2.9 Abutment tipe gravitasi

2. Abutment tipe T terbalik

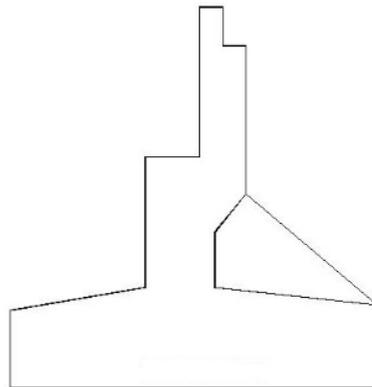
Merupakan tembok penahan dengan balok kantilever tersusun dari suatu tembok memanjang dan sebagai suatu plat kekuatan dari tembok. Ketahanan dari gaya-gaya yang bekerja diperoleh dari berat sendiri serta berat tanah diatas pelat tumpuan/tumit. Perbedaan abutment T terbalik dengan abutment tipe gravitasi terdapat pada kelangsingannya, dimana abutment tipe T terbalik lebih langsing dari pada abutment tipe gravitasi.



Gambar 2.10 Abutment tipe T terbalik

3. Abutment tipe dengan penopang

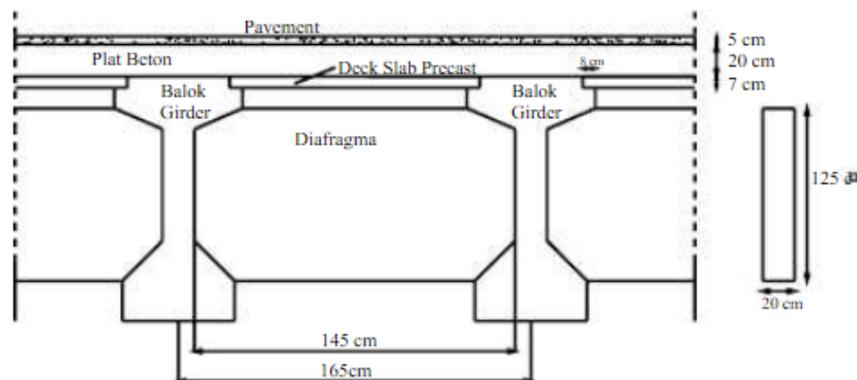
Abutment tipe ini hampir mirip dengan abutment tipe T terbalik, tetapi jenis abutment ini diberi penopang pada sisi belakangnya (*counterfort*) yang bertujuan untuk memperkecil gaya yang bekerja pada tembok memanjang dan pada tumpuan.



Gambar 2.11 Abutment tipe dengan penopang

2.7 Balok Diafragma

Diafragma adalah struktur bagian dari jembatan yang berfungsi sebagai pengikat antar balok Girder untuk memberikan kestabilan pada masing balok Girder dalam arah horizontal. Pengikatan tersebut dilakukan dalam bentuk pemberian stressing pada diafragma dan PCI Girder sehingga dapat bekerja sebagai satu kesatuan.



Gambar 2.12 Balok diafragma

2.8 Gelagar Beton Prategang

2.8.1 Beton prategang

Prinsip dasar beton prategang pertama kali dipatenkan oleh *P.H Jacson*, seorang insinyur dari *California* pada tahun 1872 yang menggunakan *tie rod* atau baja pengikat untuk mempersatukan blok – blok beton yang berbentuk lengkungan. Kemudian pada tahun 1888 *C.W Doehring* dari Jerman memperoleh paten untuk pemberian prategang pada slab dengan kawat – kawat metal.

Perkembangan beton prategang saat ini digunakan pada struktur bawah tanah, gedung, menara TV, struktur lepas pantai dan gudang apung. Stasiun pembangkit dan berbagai jenis sistem jembatan.

Pada beton bertulang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangan. Gaya tekan disebabkan oleh reaksi baja tulangan yang ditarik, mengakibatkan berkurangnya retak, elemen beton prategang akan lebih kokoh dari elemen beton bertulang biasa.

Gaya prategang berupa tendon yang memberikan tegangan awal sebelum memikul beban mati dan beban hidup yang berfungsi mengurangi tegangan tarik pada saat beton mengalami beban mati dan beban hidup, menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang.

Keuntungan dari beton prategang adalah dapat dipakai pada bentang – bentang yang besar, terhindar dari keretakan seperti tujuan dari pembuatan

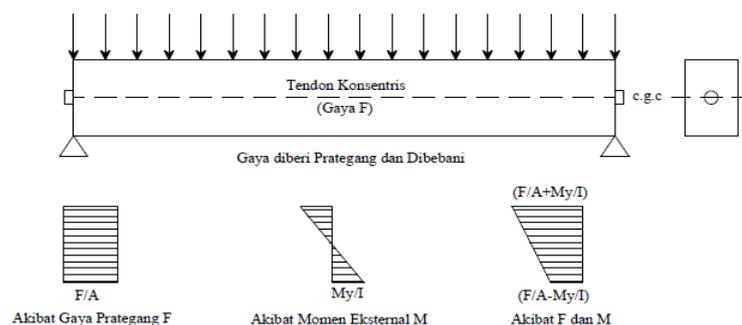
beton prategang itu sendiri penggunaannya dapat menghindarkan dari keretakan pada beton maupun bangunan secara keseluruhan dan lebih ekonomis apabila dipakai pada bentang – bentang yang besar.

2.8.2 Konsep dasar beton prategang

Menurut T.Y. Lin dan Burns (1982), Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut:

Konsep pertama, *system* prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis ini merupakan sebuah pemikiran dari *Eugene Frssnet* yang memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan getas menjadi bahan yang elastis yang memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu atau (pra-tekan) pada bahan tersebut. Dari konsep inilah lahir kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton.

Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang konsentris dapat dilihat pada gambar 2.9.



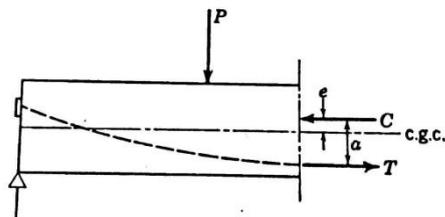
Gambar 2.9 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

(Sumber: Desain Struktur Beton Prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

Konsep kedua, *system* prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton bermutu tinggi. Konsep ini memperhitungkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton

bertulang, dimana baja menahan tarik dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kompel penahan untuk melawan momen eksternal.

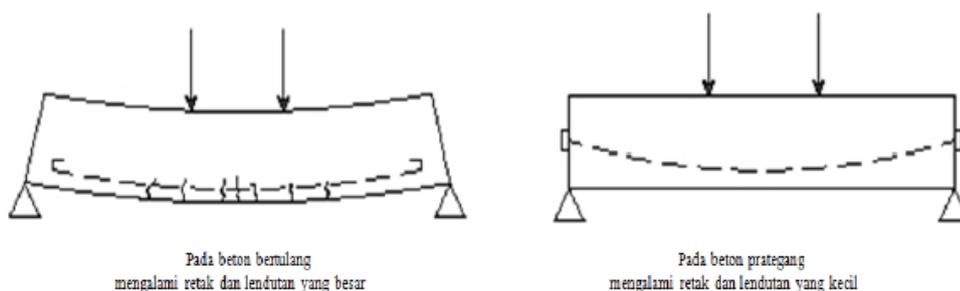
Pada beton prategang baja bermutu tinggi ditanam pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton disekitarnya dapat mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik sebelumnya (pratarik) terhadap beton. Untuk momen penahan internal pada balok beton prategang dan bertulang dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Momen Penahan Internal Pada Balok Beton Prategang Dan Bertulang

(Sumber: *Desain Struktur Beton Prategang, T Y Lin & Ned H Burns*)

Dengan menarik dan menjangkarkan baja ke tendon, menghasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan pada beton tekan, dan regangan tarik pada baja. Kombinasi ini memungkinkan penggunaan yang ekonomis dan aman dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja hanya ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Balok beton menggunakan baja mutu tinggi dapat dilihat pada gambar 2.11

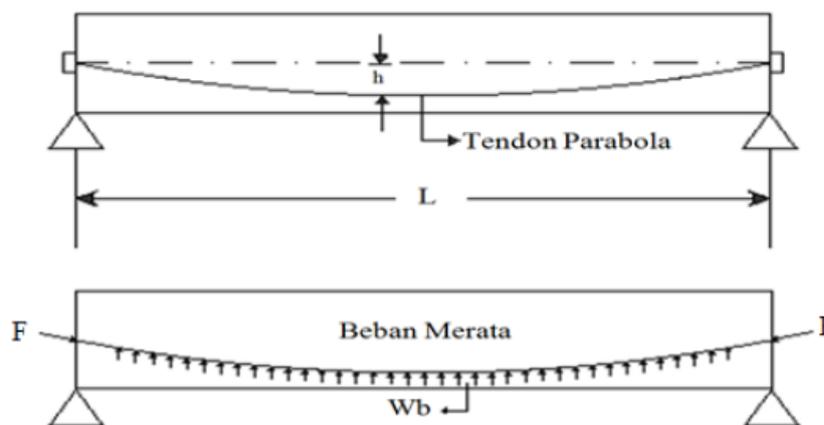


Gambar 2.11 Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi

(Sumber: *Desain struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns*)

Konsep ketiga, *system* prategang untuk mencapai keseimbangan beban. Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah balok. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti plat, balok, dan gelagar tidak mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

Balok prategang dengan tendon parabola dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Balok Prategang Dengan Tendon Parabola

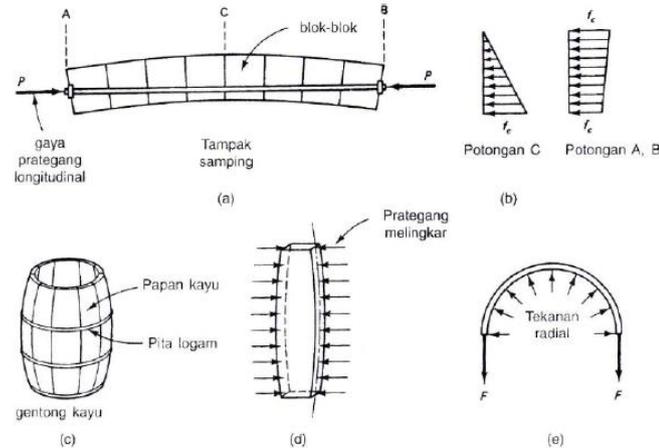
(Sumber: *Desain struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns*)

2.8.3 Prinsip dasar beton 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 berkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang tersebut.

Untuk mengetahui prinsip-prinsip prategang pada prategang linier dan melingkar dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Prinsip Prinsip Prategang Pada Prategang Linier Dan Melingkar

(Sumber: *Beton Prategang, Edward G.Nawi*)

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

Gaya prategang juga berupa tendon yang diberikan tegangan awal sebelum memikul beban kerjanya yang berfungsi mengurangi atau menghilangkan tegangan tarik pada saat beton mengalami beban kerja, menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang biasa.

Balok - balok beton bekerja bersama sebagai sebuah balok akibat pemberian gaya prategang tekanan P yang besar. Meskipun balok-balok tersebut tergelincir dalam arah vertikal mensimulasikan kegagalan gelincir geser pada kenyataan tidak demikian karena adanya gaya longitudinal P .

2.8.4 Baja prategang

Karena tingginya kehilangan rangkai dan susut pada beton, maka prategang efektif dapat dicapai dengan menggunakan baja dengan mutu yang sangat tinggi hingga 270.000 psi atau lebih (1862 Mpa atau lebih tinggi lagi). Baja bermutu tinggi seperti itu dapat mengimbangi kehilangan di beton

sekitarnya dan mempunyai taraf tegangan sisa yang dapat menahan gaya prategang yang dibutuhkan.

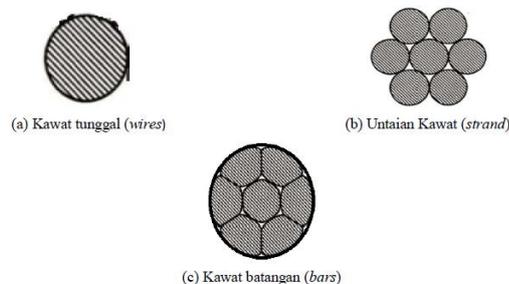
Besarnya kehilangan prategang normal dapat diperkirakan di dalam selang 35.000 sampai 60.000 psi (241 sampai 413 Mpa). Karena itu, prategang awal harus sangat tinggi, sekitar 180.000 sampai 220.000 psi (1241 sampai 1571 Mpa).

Dari besarnya kehilangan prategang yang disebutkan diatas, dapat disimpulkan bahwa baja normal dengan kuat leleh $f_y = 60.000$ psi (414 Mpa) hanya akan mempunyai sedikit tegangan prategang sesudah semua kehilangan prategang terjadi yang memperjelas keubtuhan penggunaan baja mutu tinggi untuk komponen struktur beton prategang.

Ada Baja tendon yang dipakai untuk beton prategang dalam prateknya ada tiga macam, yaitu.

- 1) Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan *system* pra-tarik (*Pre-tension*)
- 2) Kawat untaian (*strend*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan *system* pasca-tarik (*post-tension*)
- 3) Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan *system* pra-tarik (*Pre-tension*)

Untuk jenis-jenis baja yang dipakai untuk beton prategang dapat dilihat pada gambar 2.14



Gambar 2.14 Jenis-jenis Baja yang Dipakai Untuk Beton Prategang: (a) Kawat tunggal (*wires*). (b) untaian Kawat (*strand*). (c) Kawat batangan (*bars*)

(Sumber: *Prestressed Concrete Design*, MK. Hurst)

2.8.5 Sistem prategang dan pengankeran

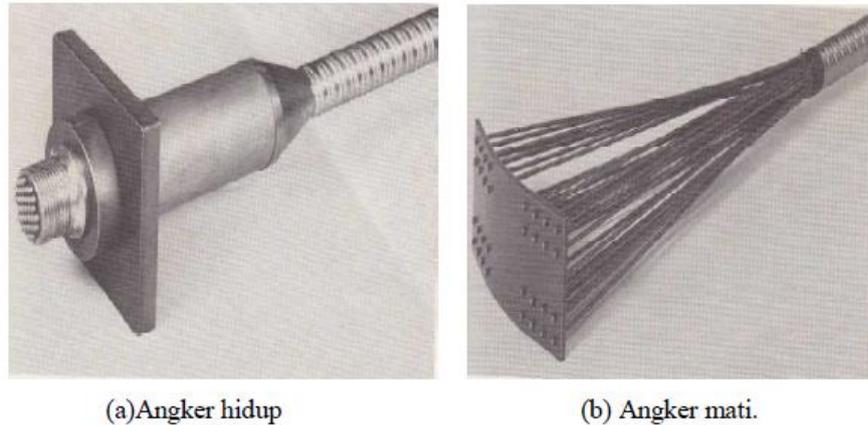
Sehubungan dengan perbedaan *system* untuk penarikan dan pengangkuran tendon, maka situasinya sedikit membingungkan dalam perancangan dan penerapan beton prategang. Seorang sarjana teknik sipil harus mempunyai pengetahuan umum mengenai metode-metode yang ada dan mengingatkannya pada saat menentukan dimensi komponen struktur, sehingga tendon-tendon dari beberapa system dapat ditempatkan dengan baik.

Berbagai metode dengan nama pratekanan (*pre-compression*) diberikan pada beton dapat dilakukan sebagai berikut:

- 1) Pembangkit gaya tekan antara elemen struktural dan tumpuan-tumpunya dengan pemakaian dongkrak (*flat jack*)
- 2) Pengembangan tekanan keliling (*hoop compression*) dalam struktur berbentuk silinder dengan mengulung kawat secara melingkar.
- 3) Pemakaian baja yang ditarik secara longitudinal yang ditanam dalam beton atau ditempatkan dalam selongsong.

Metode yang biasa dipakai untuk memberikan prategang pada beton struktural adalah dengan menarik baja ke arah longitudinal dengan alat penarik yang berbeda-beda.

Pengankeran ada 2 macam yaitu, anker mati dan anker hidup. Anker mati adalah anker yang tidak bisa dilakukan lagi penarikan setelah penegangan tendon dilakukan. Anker mati sering digunakan dalam prategang dengan sistem pratarik. Sedangkan anker hidup dapat dilakukan penarikan kembali jika hal itu diperlukan. Pengankeran ini sering dijumpai dalam prategang dengan sistem pascatarik, untuk mengetahui jenis pengankeran dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Jenis Pengangkeran

1) Sistem Pratarik (*Pre-tensioning*)

Didalam system pra-tarik (*pre-tensioning*), tendon lebih dahulu ditarik antara blok-blok anker yang kaku (*rigid*) yang dicetak diatas lantai atau didalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik. dan selanjutnya dicor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk serta ukuran yang diinginkan.

Metode ini digunakan untuk beton-beton pra-cetak dan biasanya digunakan untuk konstruksi-konstruksi kecil. Beton-beton pra-cetak biasanya ditemukan pada konstruksi-konstruksi bangunan kolom-kolom gedung, tiang pondasi atau balok dengan bentang yang panjang.

Adapun tahap urutan pengerjaan beton *pre-tension* adalah sebagai berikut kabel tendon dipersiapkan terlebih dahulu pada sebuah anker yang mati (*fixed anchorage*) dan sebuah anker yang hidup (*live anchorage*). Kemudian *live anchorage* ditarik dengan dongkrak (*jack*) sehingga kabel tendon bertambah panjang. Jack dilengkapi dengan manometer untuk mengetahui besarnya gaya yang ditimbulkan oleh *jack*. Setelah mencapai gaya yang diinginkan beton dicor.

Setelah beton mencapai umur yang cukup, kabel perlahan-lahan dilepaskan dan kedua anker dan dipotong. Kabel tendon akan berusaha kembali ke bentuknya semula setelah penambahan panjang

yang diakibatkan oleh penarikan pada awal pelaksanaan. Hal inilah yang menyebabkan adanya gaya tekan internal pada beton.

Oleh karena sistem pra-tarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan tendon sekelilingnya. hal itu penting bahwa setiap tendon harus merekat sepanjang seluruh badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dan alas prapenarikan dan gaya prategang ditranfer ke beton.

2) Sistem Pascatarik (*Post-tensioning*)

Kebanyakan pelaksanaan *pre-stress* dilapangan dilaksanakan dengan metode *post-tensioning*. Pascatarik dipakai untuk memperkuat bendungan beton,prategang melingkar dan tangki-tangki beton yang besar, serta perisai-perisai biologis dan reaktor nuklir. Pascatarik (*Post-tensionig*) juga banyak digunakan konstruksi beton prategang segmental pada jembatan dengan bentang yang panjang.

Adapun metode dalam pelaksanaan pengerjaan beton pascatarik (*Post-tensioning*) adalah sebagai berikut, selongsong kabel tendon dimasukan dengan posisi yang benar pada cetakan beton beserta atau tanpa tendon dengan salah satu ujungnya diberi angkur hidup dan ujung lainnyn angkur mati atau kedua ujungnya dipasang angkur hidup.

Beton dicor dan dibiarkan mengeras hingga mencapai umur yang mencukupi. Selanjutnya, dongkrak hidrolik dipasang pada angkur hidup dan kabel tendon ditarik hingga mencapai tegangan atau gaya yang direncanakan. Untuk mencegah kabel tendon kehilangan tegangan akibat slip pada ujung angkur terdapat baji. Gaya tarik akan berpindah pada beton sebagai gaya tekan internal akibat reaksi angkur.

3) Prategang Termo-Listrik

Metode prategang dengan tendon yang dipanaskan,yang dicapai dengan melewati aliran listrik pada kawat yang bermutu tinggi,umumnya disebut sebagai “Prategang Termo-Listrik”. Prosesnya terdiri atas pemanasan batang dengan arus listrik sampai *temperature* 300-400 c selama 3 -5 menit.

Batang tersebut mengalami perpanjangan kira-kira 0,3 - 0,5 persen. Setelah pendinginan batang tersebut berusaha mempendek diri, perpendekan ini dicegah oleh jepitan angkur pada kedua ujungnya. Waktu pendinginan diperuntukan 12-15 menit.

4) Prategang Secara Kimia

Reaksi kimia dalam semen ekspansif dapat menegangkan baja yang ditanam yang kemudian menekan beton. Hal ini sering disebut dengan penegangan sendiri (*self-stressing*) atau disebut juga prategang kimiawi.

Bila semen ini digunakan untuk membuat beton dengan baja yang tertanam, maka baja akan mengalami pertambahan panjang sejalan dengan pengembangan beton tersebut. Oleh karena pengembangan beton dikekang oleh kawat baja bermutu tinggi, maka timbul tegangan tekan pada beton dan kawat baja mengalami tegangan tarik.

2.8.6 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.:

- 1) Beton prategang adalah suatu material yang elastis.
- 2) 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.
- 3) Suatu potongan datar sebelum melentur dianggap tetap datar meskipun sudah mengalami lenturan, yang menyatakan suatu distribusi regangan linier pada keseluruhan tinggi batang.

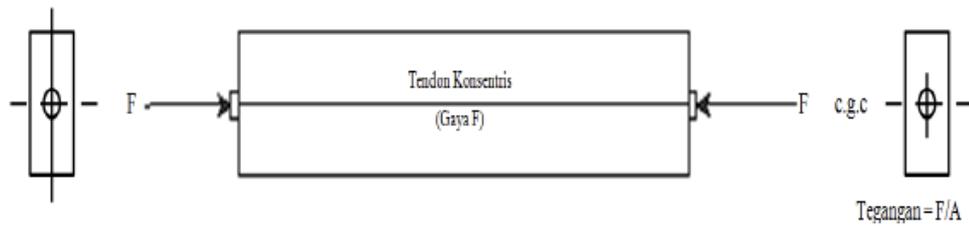
Selama tegangan tarik tidak melampaui batas modulus keruntuhan beton (yang sesuai dengan tahap retakan yang terlihat pada beton). setiap perubahan dalam pembebanan batang menghasilkan perubahan tegangan pada beton saja.

satu-satunya fungsi dan tendon prategang adalah untuk memberikan dan memelihara prategang pada beton.

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

1) Tendon Konsentris

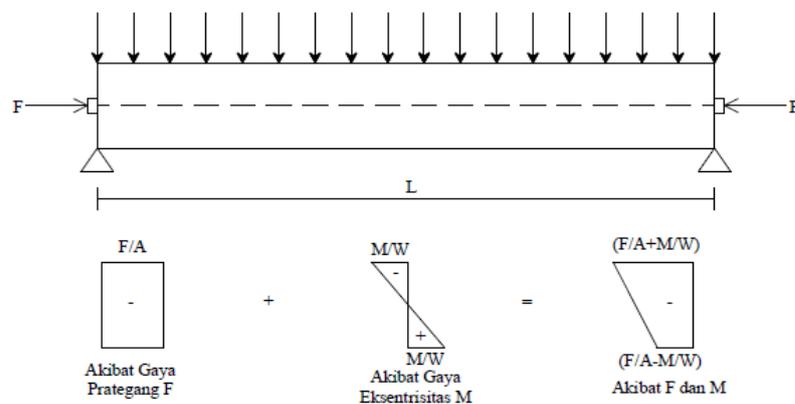
Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar 2.16.



Gambar 2.16 Prategang Konsentris

(Sumber: Beton Pratekan, N Krishna Raju)

Gambar di atas menunjukkan sebuah beton prategang tanpa eksentrisitas, tendon berada pada garis berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). Prategang seragam pada beton = F/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 lebih efektif dengan memakai tendon. Distribusi tegangan tendon konsentris dapat dilihat pada gambar 2.17.

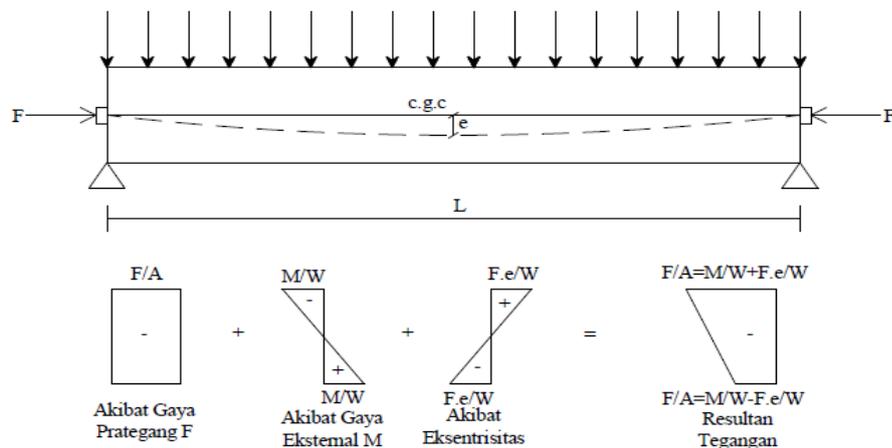


Gambar 2.17 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris

(Sumber: Beton Pratekan. N Krishna Raju)

2) Tendon *Exsentr*

Sebuah balok yang mengalami suatu gaya prategang eksentris sebesar P yang ditempatkan dengan eksentrisitas e . Tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton. Eksentrisitas tendon akan menambah kemampuan untuk memikul beban eksternal yang dapat dilihat pada gambar 2.18.

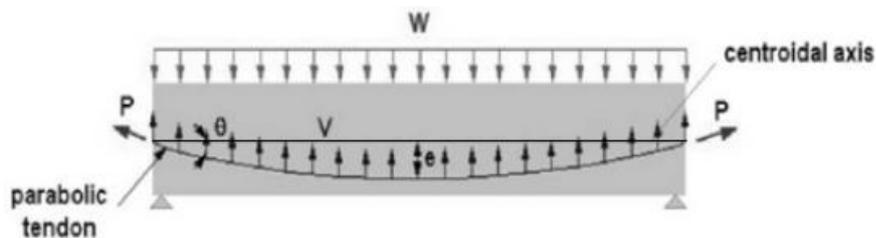


Gambar 2.18 Distribusi Tegangan Tendon Eksentris

Eksentrisitas akan menambah kemampuan untuk menerima atau memikul tegangan tarik yang lebih besar lagi pada serat bawah.

Prategangan juga menyebabkan perimbangan gaya-gaya dalam komponen beton prategang. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang *post-tension*.

Untuk gaya-gaya penyeimbang beban pada tendon parabola yang dapat dilihat pada gambar 2.19.

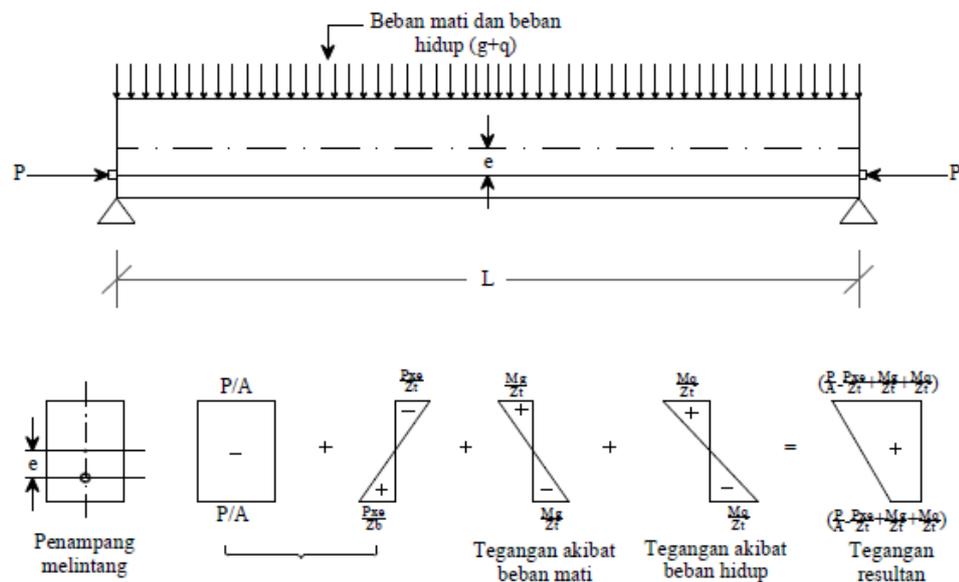


Gambar 2.19 Gaya-gaya Penyeimbang Beban Pada Tendon Parabola

3) 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 yang dapat dilihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20 Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris
Beban mati dan Beban Hidup

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

2.8.7 Kehilangan prategang

Gaya prategang akan mengalami pengurangan reduksi saat transfer (jangka pendek) atau saat *service* (jangka panjang). Kehilangan prategang saat transfer terjadi sesaat setelah penarikan tendon, sedangkan kehilangan saat *service* terjadi perlahan-lahan pada saat umur pelayanan dan karena pengaruh waktu.

Kehilangan pada saat transfer berupa:

- 1) Relaksasi kabel tendon
- 2) Dudukan angkur pada saat penyaluran gaya (slip)
- 3) Friksi akibat kelengkungan tendon pada post-tensioning

Kehilangan pada saat service berupa :

- 1) Perpendekan elastis beton
- 2) Rangkak beton
- 3) Susut beton

2.8.8 Desain penampang beton prategang terhadap lentur

Pada waktu pendesainan penampang beton prategang pada dasarnya dilakukan dengan cara coba-coba (*trial & error*). Ada kerangka struktur yang harus dipilih sebagai permulaan dan mungkin dimodifikasi pada waktu proses desain berlangsung. Ada berat sendiri komponen struktur yang mempengaruhi desain, tetapi harus diasumsikan sebelum melakukan perhitungan momen. Ada bentuk perkiraan penampang beton yang ditentukan oleh pertimbangan-pertimbangan praktis dan teoritis yang harus diasumsikan untuk percobaan. Karena adanya variabel-variabel ini, disimpulkan bahwa prosedur yang terbaik adalah suatu cara coba-coba yang berpedoman pada hubungan-hubungan yang diketahui sehingga memungkinkan diperolehnya basil akhir yang lebih cepat.

2.8.9 Modulus Penampang Minimum

Untuk mendesain dan memilih penampang, penentuan modulus penampang minimum yang dibutuhkan. S_b dan S_t harus dilakukan terlebih dahulu. Jika,

f_{ci} = Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan.

$$= 0,60f_{ci}$$

f_{ti} = Tegangan tarik izin maksimum di beton segera setelah transfer dan sebelum terjadi kehilangan

$$= 3\sqrt{F'ci} \text{ (nilai ini dapat diperbesar menjadi } 6\sqrt{F'ci} \text{ ditumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana)}$$

F_c = Tegangan tekan izin maksimum di beton 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 dipenuhi)

Maka tegangan serat ekstrim aktual di beton tidak dapat melebihi nilai-nilai yang dicantumkan di atas. Perhitungan tegangan dalam setiap tahapan pembebanan dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

1) Pada Saat Transfer

$$\text{Serat atas} \quad f_t = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^t} \leq f_t$$

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{ec_{tb}}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^b} \leq f_c$$

dimana P_i adalah gaya prategang awal. Meskipun nilai yang lebih akurat yang seharusnya digunakan adalah komponen horizontal dari P_i namun untuk semua tujuan praktis hal tersebut tidak diperlukan.

2) Tegangan Efektif Sesudah Kehilangan

$$\text{Serat atas} \quad f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^t} \leq f_t$$

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_{tb}}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^b} \leq f_c$$

3) Tegangan Akhir pada Kondisi Beban Kerja

$$\text{Serat atas} \quad f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S^t} \leq f_c$$

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_{tb}}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S^b} \leq f_t$$

dimana:

M_T = momen total

M_D = momen akibat berat sendiri

M_{SD} = momen akibat beban mati tambahan seperti lantai

M_L = momen akibat beban hidup termasuk beban kejutan dan gempa

- P_i = prategang awal
 P_e = prategang efektif sesudah kehilangan t menunjukkan serat atas dan b menunjukkan serat bawah
 e = eksentrisitas tendon dari pusat berat penampang beton.
 cgc
 $C_t \& C_b$ = jarak dari pusat berat penampang (garis cgc) ke serat atas dan serat bawah
 r^2 = kuadrat dan jari-jari girasi
 $S_t \& S_b$ = modulus penampang atas & modulus penampang bawah beton

2.8.10 Balok dengan eksentrisitas tendon bervariasi

Balok diberi prategang dengan tendon *harped* dan *draped*. Eksentrisitas maksimum biasanya terjadi di penampang tengah bentang yang menentukan untuk kasus balok bertumpuan sederhana. Dengan mengasumsikan bahwa gaya prategang efektif adalah :

$$P_e = \gamma P_i$$

dimana γ adalah rasio prategang residual, maka kehilangan prategang adalah

$$P_i - P_e = (1 - \gamma)P_i$$

Jika tegangan di serat beton aktual sama dengnn tegangan izin maksimum, maka perubahan tegangan ini sesudah kehilangan,

$$\Delta f'_t = (1 - \gamma) \left[f_{ti} + \frac{M_D}{S_t} \right] \dots$$

$$\Delta f'_b = (1 - \gamma) \left[-f_{ci} + \frac{M_D}{S_b} \right]$$

Pada saat momen akibat beban mati tambahan M_{SD} dan momen akibat beban hidup M_{SD} telah bekerja, tegangan netto diserat atas adalah,

$$f'_n = f_{ti} - \Delta f'_t - f_c$$

atau

$$f'_n = \gamma f_{ti} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_t} - f_c$$

Tegangan netto di serat bawah adalah

$$f'_{bn} = f_t - f_{ci} - \Delta f_b$$

atau

$$f_{bn} = f_t - \gamma f_{ci} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_b}$$

Penampang yang telah dipilih harus mempunyai modulus penampang

$$S^t \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} + M_L}{\gamma f_{ti} - f_c}$$

Dan

$$S_b \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} + M_L}{\gamma f_t - f_{ci}}$$

Eksentrisitas tendon prategang yang dibutuhkan di penampang kritis, seperti penampang tengah bentang, adalah

$$e_c = (f_{ti} - \bar{f}_{ci}) \frac{S^t}{P_i} + \frac{M_D}{P_i}$$

Dan ditumpuan adalah

$$e_c = (f_{ti} - \bar{f}_{ci}) \frac{S^t}{P_i}$$

dimana f_{ci} adalah tegangan beton pada saat transfer pada level pusat berat (cgc) penampang beton dan

$$P_i = \bar{f}_{ci} A_c$$

Jadi,

$$\bar{f}_{ci} = f_{ti} - \frac{e_t}{h} (f_{ti} - f_{ci})$$

2.8.11 Selubung untuk meletakkan tendon

Tegangan tendon di serat beton ekstrim pada kondisi beban kerja tidak dapat melebihi nilai izin maksimumnya berdasarkan standar-standar seperti ACI, PCI, AASHTO, atau CEB — FIB. Dengan demikian, zona yang membatasi di penampang beton perlu ditetapkan, yaitu selubung (*envelope*) yang didalamnya gaya prategang dapat bekerja tanpa menyebabkan terjadinya tarik di serat beton ekstrim. Dan persamaan didapatkan,

$$f' = 0 = \frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e c_t}{r^2} \right)$$

Untuk bagian gaya prategang saja. Sehingga, $-e = \frac{r^2}{c_t}$ Dengan demikian. titik kern bawah adalah

$$k_b = \frac{r^2}{c_t}.$$

Dengan cara yang sama. jika $f_b = 0$. didapat Sehingga, $e = \frac{r^2}{c_t}$ yang mana tanda negatif menunjukkan pengukuran ke arah bawah dari sumbu netral. karena eksentrisitas positif adalah ke arah bawah. Dengan demikian titik kern atas adalah

$$k_t = \frac{r^2}{c_b}.$$

Dari penentuan titik-titik atas dan bawah, jelaslah bahwa:

- 1) Jika gaya prategang bekerja di bawah titik kern bawah. tegangan tarik terjadi di serat ekstrim atas dari penampang beton.
- 2) Jika gaya prategang bekerja di atas titik kern atas. tegangan tarik terjadi di serat ekstrim bawah penampang beton.

2.8.12 Selubung eksentrisitas yang membatasi

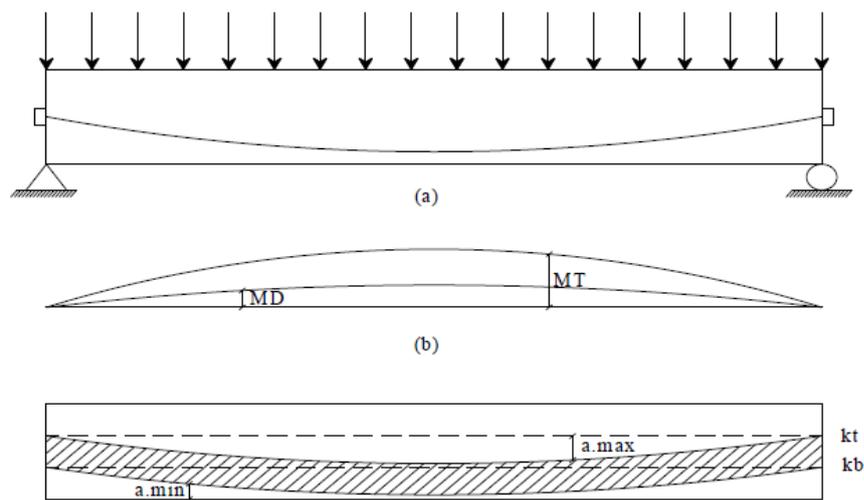
Eksentrisitas tendon yang didesain di sepanjang bentang diharapkan sedemikian hingga tarik yang terjadi di serat ekstrim balok hanya terbatas atau tidak ada sama sekali di penampang yang menentukan dalam desain. Jika tarik tidak dikehendaki sama sekali di sepanjang bentang balok dengan tendon berbentuk *draped*. maka eksentrisitasnya harus ditentukan di penampang-penampang berikut disepanjang bentang.

Jika M_D adalah momen akibat beban mati dan M_T adalah momen total akibat semua beban transversal. maka lengan dan kopel antara garis tekan pusat (garis C) dan pusat dari garis tendon prategang (garis cgs) akibat M_D dan M_T masing-masing adalah a_{\min} dan a_{\max} , seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

Selubung egs bawah, lengan minimum dari kopel tendon adalah

$$a_{min} = \frac{M_D}{P_i}$$

Untuk menentukan selubung egs dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Penentuan Selubung egs (a) Lokasi satu tendon (b) Gambar Bidang momen. (c) Batas-batas selubung egs

Persamaan ini mendefinisikan jarak maksimum di bawah kern bawah dimana garis egs ditentukan sedemikian hingga garis C tidak terletak di bawah garis kern bawah, sehingga mencegah terjadinya tegangan tarik di serat ekstrim atas.

2.9 Lantai Kendaraan

Lantai kendaraan adalah bagian tengah dari plat jembatan yang berfungsi sebagai perlintasan kendaraan. Lebar jalur kendaraan dibuat cukup untuk persimpangan dua buah kendaraan yang lebih besar sehingga kendaraan yang besar dapat melaluinya dengan leluasa.

1) Tebal pelat lantai

$T_s \geq 200 \text{ mm}$ (apabila melebihi 200 mm harus dipasang tulangan ganda)

$T_s \geq (100 + 40.l)$

Keterangan: T_s = Tebal pelat lantai
 l = Panjang antar gelagar melintang

Tulangan minimum harus dipasang untuk menahan tegangan tarik utama sebagai berikut :

$$\text{Pelat lantai yang ditumpu kolom} : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,25}{f_y}$$

$$\text{Pelat lantai yang ditumpu balok atau dinding} : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,0}{f_y}$$

$$\text{Pelat telapak} : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,0}{f_y}$$

2) Pembebanan

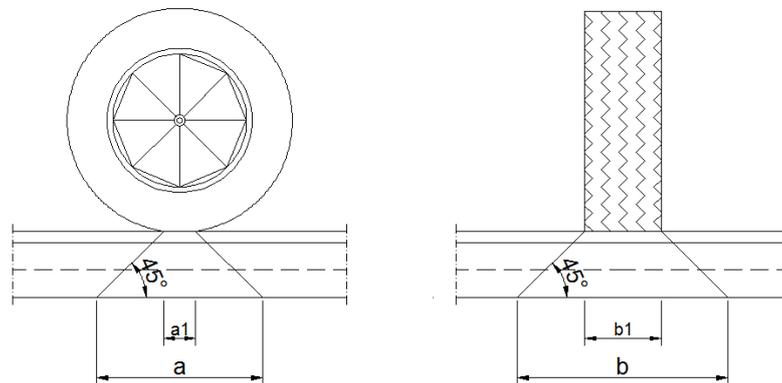
a. Beban mati terdiri atas berat aspal, berat pelat lantai dan berat air hujan. Dari pembebanan tersebut akan diperoleh q_{Dult} pelat lantai kendaraan dianggap pelat satu arah.

b. Berasal dari kendaraan bergerak (muatan T) beban *truck*.

$$T_u = 1,8 \times 1,3 T$$

Jadi pembebanan truck,

$$q = \frac{T_u}{a \times b} \text{ dan momen dihitung menggunakan tabel Bitner.}$$



Gambar 2.22 Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan RSNI T -02-2005)

c. Penulangan, berdasarkan RSNI T – 12 – 2004

$$A_{Smin} = \frac{\sqrt{F_c'} }{4 F_y} bd$$

$$A_{S_{\min}} = \frac{1,4}{F_y} bd$$

2.10 Pile Slab / Oprit

Pada perencanaan *pile slab* / oprit dapat digunakan timbunan tanah, urugan ataupun kumpulan tiang pancang dengan ukuran diameter yang lebih kecil di belakang abutment yang dibuat dengan rapat atau sepadat mungkin untuk menghindari penurunan. Oprit bisa terdiri atas timbunan pilihan dan timbunan biasa dan untuk membuat oprit berdiri kokoh, maka dibuatlah tembok penahan tanah yang berfungsi menjaga kestabilan lereng oprit tersebut.

2.11 Perletakan

Landasan yang dipakai dalam perencanaan jembatan ini adalah landasan elastomer berupa landasan karet yang dilapisi pelat baja. Elastomer ini terdiri dari elastomer vertikal yang berfungsi menahan gaya horizontal dan elastomer horizontal berfungsi menahan gaya vertikal. Sedangkan untuk menahan gaya geser yang mungkin terjadi akibat gempa, angin dan rem dipasang *lateral stop* dan elastomer sebagai bantalannya.

1) Pembebanan

Pembebanan atau gaya – gaya yang bekerja pada perletakan adalah beban mati bangunan atas, beban hidup bangunan atas, beban hidup garis, gaya rem dan beban angin. Selanjutnya dicek apakah gaya yang bekerja lebih besar dari kapasitas beban per unit elastomer.

2) *Lateral stop*, dianggap sebagai konsol pendek.

3) Penulangan *lateral stop*

Tulangan A_{vf} yang dibutuhkan untuk menahan gaya geser

$$V_u = \phi V_n$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi}$$

Beton dicor monolit, $\mu = 1,4$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{F_y \mu}$$

Tulangan A_f yang dibutuhkan untuk menahan momen M_u adalah :

$$M_u = 0,2 \times V_u + N_{uc} \times (h-d)$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

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

$$A_f = \rho b d$$

Tulangan yang dibutuhkan menahan gaya tarik N_{uc} , adalah:

$$N_{uc} = \phi A_n \cdot F_y$$

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi F_y}$$

Tulangan utama adalah total A_g , nilai terbesar dari:

$$A_g = A_f + A_n$$

$$A_g = \left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n\right)$$

$$A_{gmin} = \rho_{min} b d$$

$$\text{Tulangan sengkang, } A_h = \frac{2A_{vf}}{3}$$

2.12 Pelat Injak

Pelat injak ini berfungsi untuk mencegah defleksi yang terjadi pada permukaan jalan akibat desakan tanah. Beban yang bekerja pada pelat injak (dihitung per meter lebar). Untuk berat kendaraan dibelakang bangunan penahan tanah diasumsikan sama dengan berat tanah setinggi 60 cm.

- 1) Pembebanan plat injak, pembebanan pelat injak terdiri atas berat lapisan aspal, berat tanah isian, berat sendiri pelat injak, berat lapisan perkerasan dan berat kendaraan. Dari pembebanan akan didapat q_{Utotal}
- 2) Penulangan plat injak

$$M_{umax} = 1/8 \cdot q_{Utotal} \cdot L_2$$

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{F_c'}}{4 F_y} b d$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b d$$

2.13 Dinding Sayap

Dinding sayap merupakan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan timbunan atau bahan lepas lainnya dan mencegah terjadinya kelongsoran pada permukaan tanah.

1) Pembebanan dinding sayap

Pembebanan terdiri atas berat lapisan tanah, berat lapisan perkerasan, berat sendiri dinding sayap dan berat beban kendaraan.

2) Penulangan dinding sayap

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{F_c'}}{4 F_y} b d$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b d$$

2.14 Rencana Kerja dan Syarat

Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) adalah dokumen yang berisikan keterangan proyek berikut penjelasannya berupa nama, jenis, lokasi, waktu, tata cara pelaksanaan, syarat-syarat pekerjaan, syarat mutu pekerjaan dan keterangan-keterangan lain yang dapat dijelaskan dalam bentuk tulisan. RKS biasanya diberikan bersamaan dengan gambar yang kesemuanya menjelaskan mengenai proyek yang akan dilaksanakan.

2.15 Estimasi Biaya dan Manajemen

2.15.1 Daftar harga satuan bahan dan upah

Daftar satuan bahan dan upah adalah harga yang dikeluarkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga, tempat proyek ini berada karena tidak setiap daerah memiliki standar yang sama. Penggunaan daftar upah ini juga merupakan pedoman untuk menghitung rancangan anggaran biaya pekerjaan dan upah yang dipakai kontraktor. Adapun harga satuan bahan dan upah adalah satuan harga yang termasuk pajak-pajak.

2.15.2 Analisa satuan harga pekerjaan

Adalah perhitungan-perhitunganbiayayang berhubungan dengan pekerjaan-pekerjaan yang ada dalam satu proyek (Asiyanto, 2008). Guna dari satuan harga ini agar kita dapat mengetahui harga-harga satuan dari tiap – tiap pekerjaan yang ada.

Dari harga-harga yang terdapat di dalam analisa satuan harga ini nantinya akan didapat harga keseluruhan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya. Adapun yang termasuk didalam analisa satuan harga ini adalah:

- 1) Analisa harga satuan pekerjaan, adalah perhitungan – perhitungan biaya pada setiap pekerjaan yang ada pada suatu proyek. Dalam menghitung analisa satuan pekerjaan, sangatlah erat hubungan dengan daftar harga satuan bahan dan upah.
- 2) Analisa satuan alat berat, perhitungan analisa satuan alat berat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu:
 - a. Pendekatan *on the job*, yaitu pendekatan yang dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan produksi berdasarkan data yang diperoleh dari data hasil lapangan dan data ini biasanya didapat dari pengamatan observasi lapangan.
 - b. Pendekatan *off the job*, yaitu pendekatan yang dipakai untuk memperoleh hasil perhitungan berdasarkan standar yang biasanya ditetapkan oleh pabrik pembuat.

2.15.3 Perhitungan volume pekerjaan

Volume pekerjaan adalah jumlah keseluruhan dari banyaknya (kapasitas) suatu pekerjaan yang ada. Volume pekerjaan berguna untuk menunjukkan banyak suatu kuantitas dari suatu pekerjaan agar didapat harga satuan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada di dalam suatu proyek.

2.15.4 Rencana anggaran biaya

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut. Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

Dalam menyusun anggaran biaya dapat dilakukan dengan 2 cara sebagai berikut :

- 1) Anggaran biaya kasar (taksiran), sebagai pedoman dalam menyusun anggaran biaya kasar digunakan harga satuan tiap meter persegi (m^2) luas lantai. Anggaran biaya kasar dipakai sebagai pedoman terhadap anggaran biaya yang dihitung secara teliti.
- 2) Anggaran biaya teliti, ialah anggaran biaya bangunan atau proyek yang dihitung dengan teliti dan cermat, sesuai dengan ketentuan dan syarat-syarat penyusunan anggaran biaya. Pada anggaran biaya kasar sebagaimana diuraikan terdahulu, harga satuan dihitung berdasarkan harga taksiran setiap luas lantai m^2 . Taksiran tersebut haruslah berdasarkan harga yang wajar, dan tidak terlalu jauh berbeda dengan harga yang dihitung secara teliti.

Sedangkan penyusunan anggaran biaya yang dihitung dengan teliti, didasarkan atau didukung oleh :

- 1) Bestek, untuk menentukan spesifikasi bahan dan syarat-syarat
- 2) Gambar Bestek, untuk menentukan/menghitung besarnya masing-masing volume pekerjaan.
- 3) Harga Satuan Pekerjaan, didapat dari harga satuan bahan dan harga satuan upah berdasarkan perhitungan analisa.

2.15.5 Rekapitulasi biaya

Rekapitulasi biaya merupakan bagian dari perhitungan rencana anggaran biaya yang berfungsi untuk merekap hasil perhitungan analisa harga satuan sehingga mudah dibaca dan dipahami.

Rekapitulasi biaya adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikannya dengan harga satuan yang ada. Dalam rekapitulasi terlampir pokok-pokok pekerjaan beserta biayanya.

2.15.6 Manajemen proyek

Manajemen proyek adalah suatu proses dari perencanaan, pengaturan, kepemimpinan, dan pengendalian dari suatu proyek oleh para anggotanya dengan memanfaatkan sumber daya seoptimal mungkin untuk mencapai sasaran yang telah ditentukan. Fungsi dasar manajemen proyek terdiri dari pengelolaan lingkup kerja, waktu, biaya dan mutu. Pengelolaan aspek-aspek tersebut dengan benar merupakan kunci keberhasilan dalam penyelenggaraan suatu proyek.

2.15.7 Barchart

Barchart, mempunyai hubungan yang erat dengan *network planning*. *Barchart* ditunjukkan dengan diagram batang yang dapat menunjukkan lamanya waktu pelaksanaan. Di samping itu juga dapat menunjukkan lamanya pemakaian alat dan bahan-bahan yang diperlukan serta pengaturan hal-hal tersebut tidak saling mengganggu pelaksanaan pekerjaan.

2.15.8 Kurva S

Merupakan grafik yang menggambarkan suatu perkembangan proyek berdasarkan waktu, kegiatan dan bobot pekerjaan yang di representasikan sebagai persentase kumulatif dari seluruh proses pelaksanaan kegiatan proyek.

2.15.9 Network Planing

Network planing, adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan (*variables*) yang digambarkan / divisualisasikan dalam *diagram network*. Dengan demikian diketahui bagian-bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan, pekerjaan mana yang menunggu selesainya pekerjaan yang lain, pekerjaan mana yang tidak perlu tergesa-gesa sehingga orang dapat digeser ke tempat lain demi efisiensi.