

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Jembatan

Jembatan merupakan suatu bangunan structural yang berfungsi untuk meneruskan arus lalu lintas dari satu sisi ke sisi lain melalui rintangan baik itu sungai, lembah – lembahan yang dalam, perlintasan kereta api, teluk – teluk, selat atau laut bahkan jalan raya yang lain. Menurut Ir. H. J. Struyk dalam bukunya “Jembatan”, jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa).

2.2 Pembebanan Jembatan

2.2.1 Aksi dan Beban Tetap

A. Berat Sendiri

Beban mati jembatan terdiri dari masing – masing bagian struktural dan elemen – elemen non struktural. Masing – masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang terintegrasi pada waktu menerapkan faktor beban biasa dan yang berkurang. Perencana jembatan harus menggunakan kebijaksanaannya di dalam menentukan elemen – elemen tersebut.

Tabel 2.1 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	KS ; MS		KU ; MS	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja, Alumunium	1,0	1,1	0,9
	Beton Pracetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

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

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 non – struktural yang dianggap tetap.

Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati [kN/m³]

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi [kN/m ³]	Kerapatan Masa [kg/m ³]
1	Campuran alumunium	26,7	2720
2	Lapisan permukaan beraspal	22,0	2240
3	Besi tuang	71,0	7200
4	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1760
5	Kerikil dipadatkan	18,8 – 22,7	1920 – 2320
6	Aspal beton	22,0	2240
7	Beton ringan	12,25 – 19,6	1250 – 2000
8	Beton	22,0 – 25,0	2240 – 2560
9	Beton prategang	25,0 – 26,0	2560 – 2640
10	Beton bertulang	23, - 25,5	2400 – 2600
11	Timbal	111	11400
12	Lempung lepas	12,5	1280
13	Batu pasangan	23,5	2400
14	Neoprin	11,3	1150
15	Pasir kering	15,7 – 17,2	1600 – 1760
16	Pasir basah	18,0 – 18,8	1840 – 1920
17	Lumpur lunak	17,2	1760
18	Baja	77,0	7850
19	Kayu (ringan)	7,8	800
20	Kayu (keras)	11,0	1120
21	Air murni	9,8	1000

22	Air garam	10,0	1025
23	Besi tempa	75,5	7680

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

B. Beban Mati Tambahan / Utilitas

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non – struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	KS ; MA	KU ; MA		
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Keadaan umum	1,0 (1)	2,0	0,7
	Keadaan khusus	1,0	1,4	0,8
Catatan :				
(1) Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

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

Dalam hal tertentu harga K_{MA} yang telah berkurang boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut mengawasi beban mati tambahan sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

Kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang, semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali dikemudian hari. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan yang tercantum dalam gambar.

Pelapisan kembali yang diizinkan adalah merupakan beban nominal yang dikaitkan dengan faktor beban untuk mendapatkan beban rencana.

Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan harus dihitung setepat mungkin. Berat dari pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor, dan lain – lainnya harus ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga kondisi yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

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 as yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

Lajur lalu lintas rencana harus mempunyai lebar 2,7 m. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat pada Tabel 2.5. lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

A. Beban Lajur “D”

Tabel 2.4 Faktor Beban Akibat Beban Lajur “D”

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	KS ; TD	KU ; TD
Transien	1,0	1,8

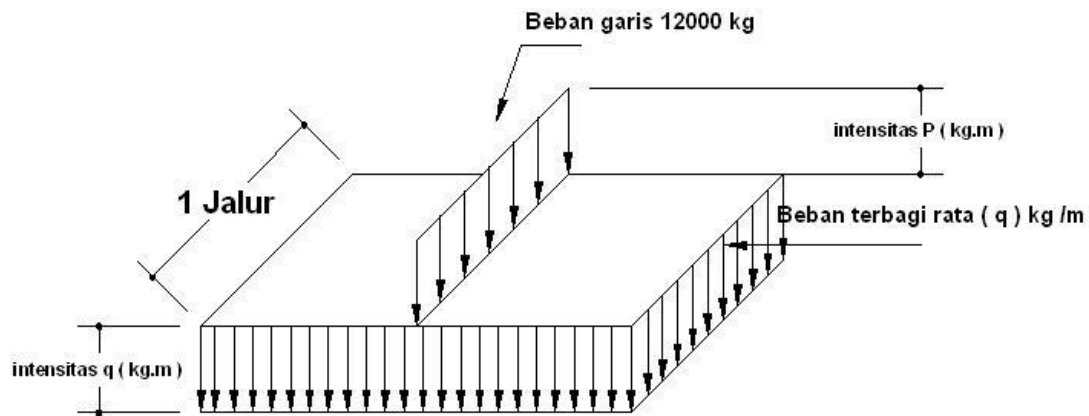
(Sumber : Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005)

Tabel 2.5 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaraan (m) (2)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (nl)
Satu Lajur	4,0 – 5,0	1
Dua Arah, Tanpa Median	5,5 – 8,25	2 (3)
	11,3 – 15,0	4
Banyak Arah	8,25 – 11,25	3
	11,3 – 15,0	4
	15,1 – 18,75	5
	18,8 – 22,5	6
<p>Catatan (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang</p> <p>Catatan (2) lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dengan median untuk banyak arah.</p> <p>Catatan (3) Lebar minimum yang aman untuk 2 lajur kendaraan adalah 6,0 m. Lebar jembatan antara 5,0 m sampai dengan 6,0 m harus dihindari oleh karena hal ini akan memberikan kesan kepada pengemudi seolah – olah memungkinkan untuk menyiap.</p>		

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

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Beban Lajur “D”

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

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

$$L > 30 \text{ m} \quad : q = 9,0 [0,5 + 15 / L] \text{ kPa}$$

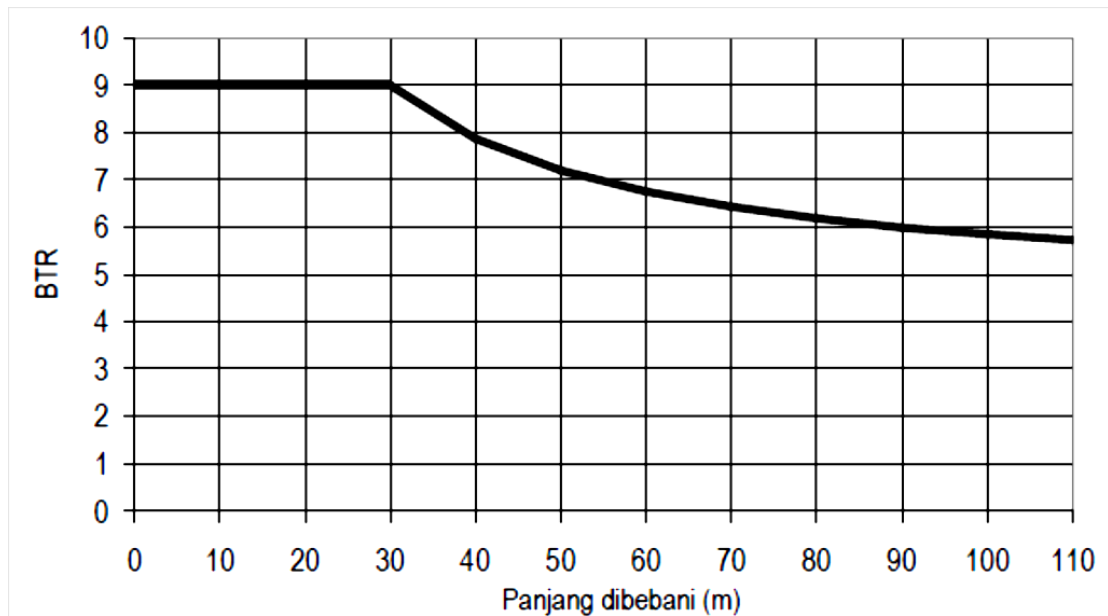
Dengan pengertian :

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

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter).

Panjang yang dibebani L adalah panjang total BTR yang bekerja pada jembatan. BTR mungkin harus dipecah menjadi panjang – panjang tertentu untuk mendapatkan pengaruh maksimum pada jembatan menerus atau bangunan khusus. Dalam hal ini L adalah jumlah dari masing – masing panjang beban – beban yang dipecah seperti terlihat dalam Gambar 2.4.

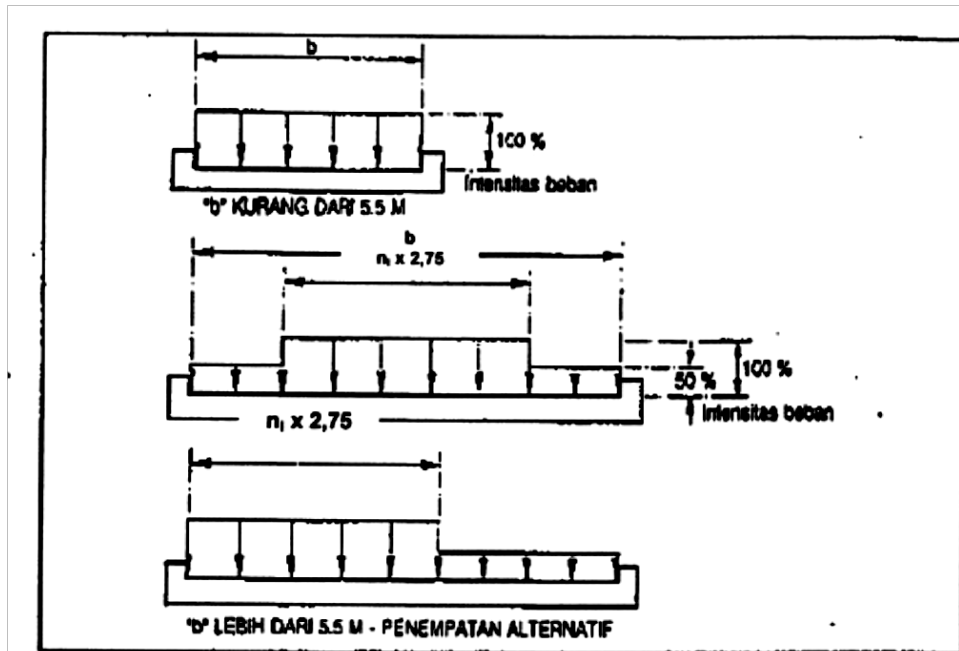
Beban Garis Terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lita pada jembatan. Besarnya intensitas p adlaah 49,0 kN/m.



Gambar 2.2 Beban “D” : BTR vs Panjang yang Dibebani

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen – komponen BTR dan BGT dari beban “D” pada arah melintang harus sama. Penempatan beban ini dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Bila lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban “D” harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100 %.
2. Apabila lebar jalur lebih besar dari 5,5 m, beban “D” harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (n_1) yang berdekatan (Tabel 2.5), dengan intensitas 100 %. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar $n_1 \times 2,75 q$ kN/m dan beban terpusat ekuivalen sebesar $n_1 \times 2,75 p$ kN, kedua – duanya bekerja berupa *strip* pada jalur selebar $n_1 \times 2,75$ m.
3. Jalur lalu lintas rencana yang membentuk *strip* ini bisa ditempatkan dimana saja pada jalur jembatan. Beban “D” tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50 %. Susunan pembebanan ini bisa dilihat dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang

- Luas jalur yang ditempati median harus dianggap bagian jalur dam dibebani dengan beban yang sesuai, kecuali apabila media tersebut terbuat dari penghalang lalu lintas yang tetap.

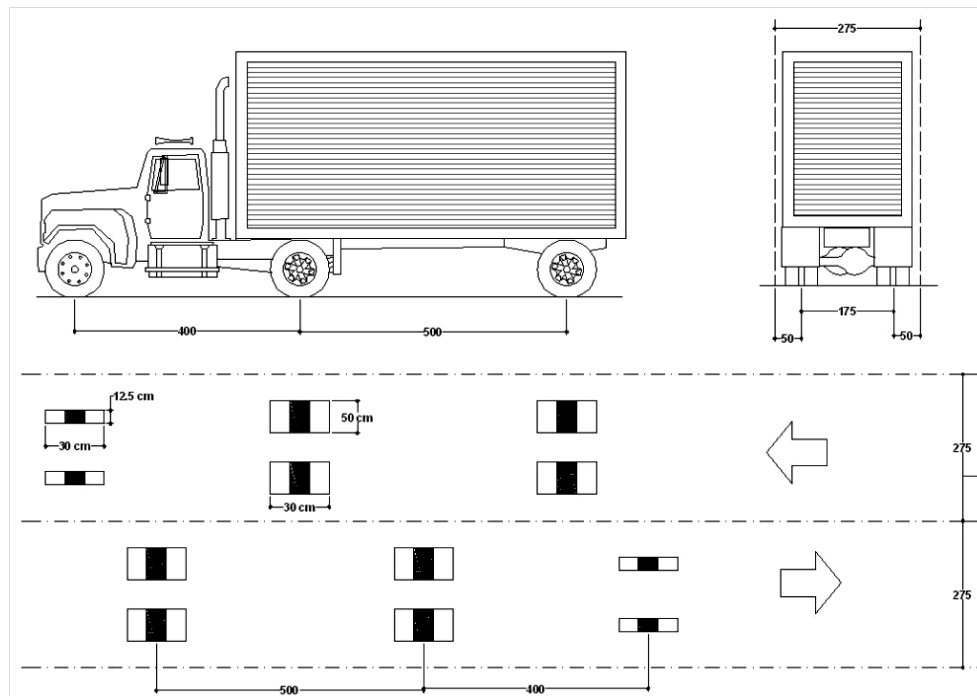
B. Pembebanan Truk "T"

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi – trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam **Gambar 2.4**. berat dari masing – masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah – ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

Tabel 2.6 Faktor Beban Akibat Pembebanan Truk “T”

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	KS ; TT	KU ; TT
Transien	1,0	1,8

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

**Gambar 2.4** Pembebanan Truk “T” (500 kN)

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan Instansi yang berwenang, pembebanan “D” setelah dikurangi menjadi 70 % bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi harga berlaku untuk jembatan darurat atau semi permanen.

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 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk “T” atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya FBD tergantung kepada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

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. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit.

Untuk pembebanan “D”, FBD merupakan fungsi dari 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 :

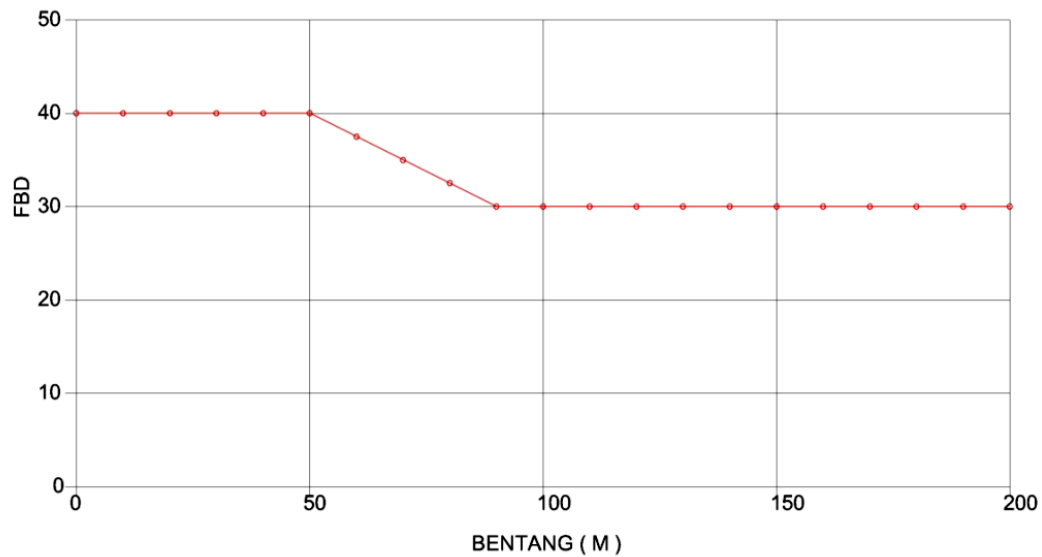
$$L_E = \sqrt{L_{av} - L_{max}}$$

Dengan pengertian :

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

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

Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 30 %. Harga FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada dibawah garis permukaan, harga FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari harga pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m.



Gambar 2.5 Faktor Beban Dinamis untuk BGT untuk Pembebanan Lajur “D”

Bekerjanya gaya – gaya di arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5 % dari beban lajur D yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas (Tabel 2.7 dan Gambar 2.3), tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan. Beban lajur D disini jangan direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m, $q = 9$ kPa.

Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat Gaya Rem

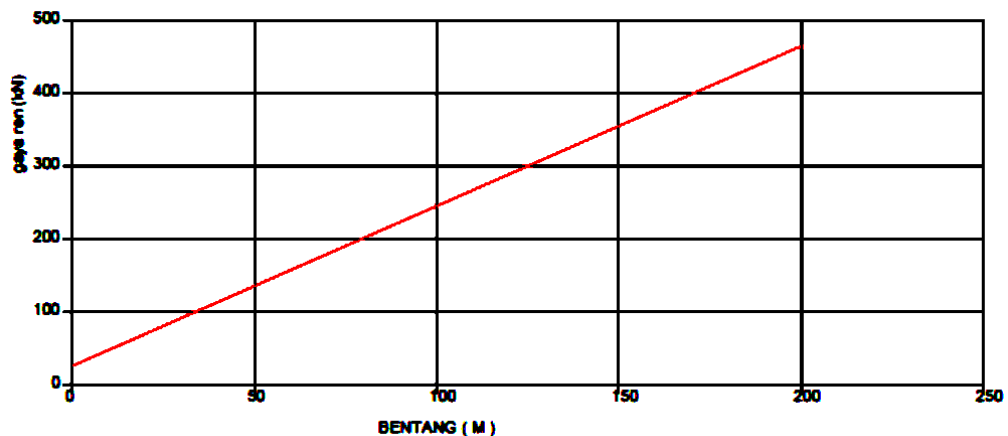
JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	KS ; TB	KU ; TB
Transien	1,0	1,8

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

Gaya rem tidak boleh digunakan tanpa memperhitungkan pengaruh beban lalu lintas vertikal. Dalam hal dimana beban lalu lintas vertikal mengurangi pengaruh

gaya rem (seperti pada stabilitas guling dari pangkal jembatan), maka Faktor Beban Ultimit berkurang sebesar 40 % boleh digunakan untuk pengaruh beban lalu lintas vertikal.

Pembebanan lalu lintas 70 % dan faktor pembesaran di atas 100 % BGT dan BTR tidak berlaku untuk gaya rem.



Gambar 2.6 Gaya Rem per Lajur 2,75 m (KBU)

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyebrangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa. Jembatan pejalan kaki dan trotoar pada jembatan jalan raya harus direncanakan untuk memikul beban per m^2 dari luas yang dibebani.

Luas yang dibebani adalah luas yang terkait dengan elemen bangunan yang ditinjau. Untuk jembatan, pembebanan lalu lintas dan pejalan kaki jangan diambil secara bersamaan pada keadaan batas ultimit. Apabila trotoar memungkinkan digunakan untuk kendaraan ringan atau ternak, maka trotoar harus direncanakan untuk bisa memikul beban hidup terpusat sebesar 20 kN.

Tabel 2.8 Faktor Beban Akibat Pembebanan untuk Pejalan Kaki

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	KS ; TP	KU ; TP
Transien	1,0	1,8

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

2.2.3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperature, angin,, banjir, gempa, dan penyebab – penyebab alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisa 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 memperhitungkannya dalam perencanaan.

Jembatan harus direncanakan untuk menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan mungkin bisa dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah.

Penurunan dapat diperkirakan dari pengujian yang dilakukan terhadap bahan fondasi yang digunakan. Apabila perencana memutuskan untuk tidak melakukan pengujian akan tetapi besarnya penurunan diambil sebagai suatu anggapan, maka nilai anggapan tersebut merupakan batas atas dari penurunan yang bakal terjadi. Apabila nilai penurunan ini adalah besar, perencanaan bangunan bawah dan bangunan atas jembatan harus memuat ketentuan khusus untuk mengatasi penurunan tersebut.

Tabel 2.9 Faktor Beban Akibat Penurunan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	KS ; TP	KU ; TP
Permanen	1,0	Tidak bisa dipakai

(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. Jembatan – jembatan yang demikian harus diselidiki secara khusus akibat pengaruh beban angin, termasuk respon dinamis jembatan.

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

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

Dengan pengertian :

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

C_w adalah koefisien seret (Tabel 2.11)

A_b adalah luas koefisien bagian samping jembatan (m^2)

Kecepatan angin rencana harus diambil seperti yang diberikan pada Tabel 2.12.

Luas ekuivalen bagian samping jembatan adalah luas total bagian yang massif dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Untuk jembatan rangka luas ekuivalen ini dianggap 30 % dari luas yang dibatasi oleh batang – batang tiang terluar.

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

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

Dengan pengertian :

$$C_w = 1,2$$

Tabel 2.10 Faktor Beban Akibat Beban Angin

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	KS ; EW	KU ; EW
Transien	1,0	1,2

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

Tabel 2.11 Koefisien Seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas massif: (1), (2)	
$b/d = 1,0$	2,10 (3)
$b/d = 2,0$	1,50 (3)
$b/d \geq 6,0$	1,25 (3)
Bangunan atas rangka	1,20
<p>Catatan (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran. d = tinggi bangunan atas, termasuk bagian sandaran yang massif.</p> <p>Catatan (2) Untuk harga antara b/d bisa diinterpolasi linier.</p> <p>Catatan (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3 % untuk setiap derajat superelevasi, dengan maksimum 2,5 %.</p>	

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

Tabel 2.12 Kecepatan Angin Rencana V_w

KEADAAN BATAS	LOKASI	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5 km dari pantai
Daya Layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

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

Pengaruh gempa rencana hanya ditinjau pada keadaan batas ultimit.

Pasal ini menetapkan metoda untuk menghitung beban statis ekuivalen untuk jembatan – jembatan dimana analisa statis ekuivalen adalah sesuai. Untuk jembatan besar, rumit, dan penting mungkin diperlukan analisa dinamis. Lihat standar perencanaan beban gempa untuk jembatan (Pd. T.04. 2004. B). beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut :

$$T^*_{EQ} = K_h I W_T$$

Dimana :

$$K_h = C S$$

Dengan pengertian

T^*_{EQ} adalah Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (kN)

K_h adalah Koefisien beban gempa horizontal.

C adalah Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dan kondisi setempat yang sesuai

I adalah Faktor kepentingan

S adalah Faktor tipe bangunan

W_T adalah Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN).

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus :

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{W_{TP} / (g k K_p)}$$

g = percepatan gravitasi (9,8 m/det)

K_p = kekakuan struktur yang merupakan gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan (KN/m)

Tabel 2.13 Faktor Beban Akibat Pengaruh Gempa

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	KS ; EQ	KU ; EQ
Transien	Tidak dapat digunakan	1,0

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

Tabel 2.14 Kondisi Tanah untuk Koefisien Geser Dasar

Jenis Tanah	Tanah Teguh	Tanah Sedang	Tanah Lunak
Untuk seluruh jenis tanah	≤ 3 m	≥ 3 m sampai 25 m	≥ 25 m
Untuk tanah kohesif dengan kekuatan geser <i>undrained</i> rata – rata tidak melebihi 50 kPa	≤ 6 m	≥ 6 m sampai 25 m	≥ 25 m
Pada tempat dimana hamparan tanah salah satunya mempunyai sifat kohesif dengan kekuatan geser <i>undrained</i> rata – rata lebih besar dari 100 kPa, atau tanah berbutir yang sangat padat	≤ 9 m	≥ 9 m sampai 25 m	≥ 25 m
Untuk tanah kohesif dengan kekuatan geser <i>undrained</i> rata – rata tidak melebihi 200 kPa.	≤ 12 m	≥ 12 m sampai 30 m	≥ 30 m
Untuk tanah berbutir dengan ikatan matrik padat	≤ 20 m	≥ 20 m sampai 40 m	≥ 40 m
CATATAN (1) Ketentuan ini harus digunakan dengan mengabaikan apakah tiang pancang diperpanjang sampai lapisan tanah keras yang lebih dalam			

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

Tabel 2.15 Faktor Kepentingan

1. Jembatan memuat lebih dari 2000 kendaraan/hari, jematan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternative.	1,2
2. Seluruh jembatan permanen lainnya dimana rute alternative tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncnakaan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi.	1,0
3. Jembatan sementara (<i>missal : Bailey</i>) dan jembatan yang direncnakaan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi.	0,8

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

Tabel 2.16 Faktor Tipe Bangunan

Tipe Jembatan (1)	Jembatan dengan Daerah Sendi Beton Bertulang atau Baja	Jembatan dengan Daerah Sendi Beton Prategang	
		Prategang Parsial (2)	Prategang Penuh (2)
Tipe A (3)	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe B (3)	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe C	3,0	3,0	3,0

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

Tabel 2.17 Koefisien Geser Dasar untuk Tekanan Tanah Lateral

Daerah Gempa (1)	Koefisien Gesed Dasar C		
	Tanah Teguh (2)	Tanah Sedang (2)	Tanah Lunak (2)
1	0,20	0,23	0,23
2	0,17	0,21	0,21
3	0,14	0,18	0,18

4	0,10	0,15	0,15
5	0,07	0,12	0,12
6	0,06	0,06	0,07

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

2.2.4 Aksi – Aksi Lainnya

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan hanya beban tetap, dan harga rata – rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer).

Tabel 2.18 Faktor Beban Akibat Gesekan pada Perletakan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN		
	KS ; FB	KU ; FB	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,0	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 RSNI T-02-2005*)

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat di atas jembatan dan akibat pejalan kaki pada jembatan penyebrangan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidaknyamanan seperti halnya keamanan bangunan.

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan “beban lajur D”,

dengan factor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada trotoar.

2.2.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban umumnya didasarkan kepada beberapa kemungkinan tipe yang berbeda dari aksi yang bekerja secara bersamaan. 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 2.19 adalah sebagai prosentase dari tegangan kerja yang diizinkan.

Tabel 2.19 Kombinasi Beban untuk Perencanaan Tegangan Kerja

Aksi	Kombinasi No						
	1	2	3	4	5	6	7
Aksi tetap	X	X	X	X	X	X	X
Beban lalu lintas	X	X	X	X	-	-	X
Pengaruh temperature	-	X	-	X	-	-	-
Arus/hanyutan/hidro/daya apung	X	X	X	X	X	-	-
Beban angin	-	-	X	X	-	-	-
Pengaruh gempa	-	-	-	-	X	-	-
Beban tumbukan	-	-	-	-	-	-	X
Beban pelaksanaan	-	-	-	-	-	X	-
Tegangan berlebihan yang diperbolehkan r_{os}	Nil	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, dusyaratkan umur rencana 100 tahun.

A. 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 pembetonan 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 penampangan beton, akibat semua kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur dan/atau aksial tekan, tidak boleh melampaui nilai $0,45 f_c'$, dimana f_c' adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa.

Modulus elastisitas beton, E_c , nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan yang tidak melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis yang tidak kurang dari 2000 kg/m^3 dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa.

B. Tulangan Baja Non – Prategang

Kuat tarik leleh, f_y , ditentukan dari hasil pengujian, tetapi perencanaan tulangan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh f_y yang melebihi 50 MPa, kecuali untuk tendon prategang.

Tegangan ijin tarik pada tulangan non – prategang boleh diambil dari ketentuan dibawah ini :

- Tulangan dengan $f_y = 300$ MPa, tidak boleh diambil melebihi 140 MPa.
- Tulangan dengan $f_y = 400$ MPa, atau lebih dan anyaman kawat las (polos atau ulir), tidak boleh diambil melebihi 170 MPa.
- Untuk tulangan lentur pada pelat satu arah yang bentangnya tidak lebih dari 4 m, tidak boleh diambil melebihi $0,50 f_y$ namun tidak lebih dari 200 MPa.

Modulus elastisitas baja tulangan, E_s , untuk semua harga tegangan yang tidak lebih besar dari kuat leleh f_y bisa diambil sebesar :

- Diambil sama dengan 200.000 MPa atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

C. 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 :

- Untuk kawat baja prategang : $0,75 f_{pu}$
- 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 :

- Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar : $0,70 f_{pu}$

- Untuk kondisi daya layan, sebesar $0,60 f_{pu}$

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

- 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.
- 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 :

- Untuk kawat tegang – lepas $: 200 \times 10^3 \text{ MPa}$
- Untuk *strand* tegang – lepas $: 195 \times 10^3 \text{ MPa}$
- Untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi $: 170 \times 10^3 \text{ MPa}$
- Ditentukan dari hasil pengujian

2.3.2 Perencanaan Kekuatan Struktur Beton Bertulang

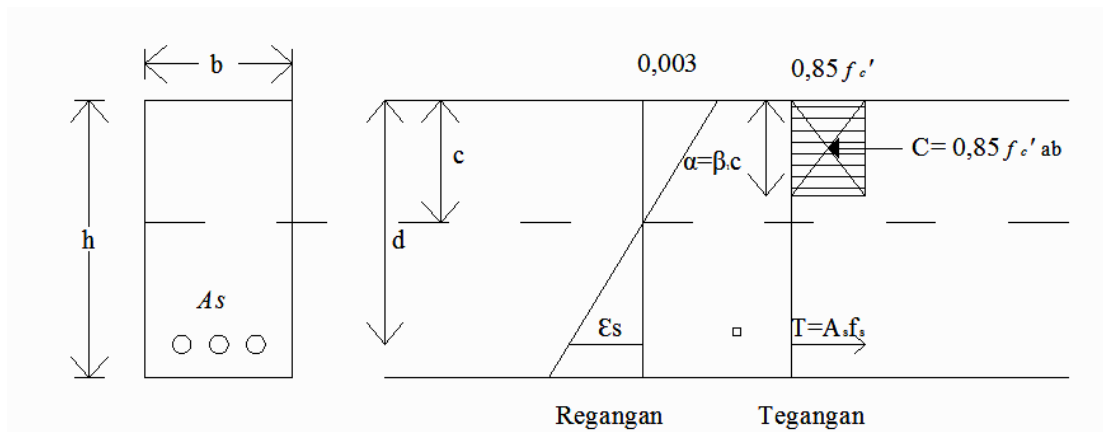
Kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimit atau cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT). Walaupun demikian, untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan tegangan kerja, atau ada keterkaitan dengan aspek lain yang sesuai batasan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif, bisa digunakan cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL).

Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat berbentuk persegi, trapesium, parabola atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik terhadap hasil pengujian yang lebih menyeluruh.

Walaupun demikian, hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang diasumsikan bahwa tegangan beton $= 0,85 f_c'$ terdistribusi merata pada daerah tekan

ekivalen yang dibatasi oleh tepi tertekan terluar dari penampang dan suatu garis yang sejajardengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari tepi tertekan terluar tersebut.

Jarak c dari tepi dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus sumbu tersebut.



Gambar 2.7 Regangan dan Tegangan pada Penampang Beton Bertulang

Faktor β_1 harus diambil sebesar :

$$\beta_1 = 0,85 \quad \text{untuk } f_c' \leq 30 \text{ Mpa (5.1-1)}$$

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

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.

Tulangan bengkok ke atas tidak diizinkan karena kesulitan dalam pengangkutan dan kemungkinan terjadi *splitting* beton pada bidang yang dibengkokkan.

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 Tiang

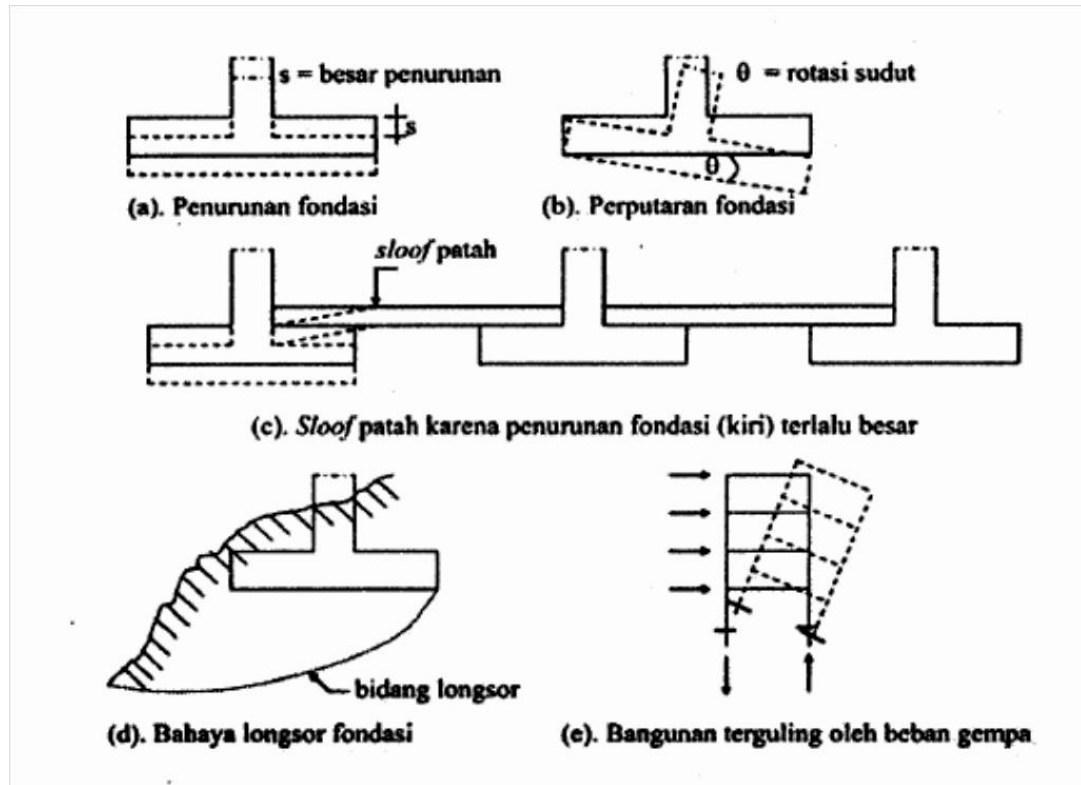
Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat di bawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi.

Pondasi tiang berfungsi untuk menyalurkan beban – beban yang diterimanya dari konstruksi di atasnya ke lapisan tanah yang lebih dalam.

2.4.2 Persyaratan Pondasi

Struktur pondasi dari suatu bangunan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga proses pemindahan beban bangunan ke tanah dasar dapat berlangsung dengan baik dan aman. Untuk keperluan tersebut, pada perencanaan pondasi harus mempertimbangkan beberapa persyaratan berikut (Gambar 3.29):

1. Pondasi harus cukup kuat untuk mencegah penurunan (*settlement*) dan perputaran (rotasi) yang berlebihan (lihat gambar a dan b)
2. Tidak terjadi penurunan setempat yang terlalu besar bila dibandingkan dengan penurunan pondasi di dekatnya (gambar c)
3. Cukup aman terhadap bahaya longsor (Gambar d)
4. Cukup aman terhadap bahaya guling (Gambar e)



Gambar 2.8 Pertimbangan Keamanan Pondasi

2.4.3 Daya Dukung Tanah

Jenis dan besar kecilnya ukuran pondasi sangat ditentukan oleh kekuatan/daya dukung tanah di bawah pondasi tersebut. Sebagai contoh untuk jenis pondasi telapak tunggal, semakin kuat daya dukung tanah, semakin kecil ukuran pondasi yang akan direncanakan. Sebaliknya, semakin lemah daya dukung tanah, semakin besar ukuran pondasi yang akan direncanakan. Untuk tanah dengan daya dukung yang lemah ini, sebaiknya digunakan jenis fondasi lain, misalnya pondasi sumuran bahkan digunakan tiang pancang.

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 di sekitarnya.

3. Hasil pemeriksaan/pengujian tanah, baik pengujian di laboratorium maupun pengujian di lapangan.

a. Daya dukung pondasi berdasarkan kekuatan material

Daya dukung tiang pancang berdasarkan kekuatan materialnya merupakan bagian sangat penting dalam perencanaan tiang pancang. Perhitungan daya dukung berdasarkan kekuatan materialnya bisa terlihat dalam rumus di bawah:

Kuat tekan beton (f_c')

Tegangan ijin beton $(f_c') = 0,3 \times f_c \times 1000$

Luas tampang tiang pancang $(A) = \frac{\pi}{4} \times D^2$

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 di lokasi. SPT merupakan tes dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukan tabung sample berdiamter dalam 35 mm sedalam 305 mm dengan menggunakan massa pendorong (palu) seberat 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm, banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sample sedalam 305 mm dinyatakan sebagai nilai N.

Daya dukung ijin tiang pancang :

a. Pasir Halus $(Q_{ull}) = 40 \times N \times \frac{L}{B}$

$$(Q_{ull}) = 400 \times N'$$

b. Pasir Kasar $(Q_{ull}) = 40 \times N \times \frac{L}{B}$

$$(Q_{ull}) = 300 \times N'$$

Daya dukung ijin tiang bor

$$\begin{aligned} \text{c. Pasir Halus} \quad (Q_{ull}) &= 12 \times N \times \frac{L}{B} \\ (Q_{ull}) &= 130 \times N' \\ \text{Luas penampang tiang pancang} \quad (A) &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ \text{Angka aman} \quad (S_f) &= 3 \\ \text{Daya dukung ijin tiang pancang} \quad (P_{ijin}) &= \frac{(A \times Q_{ull})}{S_f} \end{aligned}$$

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 beton bertulang. Perencanaan pile cap dilakukan dengan anggapan sebagai berikut :

1. Pile cap sangat kaku.
2. Ujung atas tiang menggantung pada pile cap. Karena itu, tidak ada momen lentur yang diakibatkan oleh pile cap ke tiang.
3. Tiang merupakan kolom pendek dan elastic. Karena itu, distribusi tegangan dan deformasi membentuk bidang rata.

2.6 Abutmen/Pier

Abutment merupakan struktur bawah jembatan yang berfungsi sama dengan pilar (pier). Namun pada abutment juga terkait dengan adanya faktor tanah. Adapun langkah perencanaan abutment adalah sama dengan tahapan perencanaan pilar (pier), namun pada pembebanannya ditambah dengan tekanan tanah timbunan dan ditinjau kestabilan terhadap sliding dan bidang runtuh tanahnya.

Pilar (Pier) berfungsi sebagai pembagi bentang jembatan dan sebagai pengantar beban – beban yang bekerja pada struktyr atas dan menyalurkannya kepada podasi di bawahnya. Pilar terbagi atas beberapa bagian *pier head*, *head wall*, dan kolom.

2.7 Balok Diafragma

Berada melintang diantara gelagar utama, konstruksi ini berfungsi sebagai pengaku gelagar utama dan tidak berfungsi sebagai struktur penahan beban luar apapun, kecuali berat sendiri diafragma. Menggunakan konstruksi beton bertulang.

2.8 Gelagar Beton Prategang

2.8.1 Beton Prategang

Beton prategang bukan merupakan konsep baru, pada tahun 1872, pada saat P.H. Jackson, seorang insiyur dari California, mendapatkan paten untuk system structural yang menggunakan *tie rod* untuk membuat balok atau pelengkung dari blok – blok. Pada tahun 1888, C.W. Doehring dari Jerman memperoleh paten untuk pemberian prategang pada slab dengan kawat – kawat metal.

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

Keuntungan beton prategang merupakan komponen struktur prategang mempunyai tinggi lebih kecil dibandingkan beton bertulang untuk kondisi bentang dan beban yang sama. Pada umumnya, tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi komponen struktur beton bertulang. Dengan demikian, komponen struktur prategang membutuhkan lebih sedikit beton, dan sekitar 20 sampai 35 persen banyaknya tulangan.

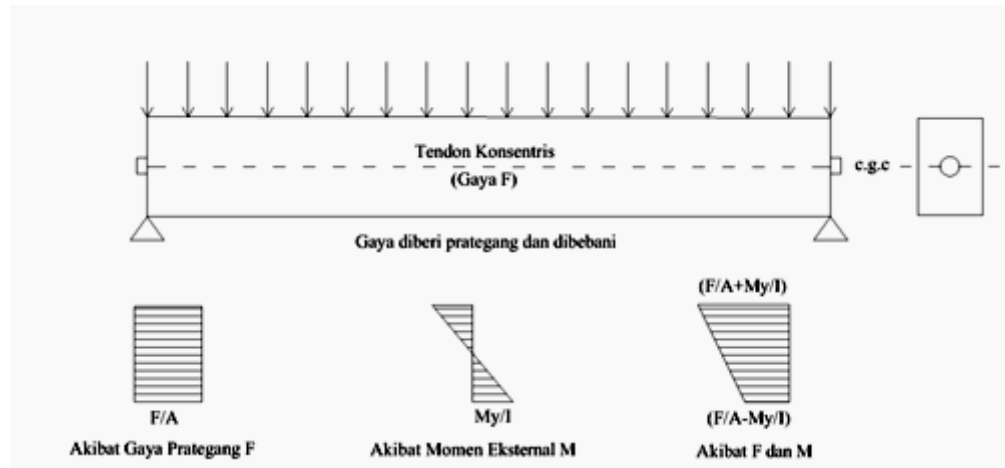
2.8.2 Konsep Dasar Beton Prategang

Ada tidak konsep yang dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat – sifat dasar dari beton prategang. Adapun konsep beton prategang yang diterangkan T. Y Lin dan Burns dalam bukunya “*Desain Struktur Beton Prategang*” sebagai berikut:

Konsep pertama, system prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastic. Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastic dan mungkin 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 elastic dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat yang memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian rupa sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep ini lahirlah kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi retak, dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan berubah menjadi bahan yang elastis.

Atas pandangan ini, beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua system pembebanan: gaya internal prategang dan beban eksternal dengan tegangan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang. Begitu juga retak pada beton akibat beban eksternal dicegah atau diperlambat dengan pratekan yang dihasilkan oleh tendon. Sejauh tidak terjadi retak – retak, tegangan – tegangan, regangan – regangan, dan lendutan – lendutan pada beton akibat kedua system pembebanan dapat dipandang secara terpisah dan bersama – sama bila perlu.

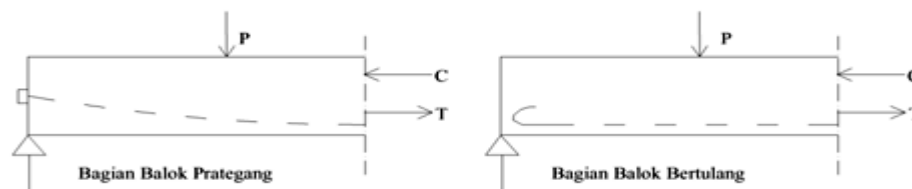
Dalam bentuk yang paling sederhana, ambilah balok persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani gaya eksternal. Gaya tarik prategang F pada tendon menghasilkan gaya tekan F yang sama pada beton yang juga bekerja pada titik berat tendon.



Gambar 2.9 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1, T.Y. Lin dan Ned H. Burns)

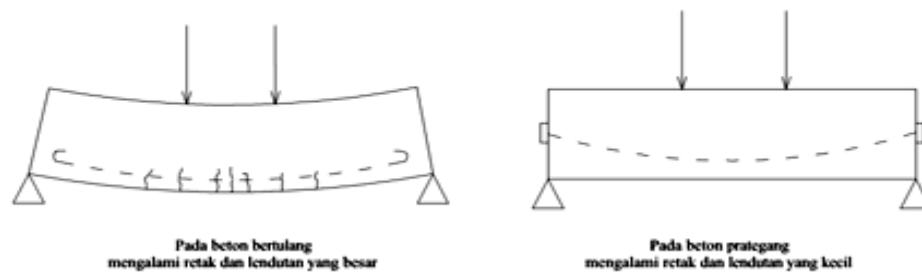
Konsep kedua, system prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton. Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal. Seringkali hal ini merupakan konsep yang mudah bagi insinyur yang terbiasa dengan beton bertulang dimana baja menahan gaya tarik dan beton menahan gaya tekan dan kedua gaya membentuk momen kopel dengan lengan momen diantaranya. Akan tetapi, hanya sedikit insinyur yang menyadari sifat yang sama juga terdapat pada beton prategang.



Gambar 2.10 Momen Penahan Internal pada Balok Beton Prategang dan Beton Bertulang

(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1, T.Y. Lin dan Ned H. Burns)

Pada beton prategang, baja mutu tinggi diapaki dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika baja mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik sebelumnya (pratarik) terhadap beton. Dengan menarik dan menjangkarkan baja ke tendon, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan pada beton tekan, dan regangan dan regangan tarik pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja hanya ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa.

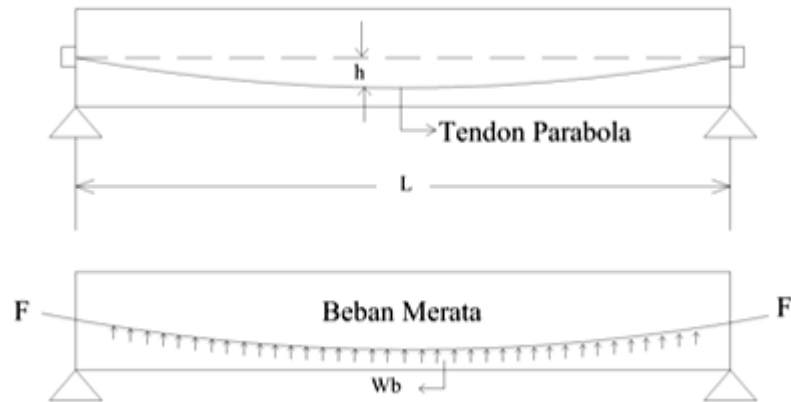


Gambar 2.11 Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi

(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1, T.Y. Lin dan Ned H. Burns)

Konsep ketiga, system prategang untuk mencapai kesetimbangan beban. Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya – gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat (slab), balok, dan gelagar (girder) 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. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya – gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang.



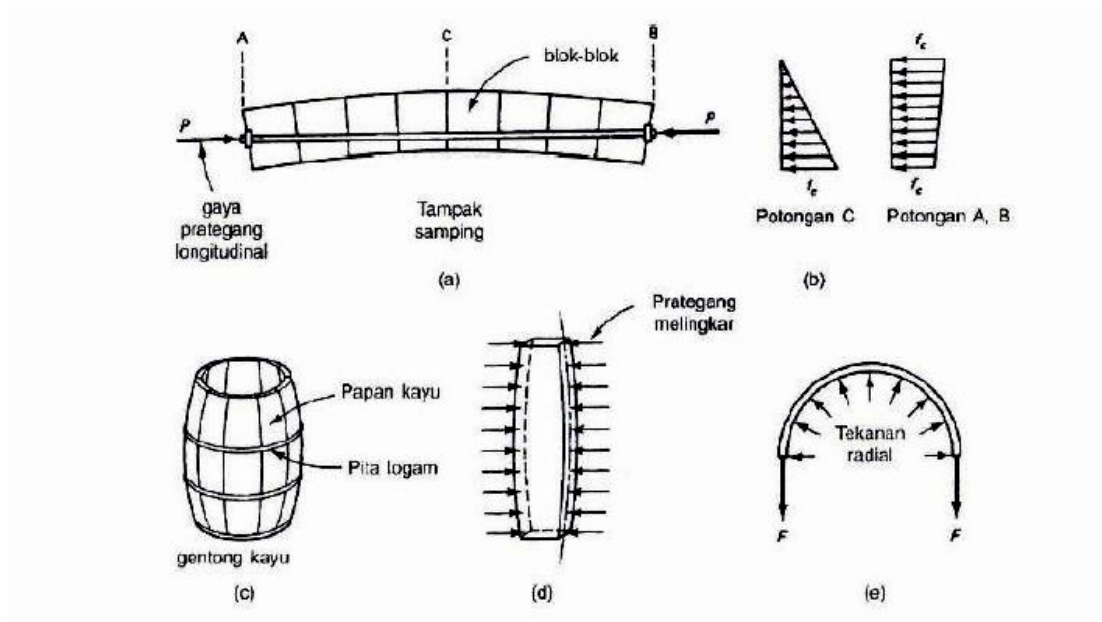
Gambar 2.12 Balok Prategang dengan Tendon Parabola

(Sumber : Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1, T.Y. Lin dan Ned H. Burns)

Prinsip dasar beton prategang

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik: kuat tariknya 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 dalam arah longitudinal elemen structural. Gaya ini mencegah berkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik di bagian tumpuan dan daerah kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, gesek, dan torsional penampang tersebut. Penampang dapat berperilaku secara elastic, dan hampir semua kapasitas beton dalam memikul tekan dapat secara efektif dimanfaatkan di seluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja di struktur tersebut.

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



Gambar 2.13 Prinsip – Prinsip Prategang pada Prategang Linier dan Melingkar

(Sumber : Beton Prategang Jilid 1, Edward G. Nawy)

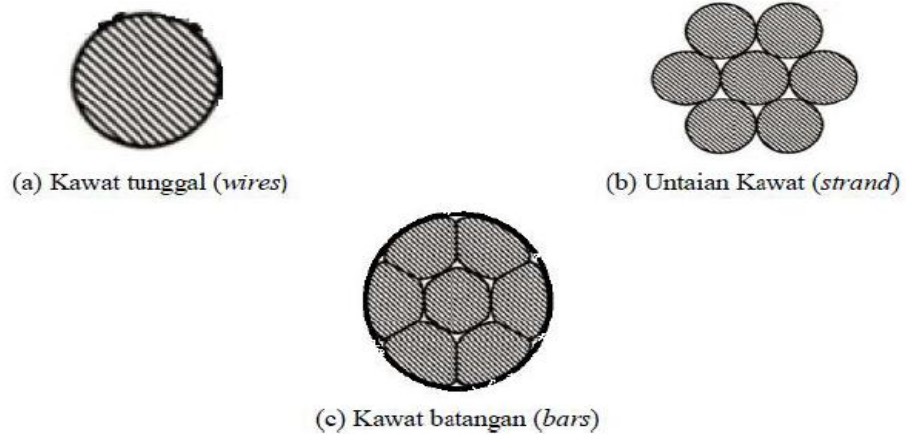
Gambar 2. Mengilustrasikan, dengan cara mendasar, aksi pemberian prategang pada kedua jenis system structural dan respons tegangan yang dihasilkan. Pada bagian (a), blok – blok beton bekerja bersama sebagai sebuah balok akibat pemberian gaya prategangan tekan P yang besar. Meskipun, mungkin blok – blok tersebut tergelincir dan dalam arah vertical mensimulasikan kegagalan gelincir geser, pada kenyataannya tidak demikian karena adanya gaya longitudinal P . dengan cara sama, papan – papan 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.

2.8.3 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 di atas, 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 kebutuhan penggunaan baja mutu tinggi untuk komponen struktur beton prategang.

Baja tendon yang dipakai untuk betonprategang dalam prakteknya ada 3 macam, yaitu :

1. kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan menggunakan system pra – tarik (*pre – tension*).
2. Kawat untaian (*strand*), 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*).



Gambar 2.14 Jenis – Jenis Baja yang Dipakai untuk Beton Prategang

2.8.4 Sistem Prategang dan Pengangkeran

Sehubungan dengan adanya perbedaan sistem dan hak paten untuk penarikan dan pengangkeran tendon, maka situasinya sedikit membingungkan dalam perancangan dan penerapan beton prategang. seorang sarjana teknik sipil harus mempunyai pengetahuan umum mengetahui metode – metode yang ada dan mengingatkannya pada saat menentukan dimensi komponen struktur, sehingga tendon – tendon dari beberapa sistem 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 – tumpuannya dengan pemakaian dongkrak (*flat jack*).
2. Pengembangan tekanan keliling (*hoop compression*) dalam struktur berbentuk silinder dengan menggulung kawat secara melingkar.
3. Pemakaian baja yang ditarik secara longitudinal yang ditanam dalam beton atau ditempatkan dalam selongsong.
4. Pemakaian prinsip distorsi suatu struktur statis tak tentu baik dengan perpindahan maupun dengan rotasi satu bagian relatif terhadap bagian lainnya.

5. Pemakaian pemotong baja struktural yang dilendutkan dan ditanam dalam beton sampai beton tersebut mengeras.
6. Pengembangan tarikan terbatas pada baja dan tekanan pada beton dengan memakai semen yang mengembang.

Metode yang biasanya dipakai untuk memberikan prategang pada beton struktural adalah dengan menarik baja ke arah longitudinal dengan alat penarik yang berbeda – beda. Prategang dengan menggunakan gaya – gaya langsung diantara tumpuan – tumpuan umumnya dipakai pelengkung dan perkerasan, dan dongkrak datar selalu dipakai untuk memberikan gaya – gaya yang diinginkan.

Pengangkeran ada 2 macam yaitu, angker mati dan angker hidup. Angker mati adalah angker yang tidak bisa dilakukan lagi penarikan setelah penegangan tendon dilakukan. Angker mati sering digunakan dalam prategang dengan sistem pratarik. Sedangkan angker hidup dapat dilakukan penarikan kembali jika hal itu diperlukan. Pengangkeran ini sering dijumpai dalam prategang dengan sistem pascatarik.



(a) Angker hidup



(b) Angker mati

Gambar 2.15 Jenis Pengangkeran

a. Sistem Pratarik (*Pre Tensioning*)

Di dalam sistem pratarik, tendon lebih dahulu ditarik antara blok – blok angkur yang tegar (*rigid*) yang dicetak di atas atau di dalam suatu kolom atau perangkat cetakan pratarik dan beton selanjutnya di cor dan dipadatkan sesuai dengan bentuk serta ukuran yang diinginkan. Oleh karena semua metode pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan beton sekelilingnya, adalah penting bahwa setiap tendon harus merekat sepenuhnya sepanjang seluruh panjang badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dari alas prapenarikan dan prategang ditransfer ke beton

Metode ini digunakan untuk beton – beton pracetak dan biasanya digunakan untuk konstruksi – konstruksi kecil. Beton – beton pracetak 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 angkur yang mati (*fixed anchorage*) dan sebuah angkur 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 angkur dan dipotong. Kabel tendon akan berusaha kembali ke bentuknya semula setelah pertambahan panjang yang diakibatkan oleh penarikan pada awal pelaksanaan. Hal inilah yang menyebabkan adanya gaya tekan internal pada beton. Oleh karena sistem pratarik 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 pra penarikan dan gaya pra tegang ditransfer ke beton.

b. Sistem Pascatarik (*Post Tensioning*)

Kebanyakan pelaksanaan *prestress* di lapangan dilaksanakan dengan metode *post – tensioning*. Pasca tarik dipakai untuk memperkuat bendungan beton, prategang melingkar dan tangki – tangki beton yang besar, serta perisai – perisai biologis dan reaktor nuklir. Pascatarik (*post – tensioning*) 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 dimasukkan dengan posisi yang benar pada cetakan beton beserta atau tanpa tendon dengan salah satu ujungnya diberi angkur hidup dan ujung lainnya angkur mati atau ke dua 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.

c. Prategang Termal Listrik

Metode prategangan dengan tendon yang dipanaskan, yang dicapai dengan melewati aliran listrik pada kawat yang bermutu tinggi, umumnya disebut “prategang termal – listrik”. Prosesnya terdiri atas pemanasan batang dengan arus listrik sampai temperatur 300 – 400 °C selama 3 – 5 menit. Batang tersebut mengalami perpanjangan kira – kira 0,3 – 0,5 persen. Setelah pendinginan, batang tersebut berusaha memperpendek diri dan ini dicegah oleh jepitan angkur pada kedua ujungnya. Waktu pendinginan diperhitungkan 12 – 15 menit. Dengan proses ini, mungkin timbul tegangan awal sebesar 500 – 600 N/mm³ pada tendon. Beton dicor ke dalam cetakan hanya setelah temperatur kawat turun di bawah 90°C.

d. 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. Karena pemuaian terjadi pada tiga arah, sehingga akan lebih sulit menggunakan sistem prategang secara kimia pada struktur – struktur yang dicor setempat seperti gedung. Akan tetapi, untuk pipa – pipa tekanan dan perkerasan jalan (*pavement*), dimana prategang sekurang – kurangnya pada dua arah. Sistem prategang kimiawi lebih ekonomis. Hal ini juga berlaku untuk pelat, dinding, dan cangkang.

2.8.5 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. Di dalam 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.

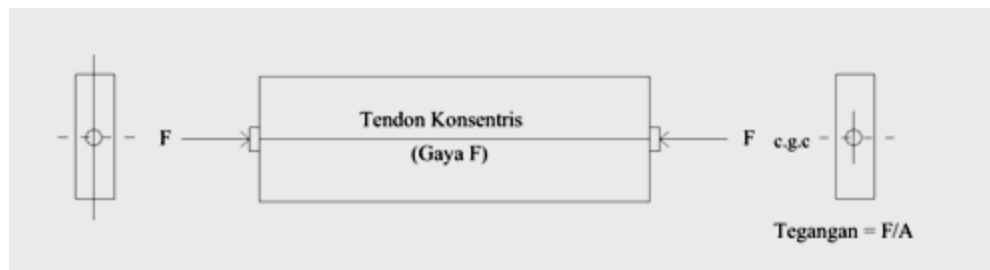
Selama tegangan tarik tidak melampaui batas modulus keruntuhan beton (yang sesuai dengan tahap retakan yang terlihat pada beton). Setiap perubahan dalam

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.

a. Tendon Konsentris

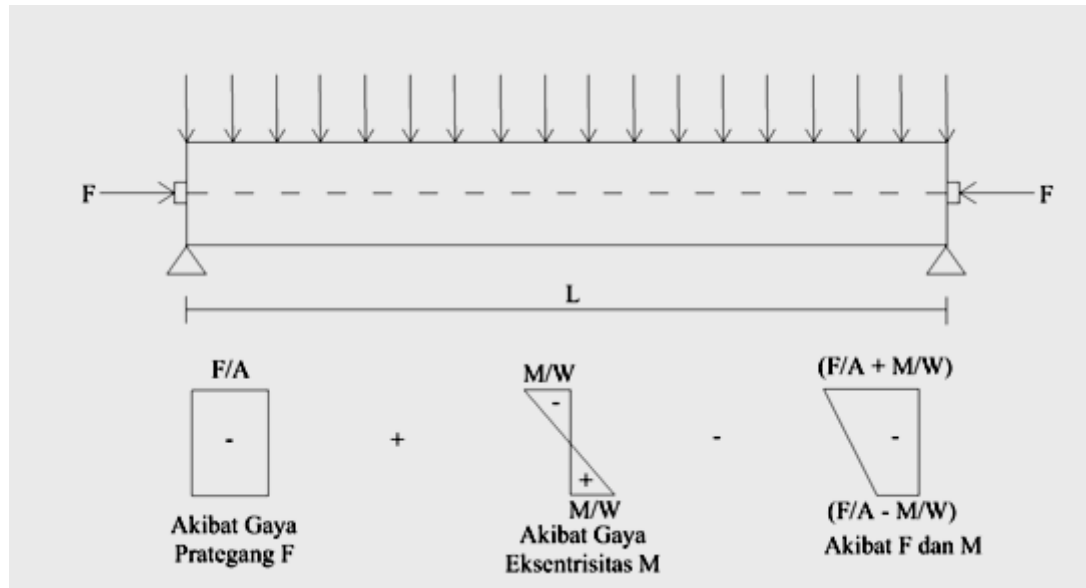
Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar dibawah ini :



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 oleh efektif dengan memakai tendon.

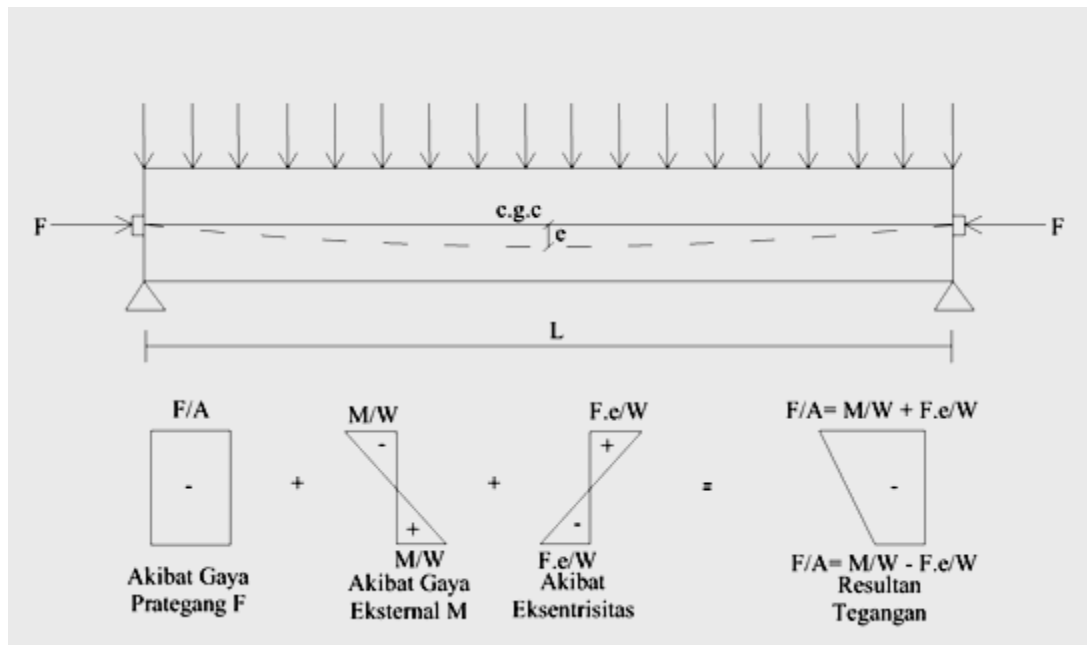


Gambar 2.17 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris

(Sumber : Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

b. Tendon Eksentris

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 menambahkan kemampuan untuk memikul beban eksternal.

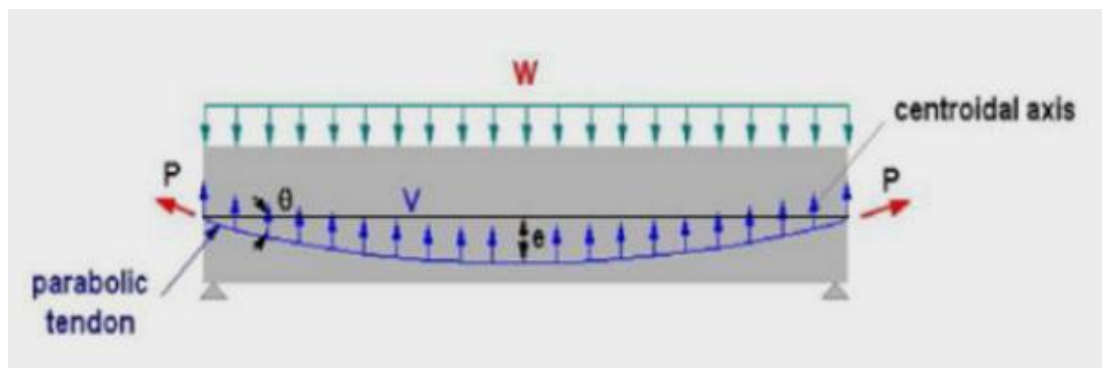


Gambar 2.18 Distribusi Tegangan Tendon Eksentris

(Sumber : Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

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

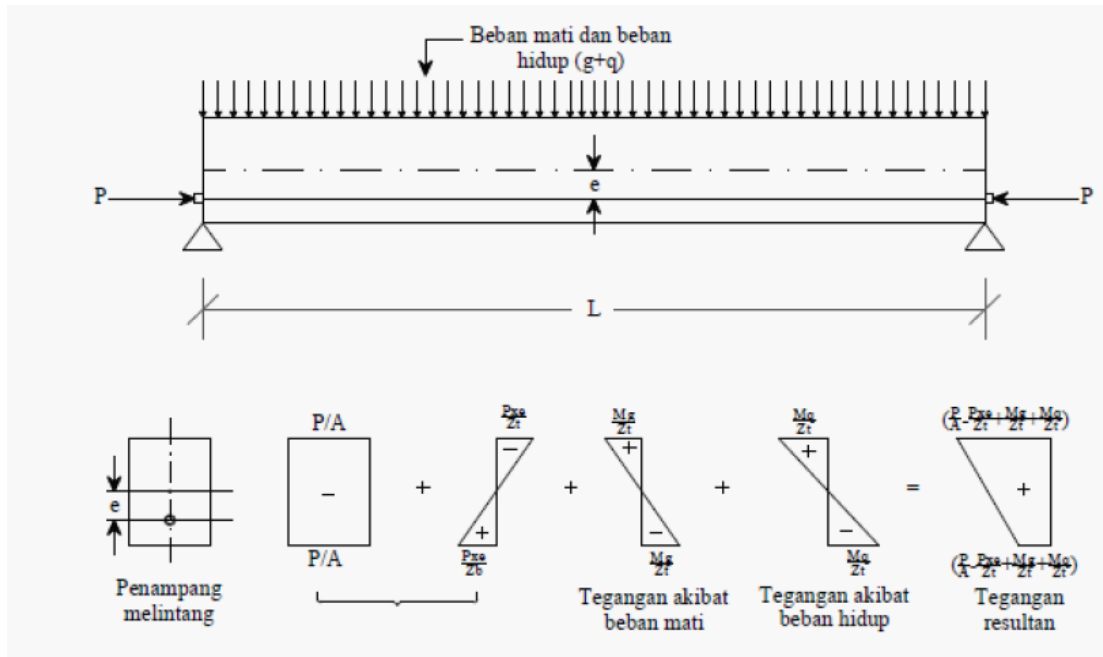
Prategangan juga menyebabkan perimbangan gaya – gaya dalam komponen beton prategang. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang post – tension.



Gambar 2.19 Gaya – Gaya Penyeimbang Beban Pada Tendon Parabola

c. Tegangan Resultan Pada Suatu Penampang

Balok beton yang diperlihatkan pada gambar di bawah 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 Mq dan Mg merupakan momen akibat beban hidup dan beban mati pada penampang di tengah bentang.



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

(Sumber : Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

2.8.6 Kehilangan Prategang

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

Kehilangan pada saat transfer berupa :

- a. Relaksasi kabel tendon
- b. Dudukan ankur pada saat penyaluran gaya (slip)
- c. Friksi akibat kelengkungan tendon saat *post – tensioning*.

Kehilangan pada saat *service* berupa :

- a. Perpendekan elastis beton
- b. Rangkak beton
- c. Susut beton

2.8.7 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 hasil akhir yang lebih cepat.

2.8.8 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

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

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

- $= 0,25\sqrt{f'c}$ (nilai ini dapat diperbesar menjadi $0,5\sqrt{f'c}$ ditumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana)
- f_c = Tegangan tekan izin maksimum di beton sesudah kehilangan ada 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
 $= 6\sqrt{f'c}$ (pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi $12\sqrt{f'c}$ 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 :

- a. Pada saat transfer

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

$$\text{Serat bawah} \quad f^b = -\frac{P_i}{Ac} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) + \frac{M_D}{S_b} \leq f_{ci}$$

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.

- b. Tegangan efektif sesudah kehilangan

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

$$\text{Serat bawah} \quad f^b = -\frac{Pe}{Ac} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) + \frac{M_D}{S_b} \leq f_c$$

c. Tegangan akhir pada kondisi beban kerja

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

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{Pe}{Ac} \left(1 + \frac{ec_b}{r^2}\right) + \frac{M_T}{S_b} \leq f_t$$

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 kejut 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 dan modulus penampang bawah beton

2.8.9 Balok dengan Eksentrisitas Tendon Bervariasi

Balok diberi prategang dengan tendon *harped* dan *draped*. Eksentrisitas maksimum boasanya 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 adaah

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

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

$$\Delta f^t = (1 - \gamma) \left[f_{ti} + \frac{M_D}{S^t} \right] \dots$$

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

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

$$f^{tn} = f_{ti} - \Delta f^t - f_c$$

atau

$$f^{tn} = \gamma f_{ti} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S^t} - f_c$$

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

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

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

$$\bar{f}_c = f_{ti} - \frac{c_t}{h} (f_{ti} - f_{ci})$$

2.8.10 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 di dalamnya gaya prategang dapat bekerja tanpa menyebabkan terjadinya tarik di serat beton ekstrim. Dan persamaan didapatkan

$$f_t = 0 = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e_{ct}}{r^2}\right)$$

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, $-e = \frac{r^2}{c_b}$ 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 :

- a. Jika gaya prategang bekerja di bawah titik kern bawah, tegangan tarik terjadi di serat ekstrim atas dari penampang beton.

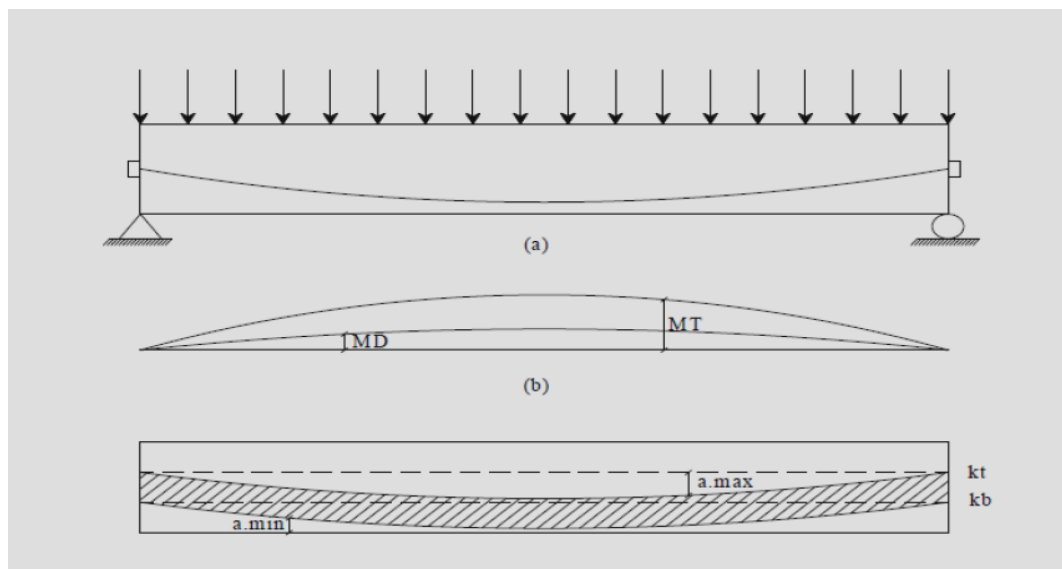
- b. Jika gaya prategang bekerja di atas titik kern atas, tegangan tarik terjadi di serat ekstrim bawah penampang beton.

2.8.11 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_{mak} , seperti terlihat pada gambar di bawah ini

Selubung egs bawah, lengan minimum dari kopel tendon adalah

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



Gambar 2.21 Penentuan Selubung cgs (a) Lokasi satu tendon (b) gambar bidang momen (c) batas – batas selubung cgs (1')

$$a_{max} = \frac{M_T}{P_i}$$

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.

2.10 Manajemen Proyek

2.10.1 Kuantitas Pekerjaan

Perhitungan kuantitas pekerjaan merupakan hal yang sangat penting dalam suatu pembangunan konstruksi, guna untuk mengetahui berapa banyak bahan, tenaga kerja, dan alat berat atau kendaraan yang dibutuhkan. Biasanya perhitungan kuantitas pekerjaan dibuat dalam bentuk sebuah daftar.

a. Menganalisa biaya pekerjaan

Analisa biaya suatu pekerjaan dilakukan per – elemen pekerjaan yang dihitung secara teliti pada kuantitas pekerjaan yang dapat dilihat pada daftar kuantitas pekerjaan, kemudian dikalikan dengan analisa masing – masing pekerjaan. Hasil dari penjumlahan biaya konstruksi tersebut disebut dengan rekapitulasi.

b. Membuat daftar harga bahan dan upah

Harga bahan dan upah yang standar dikeluarkan oleh instansi pemerintah, dalam suatu propinsi untuk daerah yang satu dengan daerah yang lainnya

harga suatu bahan dan upah dapat berbeda – beda, sesuai dengan sulit mudahnya daerah tersebut dijangkau.

c. Rekapitulasi biaya pekerjaan

Untuk mengetahui besarnya rencana anggaran biaya suatu pekerjaan yang dihitung, maka harus dibuat rekapitulasi dari masing – masing item pekerjaan yang dilaksanakan oleh instansi pemerintah dalam rekap tersebut sudah dimasukkan pajak serta keuntungan dari kontraktor.

d. Analisa alat berat

Pemakaian alat berat dalam pekerjaan teknik sipil, pertambangan dan pekerjaan tanah dalam skala besar hampir tak dapat dielakkan. Bahkan alat – alat tersebut merupakan faktor dominan yang menentukan keberhasilan suatu pekerjaan, agar tepat waktu dan sesuai dengan yang diisyaratkan.

Ada dua hal yang menjadi pertimbangan dalam membuat keputusan penggunaan alat berat yaitu :

1. Prinsip dasar perhitungan alat berat.

Perhitungan produksi kerja alat berat adalah kemampuan kerja sebuah alat berat sesuai fungsi dalam satu jam kerja. Perhitungan produksi kerja alat bertumpu pada tiga hal : tenaga yang dibutuhkan, tenaga yang tersedia dan tenaga yang dapat digunakan.

2. Prinsip dasar perhitungan biaya pemilikan dan operasi alat berat

Biaya pemilikan dan operasi adalah jumlah biaya yang diperlukan untuk mengoperasikan alat berat dalam satu jam kerja, baik biaya – biaya tetap maupun biaya variabel. Biaya pemilikan terdiri dari biaya penyusutan, biaya bunga, biaya pajak, biaya pelumas, filter, ban/roda rantai, reoperasi serta upah operator dan operator.

2.10.2 Rencana Anggaran Biaya

Anggaran biaya adalah suatu daftar yang memuat jenis pekerjaan, volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan. Amksud dan tujuan dari penyusunan anggaran

biaya suatu proyek adalah untuk mengetahui jumlah biaya yang diperlukan dalam pembangunan suatu bangunan guna mewujudkan bangunan tersebut sesuai dengan yang direncanakan. Pada tahap penyusunan rencana anggaran biaya suatu jembatan, analisa setiap item pekerjaan dan data spesifikasinya sangat diperlukan. Dengan mengalihkan analisa dari harga suatu bahan dan upah dengan setiap item pekerjaan, maka akan diperoleh biaya masing – masing item pekerjaan.

Dalam menghitung analisa biaya, harus dilakukan dengan seteliti mungkin guna mendapatkan besarnya biaya konstruksi yang seefisien mungkin. Kontraktor dalam menghitung anggaran biaya untuk penawaran harus berpedoman pada *bill of quantity*, gambar kerja, spesifikasi, mutu bahan alat berat yang digunakan serta kondisi lapangan.

Pada rencana anggaran biaya ini menyajikan analisa – analisa untuk setiap item pekerjaan jembatan dan akan diketahui seluruh biaya konstruksi. Pada proyek jembatan ini pekerjaan dilakukan mulai dan persiapan dan pembersihan sampai akhir pekerjaan administrasi.

2.10.3 Network Planning

Network planning adalah alat untuk mengkoordinasikan berbagai macam pekerjaan yang ada yang satu sama lainnya bebas dan atau saling bergantung berdasarkan pertimbangan sumber daya yang digunakan, logika proses yang berlangsung, dan hasil proses itu sendiri.

Dalam pemakaiannya, yaitu pada penyelenggaraan proyek, *network planning* menggunakan model yang berupa diagram yang disebut *network diagram*. Network diagram adalah visualisasi proyek berdasarkan *network planning* berupa diagram yang berisi lintasan – lintasan yang terdiri dari kegiatan – kegiatan yang harus dikerjakan dan terdiri dari peristiwa – peristiwa yang harus terjadi selama penyelenggaraan proyek.

Adapun keuntungan dibuatnya NWP adalah :

1. dengan digambarnya logika pada setiap pekerjaan, maka memaksa kita untuk merencanakan setiap proyek sampai sedetail mungkin.
2. Dalam NWP akan ditunjuk dengan jelas yang mana hal – hal waktu penyelesaian sangat kritis dan yang tidak, sehingga akan membuat kita dapat merencanakan pada pekerjaan – pekerjaan tertentu.

2.10.4 Barchart

Dari NWP dapat dibuat suatu barchart, apabila di dalam NWP banyak diketahui kapan mulainya dan berakhirnya suatu pekerjaan maka dalam *barchart* akan diketahui pula jumlah pekerjaan atau tenaga kerja yang dipekerjakan dalam proyek tersebut. Pekerjaan tersebut dapat dibuat persatuan waktu, misalnya hari, minggu, atau bulan. Jadi jumlah pekerjaan harus benar – benar disesuaikan dengan kebutuhan dan pemakaian selama pekerjaan proyek.

2.10.5 Kurva S

Kurva S erat kaitannya dengan *Network Planning*, Kurva S dibuat berdasarkan nilai dan pekerjaannya berupa persentase yang didapat dan perbandingan dan biaya keseluruhan yang ada, kemudian dikalikan 100 %. Dengan penjadwalan waktu penyelesaian pekerjaan dan penentuan bobot dan tiap – tiap pekerjaan dapat dibuat kurva yang menyerupai huruf S. Kegunaan Kurva S adalah untuk mengontrol pekerjaan yang dilaksanakan apakah sesuai dengan kalender kerja sehingga pekerjaan dapat dilaksanakan sesuai dengan target waktu dan dana yang disediakan. Kurva S dapat dilihat apakah pekerjaan yang dilaksanakan lebih cepat dan yang direncanakan atau mengalami keterlambatan dalam waktu pelaksanaannya.