

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum

Jembatan adalah suatu bangunan struktur yang berfungsi sebagai penghubung suatu tempat ke tempat lainnya yang terputus oleh adanya rintangan yang seperti Jurang, sungai, maupun rintangan lainnya. Menurut Ir. H. J. Struyk dalam bukunya “Jembatan” mengatakan bahwa jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau lalu lintas biasa). Apabila letak jembatan tersebut berada di atas jalan lalu lintas biasa maka disebut *viaduct*.

Klasifikasi jembatan berdasarkan berbagai macam jenis atau tipe menurut fungsi, lokasi, material yang dipakai, tipe strukturnya dan lain-lain sebagai berikut:

1. Klasifikasi berdasarkan fungsinya:
 - a. Jembatan jalan raya (*highway bridge*)
 - b. Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*)
 - c. Jembatan jalan kaki/penyebrangan (*pedestrian bridge*)
2. Klasifikasi berdasarkan lokasi:
 - a. Jembatan diatas sungai, danau, atau laut
 - b. Jembatan diatas lembah
 - c. Jembatan diatas jalan (*flyover*)
 - d. Jembatan diatas saluran irigasi (*culvert*)
 - e. Jembatan di dermaga
3. Klasifikasi berdasarkan material yang dipakai:
 - a. Jembatan kayu (*log bridge*)
 - b. Jembatan beton (*concrete bridge*)
 - c. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)
 - d. Jembatan baja (*steel bridge*)
 - e. Jembatan komposit (*composite bridge*)

4. Klasifikasi berdasarkan tipe strukturnya:

- a. Jembatan pelat (*slab bridge*)
- b. Jembatan pelat berongga (*voided slab bridge*)
- c. Jembatan gelagar (*girder bridge*)
- d. Jembatan rangka (*truss bridge*)
- e. Jembatan pelengkung (*arch bridge*)
- f. Jembatan gantung (*suspension bridge*)
- g. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*)
- h. Jembatan kantilever (*cantilever bridge*)

2.2 Bagian-bagian Elemen Struktur Jembatan

Secara umum jembatan memiliki dua bagian elemen struktur yaitu bangunan atas (*superstructure*) dan bangunan bawah (*substructure*). bangunan atas adalah bagian jembatan yang menerima beban langsung dari lalu lintas kendaraan, beban pejalan kaki, dan juga beban mati yang diteruskan ke bangunan bawah. Bangunan bawah adalah merupakan bangunan yang berfungsi sebagai menerima ataupun beban yang didapat dari bangunan atas dan kemudian diteruskan ke pondasi.

2.2.1 Bagian-Bagian Bangunan Atas

Bangunan atas jembatan merupakan bangunan yang berfungsi menampung beban-beban yang di timbulkan oleh lalu lintas orang, kendaraan dan kemudian menyalurkan kepada bangunan bawah. Berikut ini adalah komponen-komponen bangunan atas jembatan

a. Plat Injak

Plat injak adalah suatu konstruksi beton pada jalan pendekat di ujung bibir jembatan yang berada sebelum konstruksi utama jembatan.

b. Tiang Sandaran

Tiang sandaran adalah bagian jembatan yang berfungsi agar membuat rasa aman bagi lalu lintas kendaraan maupun orang yang melewatinya.

c. Trotoar

Trotoar adalah jalur pejalan kaki yang umumnya sejajar dengan jalan raya atau lebih tinggi dari permukaan jalan raya untuk menjamin keamanan pejalan kaki.

d. Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang terletak pada jembatan yang memanjang arah jembatan. Komponen ini merupakan suatu bagian struktur yang menahan beban langsung dari plat lantai.

e. Balok Diagfragma

Balok diagfragma merupakan elemen yang ditempatkan pada elemen lain atau pada sistem bangunan atas untuk mendistribusikan gaya-gaya serta untuk meningkatkan kekuatan pada struktur jembatan.

f. Perletakan

Perletakan dibuat untuk menerima gaya-gaya dari konstruksi bangunan atas baik secara horizontal, vertikal maupun lateral dan menyalurkan ke bangunan bawah.

2.2.2 Bagian-Bagian Bangunan Bawah

Bangunan bawah jembatan merupakan bangunan yang berfungsi sebagai penerima atau memikul beban -beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian disalurkan ke pondasi. Berikut ini adalah komponen-komponen bangunan bawah jembatan :

a. Abutment

Abutment adalah bangunan bawah jembatan yang terletak pada dua ujung pilar-pilar jembatan, berfungsi sebagai pengikul seluruh beban hidup dan mati. Dalam perencanaan abutmen selain beban-beban yang bekerja, juga diperhatikan kondisi lingkungan seperti angin, aliran air, gempa, dan penyebab-penyebab alam lainnya.

b. Pondasi

Pondasi berfungsi untuk sebagai pengikul beban dari atas dan meneruskannya kelapisan tanah pendukung tanpa mengalami konsolidasi

atau penurunan yang berlebihan. Hal-hal yang diperlukan dalam perencanaan pondasi adalah

1. Daya dukung tanah terhadap konstruksi
2. Beban-beban yang bekerja pada tanah baik secara langsung maupun tidak langsung

c. Pilar

Pilar berbeda dengan abutmen yang jumlahnya dua dalam satu jembatan bentuk pilar harus mempertimbangkan lebar sungai dan lalu lintas sungai sehingga dalam perencanaannya juga memperhitungkan fungsi sungai tersebut. Dalam segi jumlah pilar juga tergantung dari jarak bentang jembatan, keadaan sungai, dan keadaan tanah.

d. Plat Injak

Plat indak adalah kontruksi beton pada jalan di ujung bibir jembatan (oprit) yang berada sebelum kontruksi utama jembatan. Plat injak harus dipasang diantara jalan pendekat dan kepala jembatan. Proses pembuatan plat injak umumnya setelah proses penghamparan lapis pondasi agregat kelas B pada oprit.

Fungsi plat injak adalah untuk mencegah terjadinya penurunan setempat (*settlement*) pada tanah dasar di belakang jembatan yang diakibatkan adanya beban kendaraan sebagai beban terpusat pada daerah dibelakang back wall abutment.

e. Oprit

Oprit adalah jalan pendekat menuju jembatan, berada di belakang abutment yang dapat terbuat dari pasir urug.

2.3 Standar Peraturan Perencanaan Jembatan Beton Prategang

Perencanaan jembatan ini mengacu kepada standar peraturan yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum antara lain :

1. SNI 1725 - 2016 Standar Pembebanan Untuk Jembatan
2. RSNI T – 12 – 2005 Standar Pembebanan Untuk Jembatan

3. RSNI T – 12 – 2004 Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan

2.4 Pembebanan Jembatan

2.4.1 Aksi dan Beban Tetap

semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya

a. Berat Sendiri

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap

Tabel 2.1 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	Ks MS		Ku MS	
			Biasa	Terkurangi
TETAP	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor ditempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

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

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah 9,81 m/detik². Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam 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 (bituminous wearing surfaces)	22,0	2245
2	Besi tuang (cast iron)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (compacted sand, silt or clay)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (rolled gravel, macadam or ballast)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (asphalt concrete)	22,0	2245
6	Beton ringan (low density)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8	Baja (steel)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (hard wood)	11,0	1125

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

b. Beban Mati Tambahan / Ultimit

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.

Tabel 2.3 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor Beban (γ)			
	Keadaan Batas Layan		Keadaan Batas Ultimit	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan (1) : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

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

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.

2.4.2 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.

a. Umum

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. 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. Dalam keadaan tertentu beban "D" yang nilainya telah diturunkan atau dinaikkan dapat digunakan.

b. 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. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.4 . Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Tabel 2.4 Tabel Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaraan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu- lintas Rencana (n_1)
Satu jalur	3,0 – 5,25	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)

c. Beban Lajur “D”

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.1. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Faktor Beban Akibat Beban Lajur “D”

JANGKA WAKTU	Jembatan	FAKTOR BEBAN	
		Keadaan Batas Layan	<i>Keadaan Batas Ultimit</i>
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

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

Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti berikut:

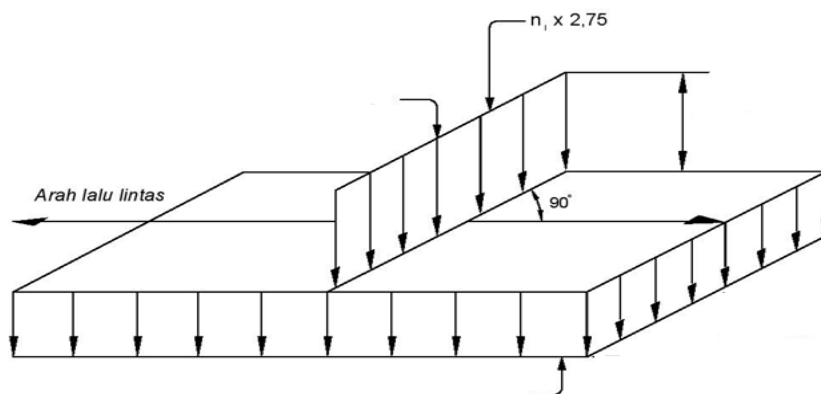
$$L < 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 [0.5 + 15 / L] \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan pengertian :

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

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



Gambar 2.1 Beban Lajur “D”

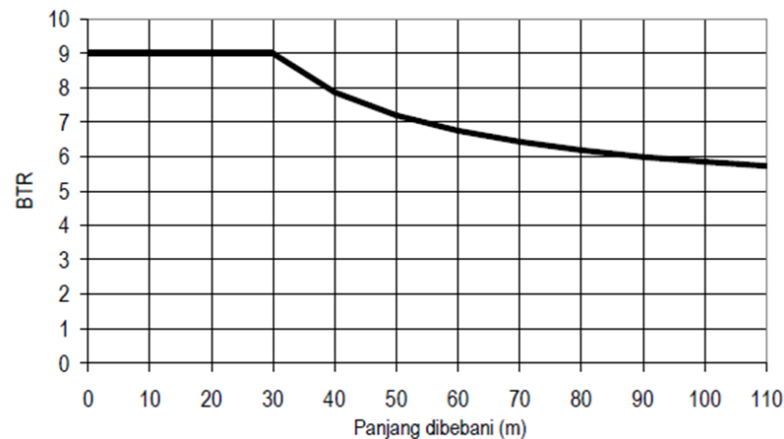
(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI -1725-2016)

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 masing-masing panjang beban yang dipecah.

Beban garis (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.

Distribusi beban "D" beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D".

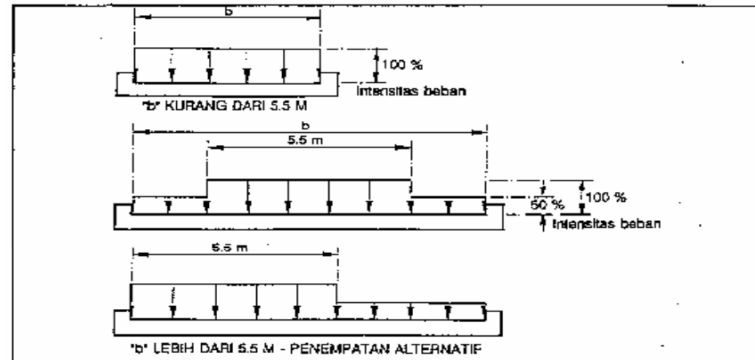


Gambar 2.2 Beban "D" BTR Vs panjang yang dibebani
(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI -1725-2016)

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 (nl) intensitas 100 %. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar $nl \times 2,75 q$ kN/m dan beban terpusat ekuivalen sebesar $nl \times 2,75 p$ kN, kedua-duanya bekerja berupa *strip* pada jalur selebar $nl \times 2,75$

m. Untuk penyebaran pembebanan arah pada arah melintang bisa dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang

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

3. Lajur lalu lintas rencana yang membentuk strip ini bisa ditempatkan dimana saja padan jalur jembatan. Beban "D" tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan intensitas sebesar 50 %. pembebanan ini bisa dilihat dalam Gambar 2.3.
4. Luas jalur yang ditempati median harus dianggap bagian jalur dan dibebani dengan beban yang sesuai, kecuali apabila media tersebut terbuat dari penghalang atau lalu lintas yang tetap.

d. Beban "T"

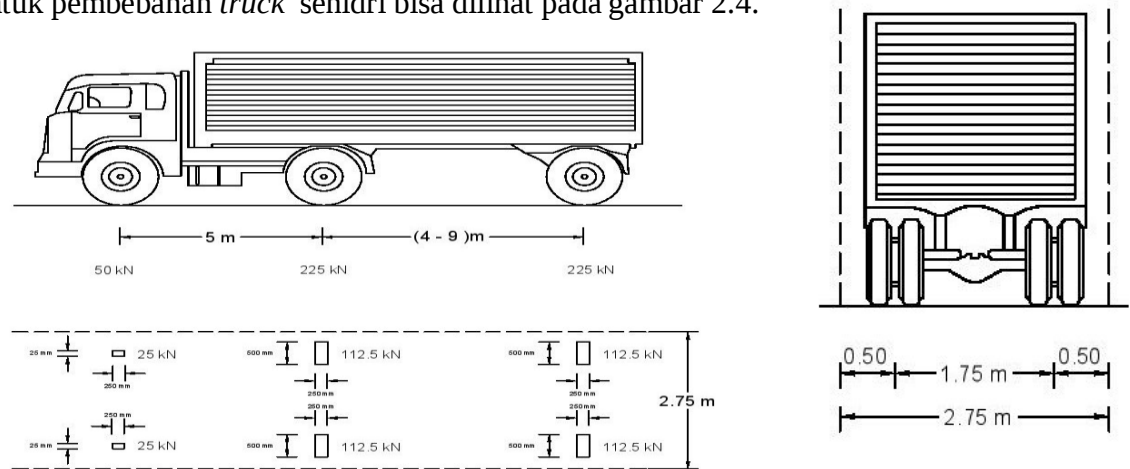
Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as, dapat dilihat pada Gambar 2.4. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah-ubah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

Tabel 2.6 Faktor Beban Akibat Beban Truck "T"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan	Keadaan Batas Ultimit
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

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

Untuk pembebanan *truck* sendiri bisa dilihat pada gambar 2.4.



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

Gambar 2.4 Pembebanan Truk

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 26. 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. Dengan persetujuan Instansi yang berwenang, pembebanan "D" dapat diperbesar di atas 100 % untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat. Faktor pembesaran di atas 100%. 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 truk "T", FBD ialah 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 dinyatakan dengan rumus :

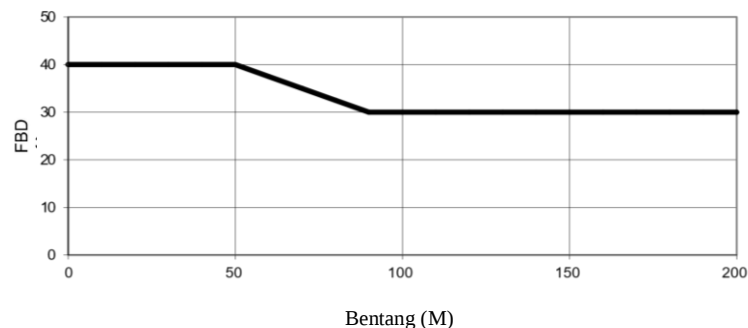
$$L_E = \sqrt{L_{av} - L_{max}} \dots\dots\dots (2.3)$$

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%. Harga FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berbeda diatas permukaan tanah. Untuk bagian bawah bangunan bawah dan pondasi yang berbeda dibawah garis permukaan, harga FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari harga pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m, seperti pada gambar 2.5.



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

Gambar 2.5 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur "D"

e. Gaya Rem

Bekerjanya gaya-gaya diarah 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 seperti yang ada pada tabel 2.7. tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu

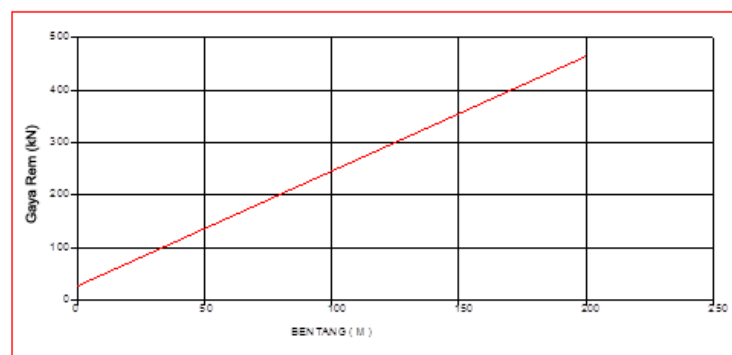
jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m diatas permukaan lantai kendaraan. Beban lajur D disini jangan direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m, $q = 9$ kPa.

Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat Gaya Rem

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_s TB$	$K_u TB$
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 dari 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. Gaya rem per lajur 2,75 m dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Gaya Rem per Lajur 2,75 M

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

f. Gaya sentrifugal

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 :

$$C = f \frac{v^2}{gRl} \dots\dots\dots (2.4)$$

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)

Gaya sentrifugal harus diberlakukan secara horizontal pada jarak ketinggian 1800 mm diatas permukaan jalan. Dalam hal ini, perencana harus menyediakan mekanisme untuk meneruskan gaya sentrifugal dari permukaan jembatan menuju struktur bawah jembatan. Pengaruh superelevasi yang mengurangi momen guling akibat gaya sentrifugal akibat beban roda dapat dipertimbangkan dalam perencanaan.

g. Beban pejalan kaki

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.

2.4.3 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 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.

1. Penurunan

Tabel 2.8 Faktor Beban Akibat Penurunan

Tipe Beban	FAKTOR BEBAN	
	Keadaan Batas Layan	Keadaan Batas Ultimit
Permanen	1,0	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 2.7. Penurunan dapat diperkirakan dari pengujian yang dilakukan terhadap lapisan tanah. Apabila perencana memutuskan untuk tidak melakukan pengujian, tetapi besarnya penurunan diambil sebagai suatu anggapan, maka nilai anggapan tersebut merupakan batas atas dari penurunan yang bakal terjadi. Apabila nilai penurunan ini besar, perencanaan bangunan bawah dan bangunan atas jembatan harus memuat ketentuan khusus untuk mengatasi penurunan tersebut.

2. Deformasi

Gaya dalam yang terjadi karena deformasi akibat rangkai dan susut harus diperhitungkan dalam perencanaan. Selain itu pengaruh temperatur gradien harus dihitung jika diperlukan. Gaya-gaya yang terjadi akibat adanya pengekangan deformasi komponen maupun tumpuan serta deformasi pada lokasi dimana beban bekerja harus diperhitungkan dalam perencanaan.

a) Temperatur merata

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini. Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.10. Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum

dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 2.10 harus digunakan sebagai $T_{min\ design}$ dan $T_{max\ design}$.

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (T) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut :

$$\Delta_T = \alpha L (T_{max\ design} - T_{min\ design}) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

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

Tabel 2.9 Temperatur jembatan rata-rata nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

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

Tabel 2.10 Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	200
Beton :		
Kuat tekan < 30 MPa	12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	$4700\sqrt{f_c'}$
Kuat tekan > 30 Mpa	12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	$4700\sqrt{f_c'}$

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

b) Pengaruh susut dan rangkak

Pengaruh rangkak dan penyusutan harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan beton. Pengaruh ini dihitung menggunakan beban mati jembatan. Apabila rangkak dan penyusutan bisa mengurangi pengaruh muatan lainnya, maka nilai dari rangkak dan penyusutan tersebut harus diambil minimum (misalnya pada waktu transfer dari beton prategang).

Tabel 2.11 Faktor beban akibat susut dan rangkak

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{SH})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{SH}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{SH}^U)
Tetap	1,0	0,5
Catatan : Walaupun susut dan rangkak bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan		

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

c) Pengaruh Prategang

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit (Tabel 2.13).

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

Tabel 2.12 Faktor beban akibat prategang

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{PR})	
	Keadaan Batas Layan (γ^S_{PR})	Keadaan Batas Ultimit (γ^U_{PR})
Tetap	1,0	1,0

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

3. Beban Angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (VB) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, VDZ, harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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 gaya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut :

$$TEW = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \text{ [kN]} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan pengertian :

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

CW adalah koefisien seret.

Ab adalah luas koefisien bagian samping jembatan (m²)

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

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \frac{Z}{Z_0} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

V_{DZ} adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

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

V_B adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan seperti yang disebutkan dalam 9.6.1.1 dan Pasal 9.6.2.

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

V_0 adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.14, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)

Z_0 adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 2.14 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

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

Tabel 2.13 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	25000

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

4. Beban Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. 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 :

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

Keterangan :

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.

Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional. Pemilik pekerjaan harus menentukan dan menyetujui ketentuan yang sesuai untuk jembatan nonkonvensional. Ketentuan ini tidak perlu digunakan untuk struktur bawah tanah, kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan. Pengaruh gempa terhadap gorong-gorong persegi dan bangunan bawah tanah tidak perlu diperhitungkan kecuali struktur tersebut melewati patahan aktif. Pengaruh ketidakstabilan keadaan tanah (misalnya : likuifaksi, longsor, dan perpindahan patahan) terhadap fungsi jembatan harus diperhitungkan. Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan.

Pasal ini menetapkan metode 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:

$$T \cdot E_Q = K_h I W T \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana:

$$K_h = C S \dots\dots\dots (2.10)$$

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

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

Faktor beban akibat pengaruh gempa dapat diambil pada tabel 2.14.

Tabel 2.14 Faktor Beban Akibat Pengaruh Gempa

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

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI T -02-2016)

2.4.4 Aksi lainnya

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 2.15 Faktor Beban Akibat Gesekan Pada Perletakan

Tipe Beban	FAKTOR BEBAN		
	Keadaan Batas Layan	Biasa	Terkurangi
tetap	1,0	1,3	0,8

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI T -02-2016)

Catatan: gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya

Pergerakan pada bangunan atas tetapi gaya sisi mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat diatas jembatan dan akibat pejalan kaki pada jembatan penyeberangan 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 faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada trotoar.

2.4.5 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 tabel 2.16.

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatig (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan : γ_p dapat berupa $\gamma_{MS}, \gamma_{MA}, \gamma_{TA}, \gamma_{PR}, \gamma_{PL}, \gamma_{SH}$ tergantung beban yang ditinjau

γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI T -02-2016)

2.5 Peraturan Beton Jembatan

2.5.1 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 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 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.

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/m³ dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa.

2) 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 550 MPa, kecuali untuk tendon prategang.

Tegangan ijin tarik pada tulangan non-prategang boleh diambil dari ketentuan,

- 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.
- Ditentukan dari hasil pengujian.

3) 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 : $0,70 f_{pu}$.
- dan untuk kondisi 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 : 200×10^3 MPa;
- untuk *strand* tegang-lepas : 195×10^3 MPa;
- untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi : 170×10^3 MPa;

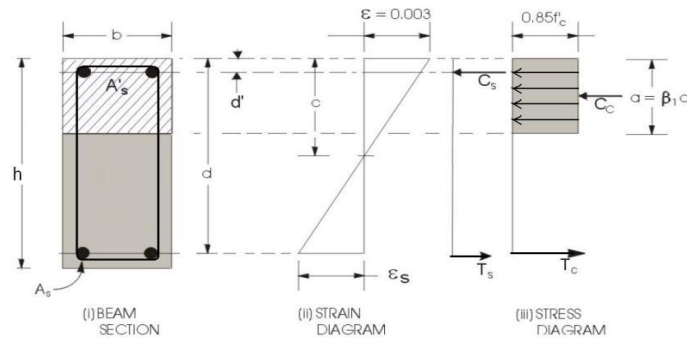
2.5.2 Perencanaan kekuatan struktur beton bertulang

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 regangan 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 $a = \beta_1 c$ dari tepi tertekan terluar tersebut.

Jarak c dari tepi dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus sumbu tersebut. Regangan dan tegangan pada penampang beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Design of Rectangular Beam Section

Gambar 2.7 Regangan dan Tegangan Pada Penampang Beton Bertulang

(Sumber: Perancangan Struktur Beton Bertulang, Agus Setiawan)

Faktor β_1 harus diambil sebesar:

Ini $\beta_1 = 0,85$ untuk $f'_c < 30$ MPa (5.1-1)

Ini $\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30)$ untuk $f'_c > 30$ 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:

- 1,5 kali ukuran nominal maksimum agregat; atau
- 1,5 kali diameter tulangan; atau
- 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 keatas tidak diizinkan karena kesulitan dalam pengangkuran 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.

2.6 Gelagar Beton Prategang

2.6.1 Beton prategang

Beton prategang bukan merupakan konsep baru, pada tahun 1872, pada saat *P.H Jacson*, seorang insinyur dari *California*, mendapatkan paten untuk *system* struktural yang menguankan *tie rod* untk membuat pelengkung dari balok – balok. Pada tahun 1888, *C.W Doehring* dari Jerman memperoleh paten untuk memberikan prategang pada slab dengan kawat-kawat metal.

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

Beton prategang adalah material yang sangat digunakan dalam kontruksi. Beton prategang pada dasarnya adalah beton dimana tegangan-tegangan internal dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan yang diberikan oleh beban beban luar dilawan sampai suatu titik yang diinginkan.

Prategang meliputi tambahan gaya tekan pada struktur untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan gaya tarik internal dalam hal ini retak pada beton dapat dihilangkan. 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.

Keuntungan dari beton prategang merupakan komponen struktur prategang mempunyai tinggi lebih kecil dibanding beton bertulang untuk kondisi bentang dan beban yang sama. Pada umumnya tinggi komponen struktur beton prategang berkisar antara 65 sampai 80 persen dari tinggi struktur komponen beton bertulang.

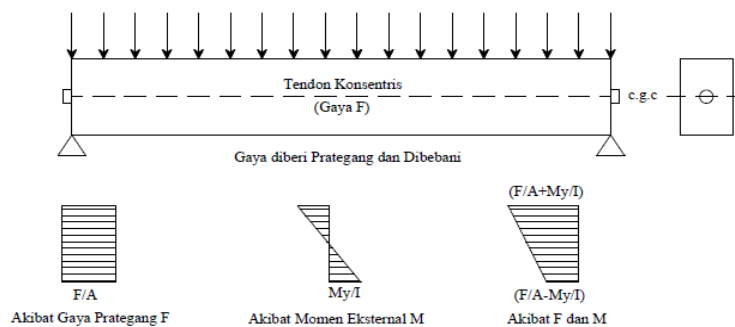
2.6.2 Konsep dasar beton prategang

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 getas menjadi bahan yang elastis yang memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu atau (pra-tekan) pada bahan tersebut.

Beton yang tidak mampu menahan tarik dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah lahir kriteria “tidak ada tekanan tarik” pada beton.

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



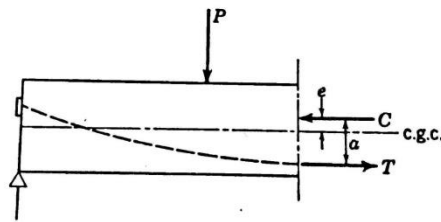
Gambar 2.9 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

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

Umumnya tidak telah diketahui bahwa tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak ada terjadi retak, beton bukan merupakan bahan yang getas lagi melainkan bahkan yang elastis. Dalam bentuk yang sederhana, ditinjau sebuah balok persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani oleh gaya eksternal.

Konsep kedua, *system* prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton. 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 mutu tinggi

dipakai dengan cara menarik sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton biasa, beton disekitarnya akan mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Untuk momen penahan internal pada balok beton prategang dan bertulang dapat dilihat pada gambar 2.10

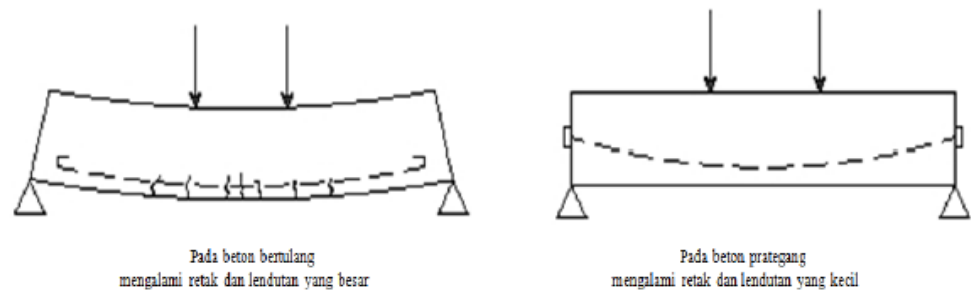


Gambar 2.10 Momen Penahan Internal Pada Balok Beton Prategang Dan Bertulang

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

Pada beton prategang, baja mutu tinggi diapakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika baja mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekiarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik sebelumnya (pratarik) terhadap beton.

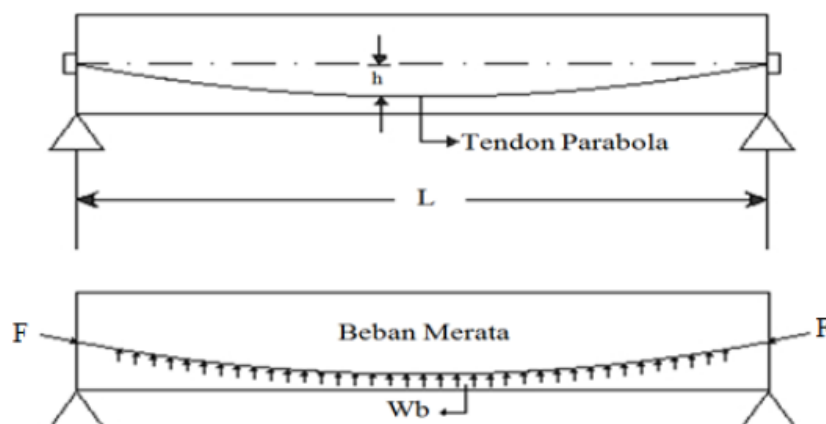
Dengan menarik dan menjangkarkan baja ke tendon, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan pada beton tekan, dan regangan tarik pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja hanya ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. 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, Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan 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 plat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisa struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang.

Balok prategang dengan tendon parabola dapat dilihat pada gambar 2.12.

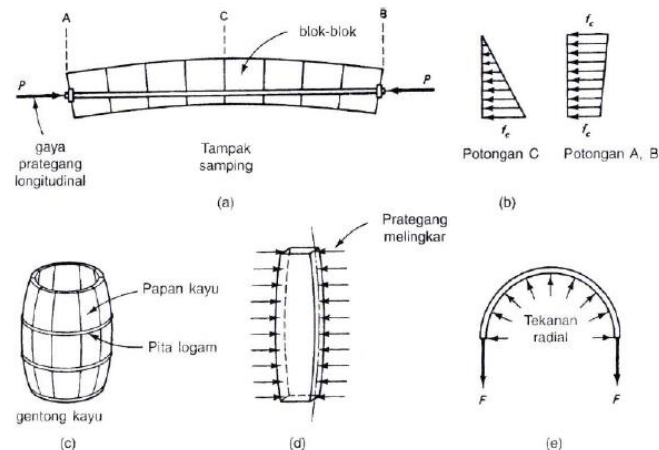


Gambar 2.12 Balok Prategang Dengan Tendon Parabola
(Sumber: Desain struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

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

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.

2.6.3 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.

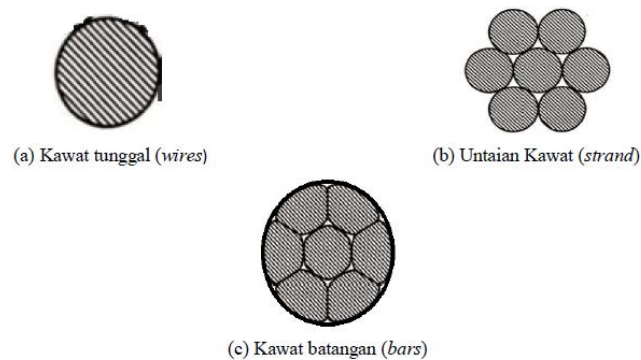
Besarnya kehilangan prategang normal dapat diperkirakan di dalam selang 35.000 sampai 60.000 psi (241 sampai 413 Mpa). Karena itu, prategang awal harus sangat tinggi, sekitar 180.000 sampai 220.000 psi (1241 sampai 1571 Mpa).

Dari besarnya kehilangan prategang yang disebutkan 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 kebutuhan penggunaan baja mutu tinggi untuk komponen struktur beton prategang.

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

- 1) Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan *system* pra-tarik (*Pre-tension*)
- 2) Kawat untai (*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*)

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) untai Kawat (*strand*). (c) Kawat batangan (*bars*)

(Sumber: Prestressed Concrete Design, MK. Hurst)

2.6.4 Sistem prategang dan pengangkeran

Sehubungan dengan perbedaan *system* untuk penarikan dan pengangkeran 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.

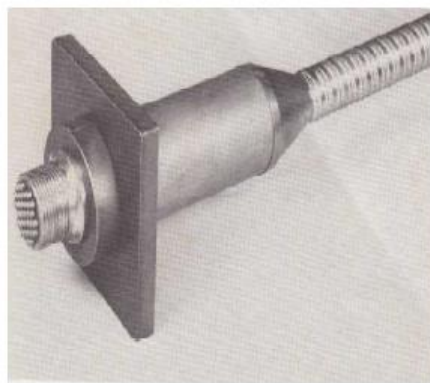
Berbagai metode dengan nama pratekanan (*pre-compression*) diberikan pada beton dapat dilakukan sebagai berikut:

- 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.

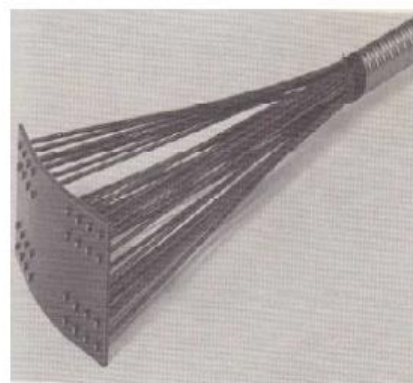
- 4) Pemakaian prinsip distorsi suatu struktur statis tak tentu baik dengan perpindahan maupun dengan rotasi satu bagian relatif terhadap bagian lainnya.
- 5) Pemakaian pemotong baja struktural yang dilendutkan dan ditanam dalam beton sampai beton tersebut mengeras.
- 6) Pengembangan tarikan terbatas pada baja dan tekanan pada beton dengan memakai semen yang mengembang.

Metode yang biasa 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.

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.



(a) Angker hidup



(b) Angker mati.

Gambar 2.15 Jenis Pengankeran
(Sumber : Beton Pratekan, N Krishna Raju)

1) Sistem Pratarik (*Pre-tensioning*)

Didalam system pra-tarik (*pre-tensioning*), tendon lebih dahulu ditarik antara blok-blok angker 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 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 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 lainnya 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 Termis-Listrik

Metode prategang dengan tendon yang dipanaskan, yang dicapai dengan melewati aliran listrik pada kawat yang bermutu tinggi, umumnya disebut sebagai “Prategang Termis-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, pempendekan 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.

Karena pemuaian terjadi pada tiga arah, sehingga akan lebih sulit untuk menggunakan *system* 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. *System*

prategang kimiawi lebih ekonomis. Hal ini juga berlaku untuk pelat, dinding, dan cangkang.

2.6.5 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.:

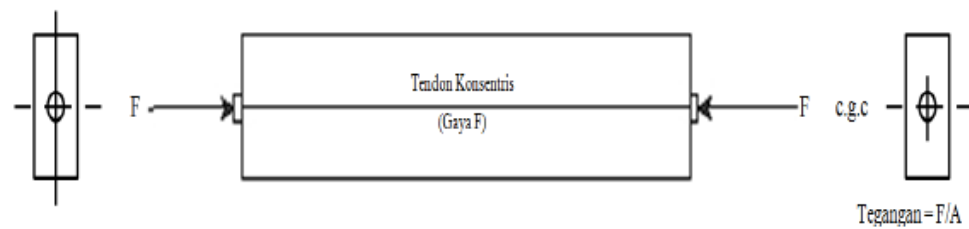
- 1) Beton prategang adalah suatu material yang elastis.
- 2) Didalam batas-batas tegangan kerja, baik beton maupun baja berperilaku elastis. tidak dapat menahan rangkai yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut pada pembebanan terus-menerus.
- 3) Suatu potongan datar sebelum melentur dianggap 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

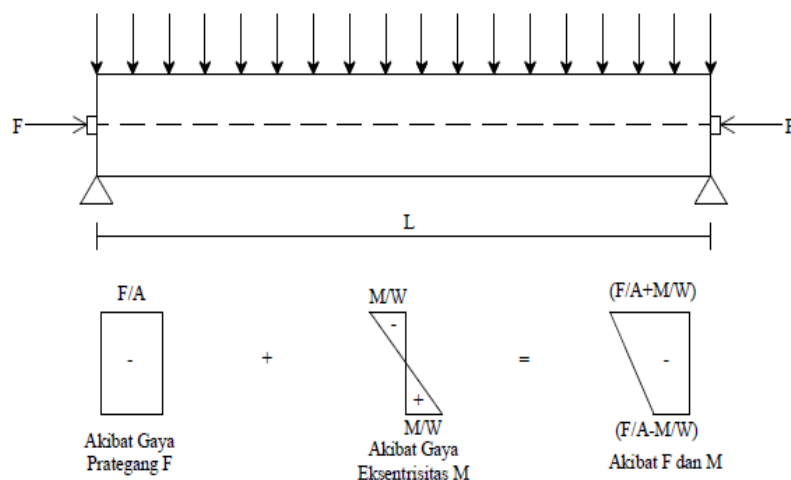
Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar 2.16.



Gambar 2.16 Prategang Konsentris

(Sumber: Beton Patekan, 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.

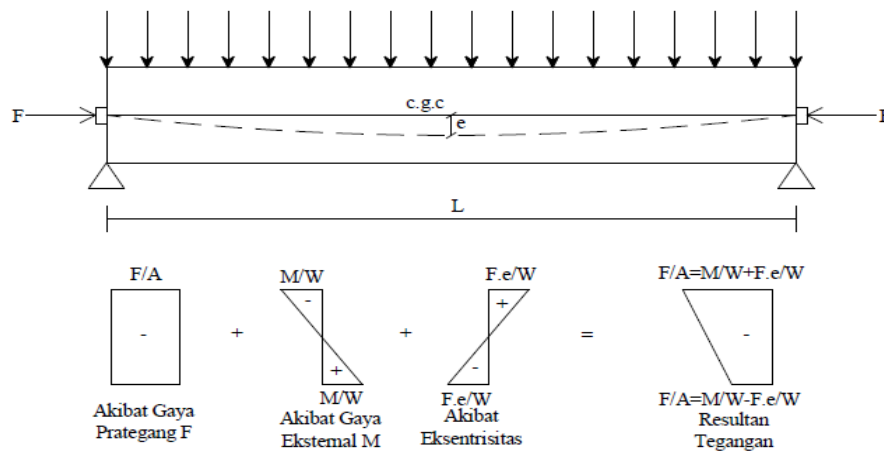


Gambar 2.17 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris

(Sumber: Beton Patekan, N Krishna Raju)

2) Tendon *Exsentris*

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.



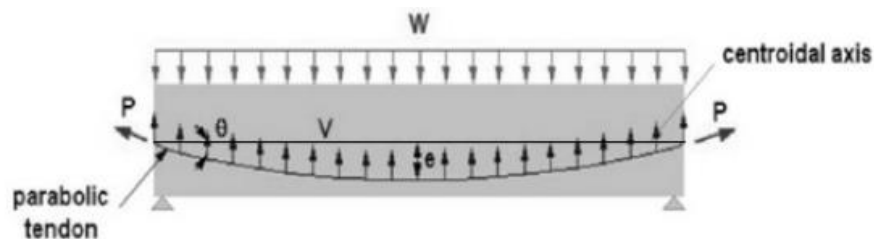
Gambar 2.18 Distribusi Tegangan Tendon Eksentris

(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*.

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

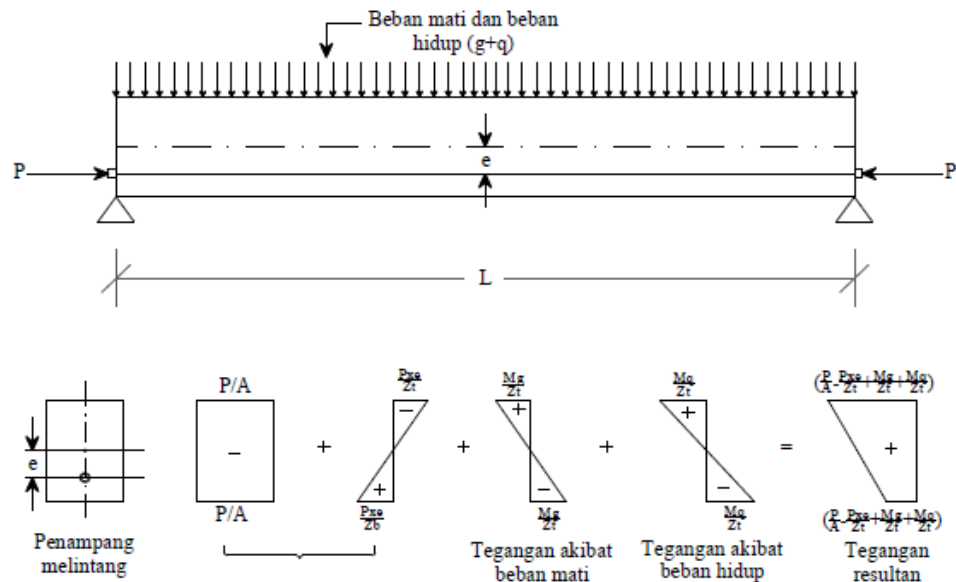
(Sumber : Beton Pratekan, N Krishna Raju)

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.



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

(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

2.6.6 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

2.6.7 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 basil akhir yang lebih cepat.

2.6.8 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.

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

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

$$= 0,45 f_c' \text{ atau } 0,60f_c' \text{ apabila diperkenankan oleh standar}$$

f_t = Tegangan tarik izin maksimum di beton sesudah semua
kehilangan pada taraf beban kerja

$$= 6\sqrt{F'_{ci}} \text{ (pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi } 12$$

$\sqrt{F'_{ci}}$ 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

$$\text{Serat atas} \quad f_t = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e c_t}{r^2} \right) - \frac{M_D}{S^t} \leq f_{ti} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e c_{tb}}{r^2} \right) - \frac{M_D}{S^b} \leq f_{ci} \dots\dots\dots(2.12)$$

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

$$\text{Serat atas} \quad f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e c_t}{r^2} \right) - \frac{M_D}{S^t} \leq f_t \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e c_{tb}}{r^2} \right) - \frac{M_D}{S^b} \leq f_c \dots\dots\dots(2.14)$$

3) Tegangan Akhir pada Kondisi Beban Kerja

$$\text{Serat atas} \quad f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e c_t}{r^2} \right) - \frac{M_T}{S^t} \leq f_c \dots\dots\dots(2.15)$$

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e c_{tb}}{r^2} \right) - \frac{M_T}{S^b} \leq f_t \dots\dots\dots(2.16)$$

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.

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

2.6.9 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 :

$$P_e = \gamma P_i \dots\dots\dots (2.17)$$

dimana γ adalah rasio prategang residual, maka kehilangan prategang adalah

$$P_i - P_e = (1 - \gamma) P_i \dots\dots\dots (2.18)$$

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

$$\Delta f' = (1 - \gamma) \left[f_{ti} + \frac{M_D}{S_t} \right] \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\Delta f_b = (1 - \gamma) \left[-f_{ci} + \frac{M_D}{S_b} \right] \dots\dots\dots (2.20)$$

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

$$f'_n = f_{ti} - \Delta f' - f_c \dots\dots\dots (2.21)$$

atau

$$f'_n = \gamma f_{ti} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_t} - f_c \dots\dots\dots (2.22)$$

Tegangan netto di serat bawah adalah

$$f'_{bn} = f_t - f_{ci} - \Delta f_b \dots\dots\dots (2.23)$$

atau

$$f_{bn} = f_t - \gamma f_{ci} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_b} \dots\dots\dots (2.24)$$

Penampang yang telah dipilih harus mempunyai modulus penampang

$$S_t \geq \frac{(1 - \gamma) M_D + M_{SD} + M_L}{\gamma f_{ti} - f_c} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$S_b \geq \frac{(1 - \gamma) M_D + M_{SD} + M_L}{\gamma f_t - f_{ci}} \dots\dots\dots (2.26)$$

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

$$e_c = (f_{ti} - \bar{f}_{ci}) \frac{S^t}{P_i} + \frac{M_D}{P_i} \dots (2.27)$$

Dan ditumpuan adalah

$$e_c = (f_{ti} - \bar{f}_{ci}) \frac{S^t}{P_i} \dots (2.28)$$

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

$$P_i = \bar{f}_{ci} A_c \dots (2.29)$$

$$\bar{f}_{ci} = f_{ti} - \frac{c_t}{h} (f_{ti} - f_{ci}) \dots (2.30)$$

2.6.10 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 didalamnya gaya prategang dapat bekerja tanpa menyebabkan terjadinya tarik di serat beton ekstrim. Dan persamaan didapatkan,

$$f' = 0 = \frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2} \right) \dots (2.31)$$

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

$$k_b = \frac{r^2}{c_t} \dots (2.32)$$

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

$$k_t = \frac{r^2}{c_b} \dots\dots\dots (2.33)$$

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.

2.6.11 Selubung eksentrisitas yang membatasi

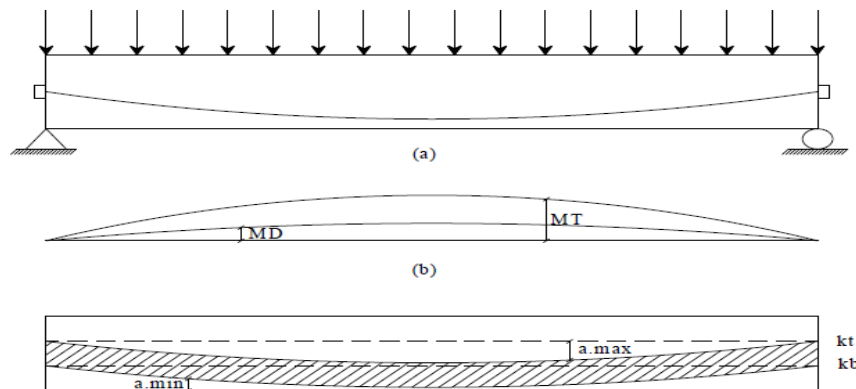
Eksentrisitas tendon yang didesain di sepanjang bentang diharapkan sedemikian hingga tarik yang terjadi di serat ekstrim balok hanya terbatas atau tidak ada sama sekali di penampang yang menentukan dalam desain. Jika tarik tidak dikehendaki sama sekali di sepanjang bentang balok dengan tendon berbentuk *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 dibawah ini.

Selubung cgs bawah, lengan minimum dari kopel tendon adalah

$$a_{min} = \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots (2.34)$$

Untuk menentukan selubung cgs dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Penentuan Selubung cgs (a) Lokasi satu tendon (b) Gambar Bidang momen. (c) Batas-batas selubung cgs
(Sumber : Beton Pratekan, N Krishna Raju)

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.

2.7 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 lantaiaza

l = Panjang antar gelagar melintang

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

$$\text{- Pelat lantai yang ditumpu kolom} \quad : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,25}{f_y} \dots (2.35)$$

$$\text{- Pelat lantai yang ditumpu balok atau dinding} \quad : \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,0}{f_y} \dots (2.36)$$

- Pelat telapak

$$: \frac{A_s}{b.d} = \frac{1,0}{f_y} \dots (2.37)$$

2) Pembebanan

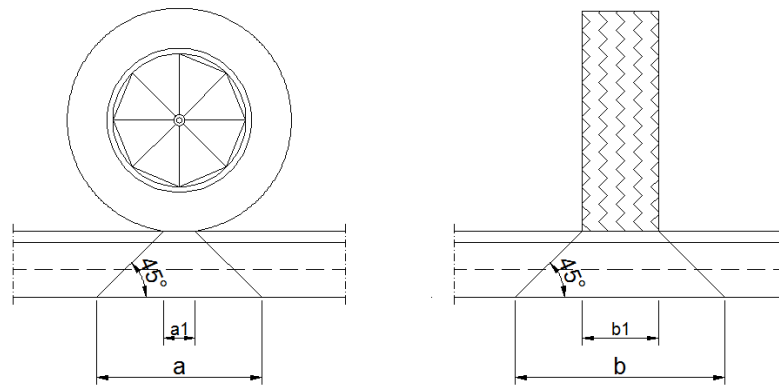
a. Beban mati terdiri atas berat aspal, berat pelat lantai dan berat air hujan. Dari pembebanan tersebut akan diperoleh q_{Dult} pelat lantai kendaraan dianggap pelat satu arah.

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

$$T_u = 1,8 \times 1,3 T \dots (2.38)$$

Jadi pembebanan truck,

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



Gambar 2.22 Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

c. Penulangan, berdasarkan RSNI T – 12 – 2004

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{F_c'}}{4 F_y} b d \dots (2.39)$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b d \dots (2.40)$$

2.8 Balok Diafragma

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

2.9 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 remdan 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 dibulatkan untuk menahan gaya geser

$$V_u = \phi V_n \dots\dots\dots (2.41)$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots (2.42)$$

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

$$A_{vf} = \frac{V_n}{F_y \mu} \dots\dots\dots (2.43)$$

Tulangan A_f yang dibutuhkan untuk menahan momen M_u adalah :

$$M_u = 0,2 \times V_u \times (h-d) + N_{uc} \times (h-d) \dots\dots\dots (2.44)$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots\dots\dots (2.45)$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f_c'}}\right) \dots\dots\dots (2.46)$$

$$A_f = \rho b d \dots\dots\dots (2.47)$$

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

$$N_{uc} = \phi A_n \cdot F_y \dots\dots\dots (2.48)$$

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u \dots\dots\dots (2.49)$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi F_y} \dots\dots\dots (2.50)$$

Tulangan utama adalah total A_g , nilai terbesar dari:

$$A_g = A_f + A_n \dots\dots\dots (2.51)$$

$$A_g = \left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n \right) \dots\dots\dots (2.52)$$

$$A_{gmin} = \rho_{min} b d \dots\dots\dots (2.53)$$

$$\text{Tulangan sengkang, } A_h = \frac{2 A_{vf}}{3} \dots\dots\dots (2.54)$$

2.10 Pelat Injak

Pelat injak 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

$$M_{umax} = 1/8 \cdot q_{Utotal} \cdot L_2 \dots\dots\dots (2.55)$$

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{FC'}}{4 F_y} b d \dots\dots\dots (2.56)$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b d \dots\dots\dots (2.57)$$

2.11 Dinding Sayap (Wing Wall)

Dinding sayap ini 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

$$A_{smin} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 F_y} b d \dots\dots\dots (2.58)$$

$$A_{smin} = \frac{1,4}{F_y} b d \dots\dots\dots (2.59)$$

2.12 Abutment/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 perencanaan pilar (*pier*), namun pada pembebanannya ditambah dengan tekanant tanah timbunan dan ditinjau kestabilan terhadap sliding dan bidang runtuh tanahnya.

Pilar (*pier*) berfungsi sebagai pembagi bentang jembaaan dan sebagai pengantar beban-beban yang bekerja pada struktur atas dan menyalurkannya kepada pondasi di bawahnya. Pilar terbagi atas beberapa bagian *pier head*, *head wall*, dan kolom.

1) Pembebanan abutment, terdiri dari

- a. Beban mati (P_m)
- b. Beban hidup ($H + DLA$)
- c. Tekanan Tanah
- d. Beban Angin (W_n)

- e. Gaya rem (Rm)
- f. Gesekan pada perletakan
- g. Gaya gempa
- h. Beban pelaksanaan (pel)

Kombinasi pembebanan adalah sebagai berikut:

- a. Kombinasi I (AT) = $P_m + P_{TA} + G_s$
- b. Kombinasi II (LL) = $(H + DLA) + R_m$
- c. Kombinasi III (AG) = W_n
- d. Kombinasi IV (GP) = G_m
- e. Kombinasi V (PL) = pel

Kemudian dikombinasikan lagi seperti berikut:

- a. Kombinasi I = $AT + LL$ (100%)
- b. Kombinasi II = $AT + LL$ (120%)
- c. Kombinasi III = $AT + LL$ (120%)
- d. Kombinasi IV = $AT + LL$ (140%)
- e. Kombinasi V = $AT + GL$ (150%)
- f. Kombinasi VI = $AT + PL$ (130%)
- g. Kombinasi VII = $AT + LL$ (150%)

2) Kontrol stabilitas pembebanan

- a. Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{MT}{MGL} < 1,5 \quad \dots\dots\dots (2.60)$$

- b. Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{GS} = \frac{\mu V}{M} < 1,5 \quad \dots\dots\dots (2.61)$$

- c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_{GL} = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} > 2,0 \quad \dots\dots\dots (2.62)$$

Bila abutment tidak aman terhadap stabilitas , maka abutment tersebut memerlukan pondasi atau bangunan pendukung lainnya.

2.13 Pondasi Tiang Pancang

2.13.1 Pengertian tiang pancang

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal kesumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monilit dengan menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat dibawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi (sosrodarsono dan nakazawa, 2000).

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi jenis ini dapat juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat keatas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat yang tinggi yang dipengerahui oleh gaya-gaya penggulingan akibat angin. Tiang-tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga. (Hardiyatmo, 2003).

Pondasi tiang pancang adalah bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan mentransfer (menyalurkan) beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu.

2.13.2 Daya Dukung Pondasi Tiang

2.13.2.1 Daya Dukung Pondasi 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) = $0.3 \times f_c \times 1000$ (2.63)
Luas tampang tiang pancang	(A) = $\pi / 4 \times D^2$ (2.64)
Panjang tiang pancang	(L)
Berat tiang pancang	(W) = $A \times L \times W_c$(2.65)
Daya dukung ijin tiang pancang	(P_{ijin})= $A \times f_c - W$(2.66)

2.13.2.2 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 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) = $\pi/4 \times D^2$ (2.67)

Angka aman (S_f) = 3

Daya dukung ijin tiang pancang (P_{ijin}) = $(A \times Q_{ull})/S_F$ (2.68)

2.13.3 Penggolongan tiang pancang

Pondasi tiang pancang dapat digolongkan berdasarkan pemakaian bahan, cara tiang meneruskan beban dan cara pemasangannya, berikut ini akan dijelaskan

satu persatu. Tiang pancang dapat dibagi kedalam beberapa kategori. (Bowles, 1991).

1. Tiang Pancang Kayu

Tiang pancang kayu dibuat dari batang pohon yang cabang-cabangnya telah dipotong dengan hati-hati, biasanya diberi bahan pengawet dan didorong dengan ujungnya yang kecil sebagai bagian yang runcing. Kadang-kadang ujungnya yang besar didorong untuk aksud maksud khusus, seperti dalam tanah yang sangat lembek dimana tanah tersebut akan bergerak kembali melawan poros. Kadang kala ujungnya runcing dilengkapi dengan sebuah sepatu pemancangan yang terbuat dari logam bila tiang pancang harus menembus tanah keras atau tanah kerikil. Pemakaian tiang pancang kayu ini adalah cara tertua dalam

penggunaan tiang pancang sebagai pondasi. Tiang kayu akan tahan lama dan tidak mudah busuk apabila tiang kayu tersebut dalam keadaan selalu terendam penuh dibawah muka air tanah. Tiang pancang dari kayu akan lebih cepat rusak atau busuk apabila dalam keadaan kering dan basah yang selalu berganti-ganti.

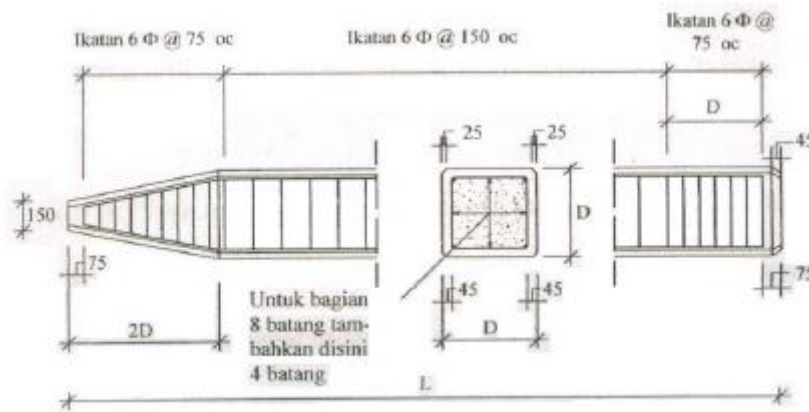
2. Tiang Pancang Beton

a. *Precast Reinforced Concrete Pile*

Precast Reinforced Concrete Pile adalah tiang pancang dari beton bertulang yang dicetak dan dicor dalam acuan beton (bekisting), kemudian setelah cukup kuat lalu diangkat dan di pancangkan. Karena tegangan tarik beton adalah kecil dan praktis dianggap sama dengan nol, sedangkan berat sendiri dari pada beton adalah besar, maka tiang pancang beton ini haruslah diberi penulangan-penulangan yang cukup kuat untuk menahan momen lentur yang akan timbul pada waktu pengangkatan dan pemancangan. Karena berat sendiri adalah besar, biasanya pancang beton ini dicetak dan dicor di tempat pekerjaan, jadi tidak membawa kesulitan untuk transport.

Tiang pancang ini dapat memikul beban yang besar (>50 ton untuk setiap tiang), hal ini tergantung dari dimensinya. Dalam perencanaan tiang pancang beton precast ini panjang dari pada tiang harus dihitung dengan teliti, sebab kalau ternyata panjang dari pada tiang ini kurang

terpaksa harus dilakukan penyambungan, hal ini adalah sulit dan banyak memakan waktu. Reinforced Concrete Pile penampangnya dapat berupalingkaran, segi empat, segi delapan dapat dilihat pada



Gambar 2.23 Tiang pancang beton *precast concrete pile* (Bowles, 1991)

Keuntungan pemakaian *Precast Concrete Reinforced Pile*:

- Precast Concrete Reinforced Pile ini mempunyai tegangan tekan yang besar, hal ini tergantung dari mutu beton yang digunakan.
- Tiang pancang ini dapat di hitung baik sebagai end bearing pile maupun friction pile.
- Karena tiang pancang beton ini tidak berpengaruh oleh tinggi muka air tanah seperti tiang pancang kayu, maka disini tidak memerlukan galian tanah yang banyak untuk poernya.

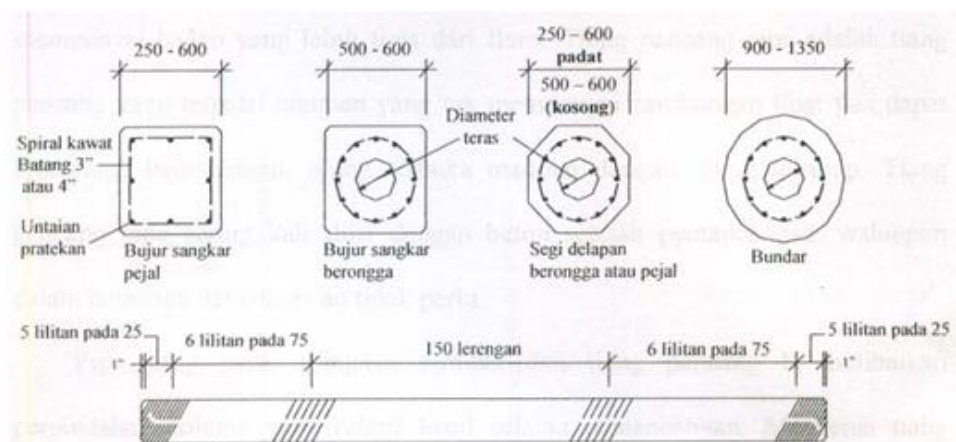
Kerugian pemakaian *Precast Concrete Reinforced Pile*:

- Karena berat sendirinya maka transportnya akan mahal, oleh karena itu Precast reinforced concrete pile ini di buat di lokasi pekerjaan.
- Tiang pancang ini di pancangkan setelah cukup keras, hal ini berarti memerlukan waktu yang lama untuk menunggu sampai tiang beton ini dapat dipergunakan.

- Bila memerlukan pemotongan maka dalam pelaksanaannya akan lebih sulit dan memerlukan waktu yang lama.

b. *Precast Prestressed Concrete Pile*

Precast Prestressed Concrete Pile adalah tiang pancang dari beton prategang yang menggunakan baja penguat dan kabel kawat sebagai gaya.



Gambar 2.24 tiang pancang precast prestressed concrete pile (bowles 1991)

Keuntungan pemakaian *precast prestressed concrete pile*:

- Kapasitas beban pondasi yang dipikulnya tinggi.
- Tiang pancang tahan terhadap karat.
- Kemungkinan terjadinya pemancangan keras dapat terjadi.

Kerugian pemakaian *Precast prestressed concrete pile*:

- Pondasi tiang pancang sukar untuk ditangani.
- Biaya permulaan dari pembuatannya tinggi
- Pergeseran cukup banyak sehingga prategang sukar untuk disambung.

c. *Cast in Place Pile*

Cast in Place Pile adalah pondasi yang di cetak di tempat dengan jalan dibuatkan lubang terlebih dahulu dalam tanah dengan cara mengebor tanah seperti pada pengeboran tanah pada waktu

penyelidikan tanah. Pada *Cast in Place* ini dapat dilaksanakan dua cara:

- 1) Dengan pipa baja yang dipancangkan ke dalam tanah, kemudian diisi dengan beton dan ditumbuk sambil pipa tersebut ditarik keatas.
- 2) Dengan pipa baja yang di pancangkan ke dalam tanah, kemudian diisi dengan beton, sedangkan pipa tersebut tetap tinggal di dalam tanah.

Keuntungan pemakaian *Cast in Place Pile* :

- Pembuatan tiang tidak menghambat pekerjaan.
- Tiang ini tidak perlu diangkat, jadi tidak ada resiko rusak dalam transport.
- Panjang tiang dapat disesuaikan dengan keadaan dilapangan.

Kerugian pemakaian *Cast in Place* :

- Pada saat penggalian lubang, membuat keadaan sekelilingnya menjadi kotor akibat tanah yang diangkut dari hasil pengeboran tanah tersebut.
- Pelaksanaannya memerlukan peralatan yang khusus.
- Beton yang dikerjakan secara *Cast in Place* tidak dapat dikontrol.

3. Tiang Pancang Baja

Kebanyakan tiang pancang baja ini berbentuk profil H. karena terbuat dari baja maka kekuatan dari tiang ini sendiri sangat besar sehingga dalam pengangkutan dan pemancang tidak menimbulkan bahaya patah seperti halnya pada tiang beton precast. Jadi pemakaian tiang pancang baja ini akan sangat bermanfaat apabila kita memerlukan tiang pancang yang panjang dengan tahanan ujung yang besar. Tingkat karat pada tiang pancang baja sangat berbeda-beda terhadap texture tanah, panjang tiang yang berada dalam tanah dan keadaan kelembaban tanah.

- a. Pada tanah yang memiliki texture tanah yang kasar/kesap, maka karat yang terjadi karena adanya sirkulasi air dalam tanah tersebut hampir mendekati keadaan karat yang terjadi pada udara terbuka.
- b. Pada tanah liat (clay) yang mana kurang mengandung oxygen maka akan menghasilkan tingkat karat yang mendekati keadaan karat yang terjadi karena terendam air.
- c. Pada lapisan pasir yang dalam letaknya dan terletak dibawah lapisan tanah yang padat akan sedikit sekali mengandung oxygen maka lapisan pasir tersebut juga akan akan menghasilkan karat yang kecil sekali pada tiang pancang baja.

Keuntungan pemakaian Tiang Pancang Baja :

- Tiang pancang ini mudah dalam dalam hal penyambungannya.
- Tiang pancang ini memiliki kapasitas daya dukung yang tinggi.
- Dalam hal pengangkatan dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah

Kerugian pemakaian Tiang Pancang Baja:

- Tiang pancang ini mudah mengalami korosi
- Bagian H pile dapat rusak atau di bengkokan oleh rintangan besar.

4. Tiang Pancang Komposit

Tiang pancang komposit adalah tiang pancang yang terdiri dari dua bahan yang berbeda yang bekerja bersama-sama sehingga merupakan satu tiang. Kadang-kadang pondasi tiang dibentuk dengan menghubungkan bagian atas dan bagian bawah tiang dengan bahan yang berbeda, misalnya dengan bahan beton di atas muka air tanah dan bahan kayu tanpa perlakuan apapun disebelah bawahnya.

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

Analisa satuan harga pekerjaan adalah perhitungan-perhitunganbiaya yang 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 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 perkembangan suatu proyek berdasarkan kegiatan, waktu 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 alat dan orang dapat digeser ke tempat lain demi efisiensi.