

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Jembatan

Jembatan adalah bangunan pelengkap jalan yang menghubungkan suatu lintasan yang terputus akibat suatu rintangan, melintasi objek topografi atau adanya penyebab lainnya, dengan cara melompati rintangan tersebut tanpa menimbulkan/menutup rintangan itu. Lintasan tersebut bisa merupakan jalan kendaraan, jalan kereta api atau jalan pejalan kaki, sedangkan rintangan tersebut dapat berupa sungai, jalan, jalan kereta api, atau jurang (bisa juga berupa jurang pemisah antar jembatan bertingkat).

2.2 Standar Peraturan Perencanaan Jembatan yang Digunakan

Adapun perencanaan jembatan ini mengacu kepada standar peraturan yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum antara lain:

1. Standar Nasional Indonesia 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.
2. Revisi Standar Nasional Indonesia T-12-2004 tentang Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.
3. Standar Nasional Indonesia 03-2847-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
4. Standar Nasional Indonesia 2833:2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa.
5. Standar Nasional Indonesia 3966:2012 tentang Cara Uji Kekakuan Tekan dan Geser Bantalan Karet Jembatan.

2.3 Peraturan Beton Jembatan

2.3.1 Syarat Umum Perencanaan Struktur Beton

Menurut RSNI T-12-2004 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

a. Kekuatan nominal

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 waktu panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 30 Mpa.

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

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

Kuat tarik lentur beton, f_{ct} , bisa diambil dari ketentuan berikut:

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

b. Tegangan ijin

Tegangan tekan dalam penampang beton, akibat semua kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur dan/atau aksial tekan, tidak boleh melampaui nilai $0,6 f_{ci}'$, dimana f_{ci}' adalah kuat tekan beton yang direncanakan, dinyatakan dalam satuan MPa.

Tegangan tarik yang diijinkan terjadi pada penampang beton untuk kondisi transfer gaya prategang yang dinyatakan dalam satuan MPa, diambil dari nilai-nilai:

- Serat terluar mengalami tegangan tarik, tidak boleh melebihi nilai $0,25\sqrt{f_{c'}}$, kecuali untuk kondisi di bawah ini.
- Serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung sederhana dan mengalami tegangan tarik, tidak boleh melebihi $0,5\sqrt{f_{c'}}$.

c. Massa jenis

Massa jenis beton, w_c , ditentukan dari nilai-nilai berikut:

- Untuk beton dengan berat normal, diambil tidak kurang dari 2400 kg/m³; atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

d. Lengkung tegangan-regangan

Lengkung tegangan-regangan beton bisa digambarkan berikut:

- Dianggap kurva bilinear atau trilinear berdasarkan persamaan matematik yang disederhanakan.
- Dianggap linier, berdasarkan tegangan kerja.
- Ditentukan dari hasil pengujian.

e. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas beton, E_c , nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proposi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan 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.

f. Angka *Poisson*

Angka *Poisson* untuk beton, ν , bisa diambil dengan ketentuan berikut:

- 0,2; atau
- Ditentukan dari hasil pengujian

g. Koefisien muai panas

Koefisien muai panjang beton akibat panas, bisa diambil sebesar:

- 10×10^{-6} per °C, dengan pertimbangan bisa bervariasi $\pm 20\%$; atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

2. Baja tulangan non-prategang

a. Kekuatan nominal

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.

b. Tegangan ijin

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

- Tulangan dengan $f_y = 300$ MPa, tidak boleh 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 4 m, tidak boleh diambil melebihi $0,50 f_y$ namun tidak lebih dari 200 MPa.

c. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas baja tulangan, E_s , untuk semua harga tegangan yang tidak lebih besar dari kuat leleh f_y , bisa diambil sebesar atau diambil sama dengan 200000 MPa.

d. Koefisien muai panas

Koefisien muai baja tulangan non prategang akibat panas bisa diambil sebesar:

- Diambil sama dengan 12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$; atau
- Ditentukan dari hasil pengujian.

3. Baja tulangan prategang

a. Kekuatan nominal

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 : $0,85 f_{pu}$

b. Tegangan ijin

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

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

- Untuk kondisi 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 boleh besar dari $0,85 f_{pu}$, atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabricator pembuat tendon prategang atau jangkar.
- Sesaat setekah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar $0,82 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$.

c. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas baja prategang, E_p , biasa diambil sebesar :

- Untuk kawat tegang-lepas : $200 \times 103 \text{ MPa}$
- Untuk *strand* tegang-lepas : $195 \times 103 \text{ MPa}$
- Untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi : $170 \times 103 \text{ MPa}$

2.3.2 Perencanaan Kekuatan Struktur Beton Prategang

Kekuatan lentur dari balok beton prategang 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 tenaga kerja, atau ada keterkaitan dengan aspek lain yang sesuai batasan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif, bisa digunakan cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL).

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

Walaupun demikian, hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang diasumsikan bahwa tegangan beton $= 0,85 f_c'$ terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi tertekan keluar 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. Faktor β_1 harus diambil sebesar :

- $\beta_1 = 0,85$ untuk $f_c' \leq 30$ MPa
- $\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f_c' - 30)$ untuk $f_c' > 30$ MPa

Untuk persyaratan tulangan minimum pada setiap penampang dari suatu komponen struktur lentur, bila berdasarkan analisis diperlukan tulangan tarik, maka luas A_s yang ada tidak boleh kurang dari :

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4.f_y} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.1)$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari:

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1.4}{f_y} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.2)$$

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 terdiri dari sengkang segi empat yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, jaringan kawat baja las dengan kawat – kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur. Tulangan bengkok keatas tidak diizinkan karena kesulitan dalam pengangkutan dan kemungkinan terjadi *splitting* beton pada bidang yang dibengkokkan. Batas jarak antar tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ atau 600 mm.

2.4 Pembebanan Jembatan

Pembebanan untuk merencanakan jembatan jalan raya merupakan dasar dalam menentukan beban-beban dan gaya-gaya untuk perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap bagian jembatan jalan raya. Pembebanan berdasarkan pada muatan dan aksi-aksi yang terjadi pada jembatan berdasarkan peraturan yang ada dalam SNI 1725:2016.

2.4.1 Faktor beban dan kombinasi pembebanan

Jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, dan aspek layan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, factor ekonomi, dan estetika.

$$\sum \eta_i \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_r \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

Untuk beban-beban dengan nilai maksimum η lebih sesuai maka:

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0,95 \dots\dots\dots (2.4)$$

Untuk beban-beban dengan nilai minimum η lebih sesuai maka:

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1 \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

- γ_i : faktor beban ke-i
- η_i : faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas, redunansi, dan klasifikasi operasional
- η_D : faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas
- η_R : faktor pengubah respons berkaitan dengan redundansi
- η_I : faktor pengubah respons berkaitan dengan klasifikasi operasional
- ϕ : faktor tahanan
- Q_i : pengaruh gaya
- R_n : tahanan nominal

Terdapat empat keadaan/kondisi batas dalam perencanaan jembatan, keadaan ini disyaratkan dengan melakukan pembatasan terhadap beberapa kondisi agar jembatan dapat mencapai target pembangunannya. Keempat keadaan batas tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Keadaan batas daya layan
- b. Keadaan batas fatik dan fraktur
- c. Keadaan batas kekuatan dan
- d. Keadaan batas ekstrem

Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

- η_i : faktor pengubah respons sesuai Persamaan 2.4 dan 2.5
 γ_i : faktor beban
 Q_i : gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi Persamaan 2.3 untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut :

- a. Kuat I adalah kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.
- b. Kuat II adalah kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
- c. Kuat III adalah kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
- d. Kuat IV adalah kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

- e. Kuat V adalah kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam
- f. Ekstrem I adalah kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup EQ yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan 40.
- g. Ekstrem II adalah kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC).
- h. Layan I adalah kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang; dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.
- i. Layan II adalah kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.
- j. Layan III adalah kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.
- k. Layan IV adalah kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.
- l. Fatik adalah kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Faktor beban γ_{EQ} untuk beban hidup pada keadaan batas ekstrem I harus ditentukan berdasarkan kondisi spesifik jembatan. Sebagai pedoman dapat digunakan faktor γ_{EQ} sebagai berikut $\gamma_{EQ} = 0,5$ jembatan sangat penting, $\gamma_{EQ} = 0,3$ (jembatan penting), dan $\gamma_{EQ} = 0$ (jembatan standar). Kombinasi beban dan faktor beban dapat dilihat dalam tabel 2.1.

2.4.2 Beban permanen

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 $9,81 \text{ m/detik}^2$. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat isi (kN/m^3)	Kerapatan massa (kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'c < 35 \text{ MPa}$	22,0-25,0	2320
	$35 < f'c < 105 \text{ MPa}$	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

(Sumber : SNI 1725:2016)

Tabel 2. 2 Kombinasi Beban dan Faktor Beban

KeadaanBatas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EwS	EWL	BF	Eun	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	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	0,50/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

CATATAN : - γ_p dapat berupa γ_{MS} , γ_{MA} , γ_{TA} , γ_{PR} , γ_{PL} , γ_{SH} tergantung beban yang ditinjau

- γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

(Sumber : SNI 1725:2016)

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

Beban mati jembatan merupakan kumpulan berat setiap komponen struktural dan non-struktural. Setiap komponen ini harus dianggap sebagai suatu kesatuan aksi yang tidak terpisahkan pada waktu menerapkan faktor beban normal dan faktor beban berkurang. Perencanaan jembatan harus menggunakan keahliannya di dalam menentukan komponen-komponen tersebut.

1. Berat sendiri (MS)

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Tipe bahan	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan batas layan (γ_{MS}^S)		Keadaan batas ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

(Sumber: SNI 1725:2016)

2. Beban mati tambahan atau utilitas (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.4 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang jika melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan.

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

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

Tabel 2.4 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan

Tipe Bahan	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan batas layan (γ_{MA}^S)		Keadaan batas ultimit (γ_{MA}^U)	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (Terawasi)	1,00	1,40	0,80
CATATAN⁽¹⁾ Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

(Sumber: SNI 1725:2016)

3. Beban akibat tekanan tanah (TA)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi, sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun di laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan

ketentuan pada pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari γ_s , c dan ϕ_f .

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas kekuatan dihitung dengan menggunakan nilai nominal dari γ_s dan c serta ϕ_f . Nilai-nilai rencana dari c serta ϕ_f diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti yang tercantum pada tabel 2.5.

Tanah di belakang dinding penahan biasanya mendapatkan beban tambahan yang bekerja apabila beban lalu lintas bekerja pada bagian daerah keruntuhan aktif teoretis. Besarnya beban tambahan ini adalah setara dengan tanah setebal 0,7 m yang bekerja secara merata pada bagian tanah yang dilewati oleh beban lalu lintas tersebut. Beban tambahan ini hanya diterapkan untuk menghitung tekanan tanah dalam arah lateral saja, dan faktor beban yang digunakan harus sama seperti yang telah ditentukan dalam menghitung tekanan tanah arah lateral.

Tabel 2.5 Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

Tipe bahan	Faktor Beban (γ_{TA})			
	Keadaan batas layan (γ^S) TA		Keadaan batas ultimit (γ^U) TA	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1,00	1,20	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00		

CATATAN (1) Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit

(Sumber: SNI 1725:2016)

Pada keadaan batas kekuatan tekanan tanah lateral dalam keadaan diam umumnya tidak diperhitungkan. Apabila keadaan demikian timbul, maka faktor beban untuk keadaan batas kekuatan yang digunakan untuk menghitung nilai rencana dari tekanan tanah dalam keadaan diam harus sama seperti untuk tekanan tanah dalam keadaan aktif. Faktor beban pada keadaan batas daya layan untuk tekanan tanah dalam keadaan diam adalah 1,0 tetapi harus hati-hati dalam pemilihan nilai nominal yang memadai pada waktu menghitung tekanan tanah.

Gaya horizontal akibat tekanan tanah harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Pemadatan

Pengaruh tekanan tanah tambahan akibat pemadatan harus diperhitungkan jika menggunakan peralatan pemadatan mekanik pada jarak setengah tinggi dinding penahan tanah.

2. Keberadaan air

Jika air tidak diperbolehkan keluar dari dinding penahan tanah, maka pengaruh tekanan air hidrostatik harus ditambahkan terhadap tekanan tanah. Jika air dapat tergenang di belakang dinding penahan tanah, maka dinding harus direncanakan untuk memikul gaya hidrostatik akibat tekanan air ditambah dengan tekanan tanah. Berat jenis terendam tanah harus digunakan untuk perhitungan tekanan tanah yang berada di bawah muka air. Jika level muka air berbeda antara muka dinding, maka pengaruh rembesan terhadap kestabilan dinding dan potensi piping harus diperhitungkan. Tekanan air pori harus ditambahkan terhadap tekanan tanah efektif dalam penentuan tekanan tanah lateral total.

3. Pengaruh gempa

Pengaruh inersia dinding dan kemungkinan amplifikasi tekanan tanah aktif dan atau mobilisasi massa tanah pasif akibat gaya gempa harus diperhitungkan.

4. Jenis-jenis tekanan tanah

- a) Tekanan tanah lateral aktif (P_a)

Tekanan tanah lateral harus diasumsikan linier dengan kedalaman

tanah sebagai berikut :

$$P = k \cdot \gamma_s \cdot z \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

- P : tekanan tanah lateral aktif (kPa)
 k : koefisien tekanan lateral
 bisa berupa k_0 (koefisien tekanan tanah kondisi diam) atau ;
 k_a (koefisien tekanan tanah kondisi aktif) atau ;
 k_p (koefisien tekanan tanah kondisi pasif)
 γ_s : berat jenis tanah (kN/m³)
 z : kedalaman diukur dari permukaan tanah (m)

Resultan beban tanah lateral akibat timbunan diasumsikan bekerja pada ketinggian $H/3$ dari dasar dinding, dimana H adalah ketinggian dinding diukur dari permukaan tanah di belakang dinding bagian bawah fondasi atau puncak pada telapak.

b) Koefisien tekanan dalam kondisi diam (k_0)

Untuk tanah terkonsolidasi normal, dinding vertikal dan permukaan tanah, koefisien tekanan tanah lateral dalam kondisi diam dapat diambil sebagai:

$$k_0 = 1 - \sin \phi' f \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

- $\phi' f$: sudut geser efektif tanah
 k_0 : koefisien tekanan tanah lateral kondisi diam

Untuk tanah overkonsolidasi, koefisien tanah lateral kondisi diam dapat diasumsikan bervariasi sebagai fungsi rasio overkonsolidasi atau riwayat tegangan, dan dapat diambil sebagai:

$$k_0 = (1 - \sin \phi' f)(OCR)^{\sin \phi' f} \dots\dots\dots (2.9)$$

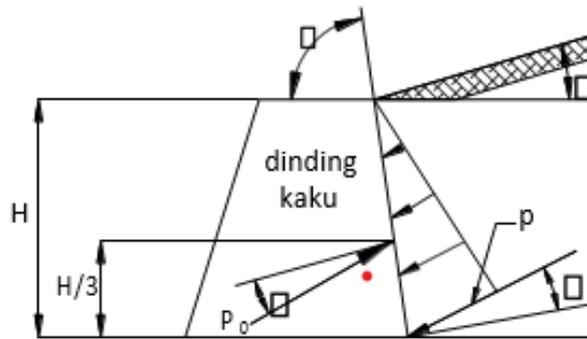
Keterangan:

- OCR : rasio overkonsolidasi

Tanah lanau dan lempung tidak boleh digunakan untuk urugan

kecuali mengikuti prosedur desain yang sesuai dan langkah-langkah pengendalian konstruksi dimasukkan dalam dokumen konstruksi dan memperhitungkan penggunaan tanah tersebut. Perlu diperhitungkan juga peningkatan tekanan air pori dalam massa tanah. Ketentuan drainase yang sesuai harus disediakan untuk mencegah gaya hidrostatis dan rembesan dari belakang dinding fondasi. Dalam keadaan apapun, tanah lempung plastis tidak boleh digunakan untuk urugan.

c) Koefisien tekanan tanah aktif (K_a)



Gambar 2.1 Notasi untuk perhitungan tekanan tanah aktif Coulomb
(Sumber: SNI 1725:2016)

Nilai-nilai koefisien tekanan tanah lateral aktif dapat diambil sebagai berikut:

$$k_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi')}{r [\sin^2\theta \sin(\theta - \delta)]} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$r = \sqrt{\frac{\sin^2(\phi' + \delta) \sin(\phi' - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \sin(\theta + \beta)}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

δ adalah sudut geser antara urugan dan dinding ($^\circ$), nilai δ diambil melalui pengujian laboratorium atau bila tidak memiliki data yang akurat dapat mengacu pada Tabel 2.6

β adalah sudut pada urugan terhadap garis horizontal ($^{\circ}$)

θ adalah sudut pada dinding belakang terhadap garis horizontal

$\Phi'f$ adalah sudut geser efektif tanah ($^{\circ}$) (lihat Tabel 2.6)

Untuk kondisi yang tidak sesuai dengan yang dijelaskan pada Tabel 2.6 tekanan aktif dapat dihitung dengan menggunakan prosedur yang didasarkan pada teori irisan dengan menggunakan Metode Culmann.

Tabel 2.6 Sudut Geser Berbagai Material

Materil	Sudut geser δ ($^{\circ}$)
Beton pada material fondasi sebagai berikut:	
• Batuan	35
• Kerikil, campuran kerikil-pasir, pasir kasar,	29-31
• Pasir halus hingga medium, pasir kelanauan medium hingga kasar, kerikil kelanauan atau berlempung,	24-29
• Pasir halus, pasir kelanauan atau berlempung halus hingga medium,	19-24
• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis,	17-19
• Lempung prakonsolidasi atau residual yang sangat teguh, dan keras,	22-26
• Lempung agak teguh hingga lempung teguh, dan lempung kelanauan,	17-19
Pasangan bata pada material fondasi memiliki factor geser yang sama	
Turap baja terhadap tanah berikut:	
• Kerikil, campuran kerikil-pasir, batuan bergradasi baik yang diisi pecahan	22
• Pasir, campuran pasir-kerikil berlanau,	17

batuan keras berukuran tunggal	14
<ul style="list-style-type: none"> • Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung • Lanau kepasiran halus, lanau nonplastis 	11
Beton pracetak atau turap beton terhadap tanah berikut:	
<ul style="list-style-type: none"> • Kerikil, campuran kerikil-pasir, batuan bergradasi baik yang diisi pecahan 	22-26
<ul style="list-style-type: none"> • Pasir, campuran pasir-kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal 	17-22
<ul style="list-style-type: none"> • Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung 	17
<ul style="list-style-type: none"> • Lanau kepasiran halus, lanau nonplastis 	14
Berbagai material struktural:	
<ul style="list-style-type: none"> • Batu bata pada batu bata, batuan dan metamorf: 	
<ul style="list-style-type: none"> - Batuan lunak pada batuan lunak 	35
<ul style="list-style-type: none"> - Batuan keras pada batuan lunak 	33
<ul style="list-style-type: none"> - Batuan keras pada batuan keras 	29
<ul style="list-style-type: none"> • Batu bata pada kayu dengan arah kembang kayu menyilang 	26
<ul style="list-style-type: none"> • Baja pada hubungan turap 	17

(Sumber: SNI 1725:2016)

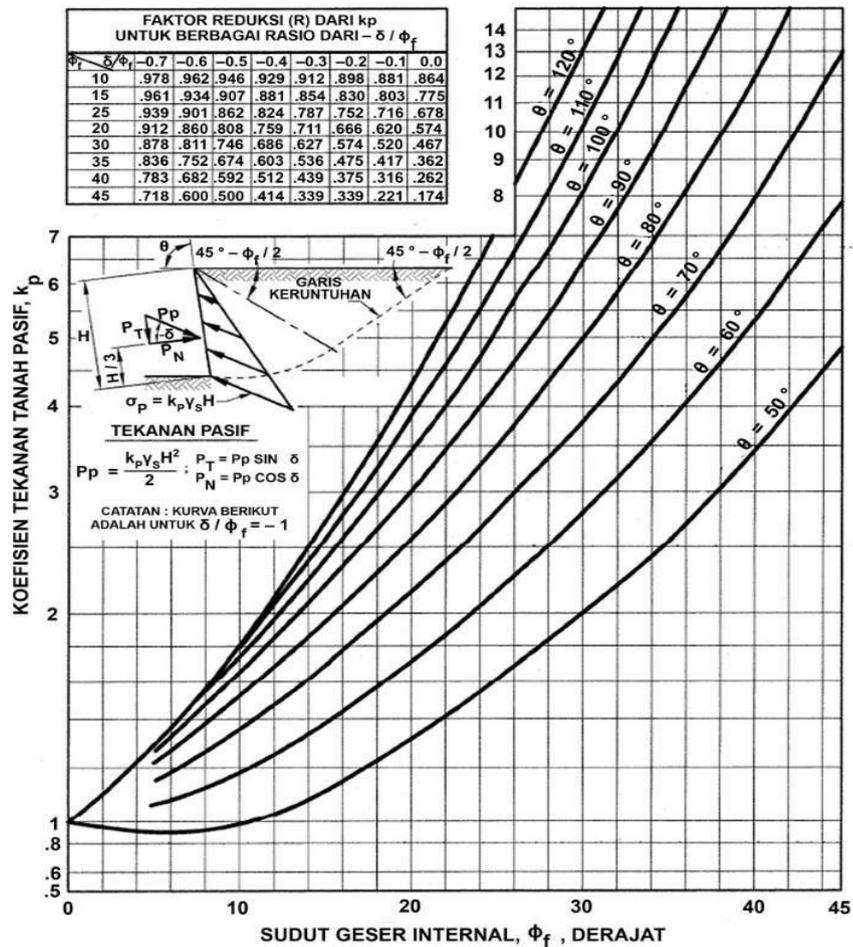
d) Tekanan tanah lateral pasif (P_p)

Untuk tanah kohesif, tekanan tanah lateral pasif dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_p = k_p \gamma_s Z + 2c\sqrt{k_p} \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

- Pp adalah tekana tanah lateral pasif (kPa)
- γ_s adalah berat jenis tanah (kN/m³)
- C adalah kohesi tanah (kPa)
- kp adalah koefisien tekanan tanah lateral pasif
- z adalah kedalaman diukur dari permukaan tanah (m)



Gambar 2.2 Prosedur Perhitungan Tekanan Tanah Pasif Untuk Dinding Vertikal Dengan Ukuran Horizontal

(Sumber: SNI 1725:2016)

e) Pengaruh terhadap pelaksanaan (PL)

Pengaruh terhadap pelaksanaan beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya

mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri, dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai. Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat Pengaruh Pelaksanaan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{PL})		
	Keadaan Batas Layan (γ_{PL}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{PL}^U)	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

(Sumber: SNI 1725:2016)

2.6.1 Beban lalu lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri dari beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan 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.

1. 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 di masa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bias dilihat dalam Tabel 2.8 Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Tabel 2.8 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

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

(Sumber: SNI 1725:2016)

Berdasarkan Tabel 2.8 bila lebar bersih jembatan berkisar 3000 mm sampai 5000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas. Jika jembatan mempunyai lebar

antara 5250 mm dan 7500 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki dua jalur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi dua. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 7750 mm dan 10000 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki tiga jalur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi tiga.

2. Beban lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.3. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ^S_{TD})	Keadaan Batas Ultimit (γ^U_{TD})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder		
	Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725:2016)

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

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan :

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

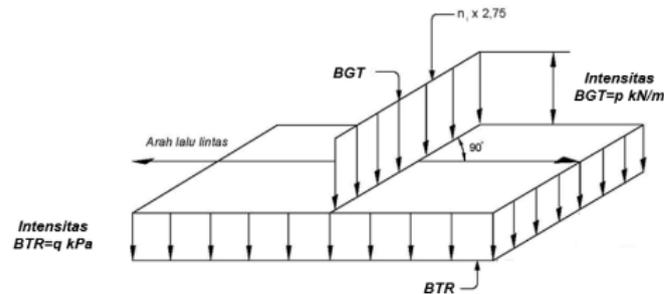
L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

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

jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komoponen BTR dan BGT dari beban “D” secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.3.

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



Gambar 2.3 Beban Lajur “D”
(Sumber: SNI 1725:2016)

3. Beban truk “T”

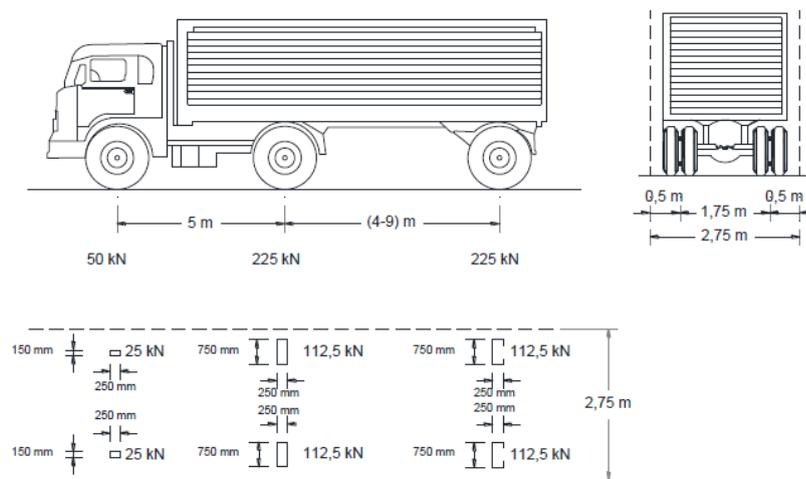
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban “T” seperti terlihat pada tabel 2.10 berikut.

Tabel 2.10 Faktor beban untuk beban "T"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ^{STT})	Keadaan Batas Ultimit (γ^{UTT})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725:2016)

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



Gambar 2.4 Pembebanan truk "T" (500 kN)
(Sumber: SNI 1725:2016)

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. Untuk posisi dan penyebaran beban truk "T" yang menyebabkan timbulnya momen maksimum secara rinci dijelaskan dalam SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan.

4. Klasifikasi pembebanan lalu lintas

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

Faktor sebesar 70 % ditetapkan untuk BTR dan BGT, dan gaya sentrifugal yang dihitung dari BTR dan BGT. Faktor pengurangan sebesar 70 % tidak boleh

digunakan untuk pembebanan truk “T” atau gaya rem pada arah memanjang jembatan. Dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan “D” dapat diperbesar di atas 100 % untuk jaringan jalan yang dilewati kendaraan berat.

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

Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan untuk dinding penahan yang tidak memiliki reaksi vertikal dari struktur atas jembatan dan komponen pondasi yang seluruhnya berada dibawah permukaan tanah.

Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur “D” tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan “D” FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 2.3. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen LE diberikan dengan rumus:

$$LE = \sqrt{L_{av} \cdot L_{max}} \dots\dots\dots (2.15)$$

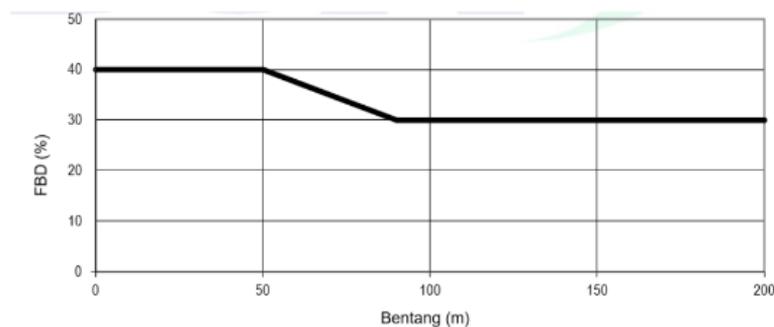
Keterangan:

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

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

Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 30 %. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah pondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peraihan linier dari nilai pada garis permukaan

tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja tanah, nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10 % untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



Gambar 2.5 Faktor Beban Dinamis untuk Beban T untuk Pembebanan lajur “D”
(Sumber: SNI 1725:2016)

5. Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem.

2.4.3 Aksi lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab lainnya alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian-

kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat. Perencana mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus memperhitungkannya dalam perencanaan.

1. Temperatur (EUn)

Perbedaan antara temperatur minimum dan 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 ditentukan dalam Tabel 2.11 dan persamaan rentang simpangan akibat beban temperatur.

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

$$\Delta T = \alpha L (T_{\max \text{ design}} - T_{\min \text{ design}}) \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

- L adalah panjang komponen jembatan (mm)
- α adalah koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

Tabel 2.11 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 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 di atas permukaan laut.		

(Sumber: SNI 1725:2016)

2. Pengaruh susut dan rangkak (SH)

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 transfer dari beton prategang).

Tabel 2.12 Faktor Beban Akibat Susut dan Rangkak

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{SH})	
	Keadaan Batas Layan ($\gamma^{S_{SH}}$)	Keadaan Batas Ultimit ($\gamma^{U_{SH}}$)
Tetap	1,00	0,5

Catatan : Walaupun susut dan rangkak bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan.

(Sumber: SNI 1725:2016)

3. Pengaruh prategang (PR)

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 2.13 Faktor Beban Akibat Pengaruh Prategang

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{PR})	
	Keadaan Batas Layan ($\gamma^{S_{PR}}$)	Keadaan Batas Ultimit ($\gamma^{U_{PR}}$)
Tetap	1,00	1,00

(Sumber: SNI 1725:2016)

4. Beban angin

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, V_{DZ} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot V_o \cdot \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \cdot \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots (2.17)$$

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 10000 mm, yang akan menghasilkan tekanan
- Z adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000\text{mm}$)
- V_o adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 2.23, 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 2.23 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

- a) Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,

- b) Survei angin pada lokasi jembatan, dan
- c) Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10}=V_B = 90$ s/d 126 km/jam, Nilai V_o dan Z_o untuk berbagai variasi

Tabel 2.14 Nilai V_o Dan Z_o Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_o	13,2	17,6	19,3
Z_o	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725:2016)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

P_B adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.15

Tabel 2.15 Tekanan Angin Dasar

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

(Sumber: SNI 1725:2016)

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari $4,4$ kN/mm pada bidang tekan dan $2,2$ kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan

pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.16 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2.16 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
Derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

(Sumber: SNI 1725:2016)

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang yang mempresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar $9,6 \times 10^{-4}$ Mpa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk keadaan batas kuat II dan layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan.

5. Pengaruh gempa (EQ)

Beban gempa yang diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (Csm) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (Rd) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

- EQ adalah gaya gempa horizontal statis (kN)
- Csm adalah koefisien respons gempa elastis
- Rd adalah faktor modifikasi respons
- WT adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respon Csm 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.

2.4.4 Aksi-aksi lainnya

Serta aksi-aksi lainnya yang dapat mempengaruhi, yaitu sebagai berikut:

1. Beban Pelaksanaan

Beban pelaksanaan terdiri atas:

- 1) Beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri, dan;
- 2) Aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

Perencana harus membuat toleransi untuk berat perancah atau yang mungkin akan dipikul oleh bangunan sebagai hasil dari metode atau urutan pelaksanaan. Perencana harus memperhitungkan adanya gaya yang timbul selama pelaksanaan dan stabilitas serta daya tahan dari bagian-bagian komponen. Apabila rencana tergantung pada metode pelaksanaan, struktur harus mampu menahan semua beban pelaksanaan secara aman. Perencana harus menjamin bahwa tercantum cukup detail ikatan dalam gambar untuk menjamin stabilitas struktur pada semua tahap pelaksanaan. Cara dan urutan pelaksanaan, dan tiap tahanan yang terdapat dalam rencana, harus diperinci dengan jelas dalam gambar dan spesifikasi. Selama waktu pelaksanaan jembatan, tiap aksi lingkungan dapat terjadi bersamaan dengan beban pelaksanaan. Perencana

harus menentukan tingkat kemungkinan kejadian demikian dan menggunakan faktor beban sesuai untuk aksi lingkungan yang bersangkutan. Tidak perlu untuk mempertimbangkan pengaruh gempa selama pelaksanaan konstruksi.

2.5 Balok Beton Prategang

2.5.1 Beton prategang

Beton prategang bukan merupakan konsep baru, pada tahun 1872, pada saat P.H Jacson, seorang insinyur dari California, mendapatkan paten untuk sistem structural yang menggunakan tie rod untuk membuat pelengkung dari balok-balok. Pada tahun 1888, C.W Doehring dari Jerman memperoleh paten untuk memberikan prategang pada slab dengan kawat-kawat metal (T.Y Lin & Ned H Burns, 1993).

Beton prategang adalah material yang sangat digunakan dalam konstruksi. 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 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 prategang 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.

2.5.2 Konsep dasar beton prategang

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang yang diterangkan T.Y Lin dan Burns dalam bukunya “Desain Struktur Beton Prategang”. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut:

1. Sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis

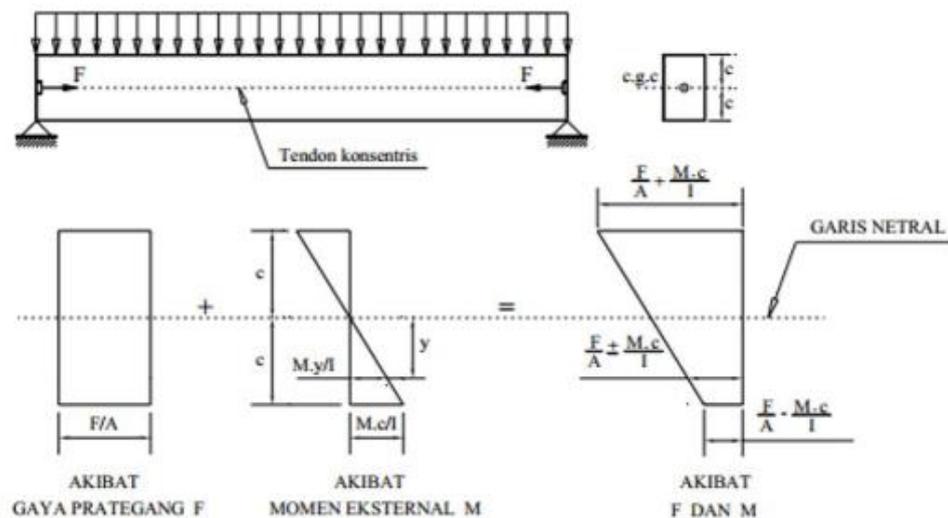
Konsep Pertama, sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Ini merupakan pemikiran dari Eugene Freyssinet memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton yang getas menjadi bahan yang elastis yang memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu atau (pratekan) 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.

Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi retak, dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan bahan yang elastis.

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

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. Gaya tarik prategang F pada tendon menghasilkan gaya tekan F yang sama pada beton yang juga bekerja pada titik berat tendon. Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang konsentris dapat dilihat pada Gambar 2.6.

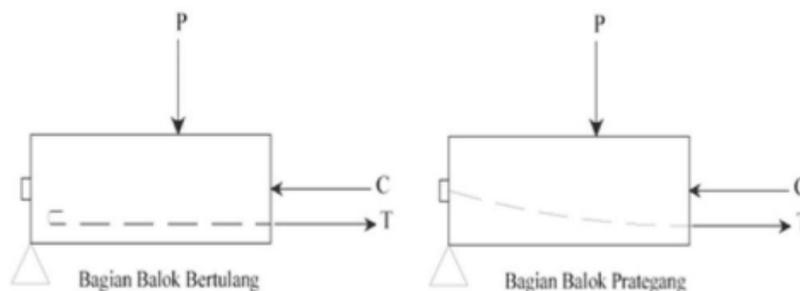


Gambar 2.6 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampangan Beton Prategang Konsentris

(Sumber: T.Y Lin & Ned H Burns, 1993)

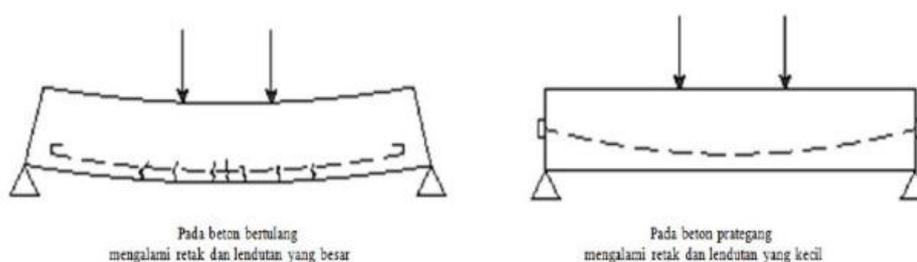
2. Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton

Konsep kedua, sistem 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 tarikan dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk menahan 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 bertulang biasa, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Momen Penahan Internal pada Balok Prategang dan Beton Bertulang pada dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Momen Penahan Internal pada Balok Prategang dan Beton Bertulang
(Sumber: T.Y Lin & Ned H Burns, 1993)

Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika baja mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik sebelumnya (pratarik) terhadap beton. Dengan menarik dan memanjangkan baja ke beton, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan tarik terjadi pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan yang hal ini tidak dapat dicapai jika baja ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Balok beton menggunakan baha mutu tinggi dapat dilihat pada Gambar 2.8.



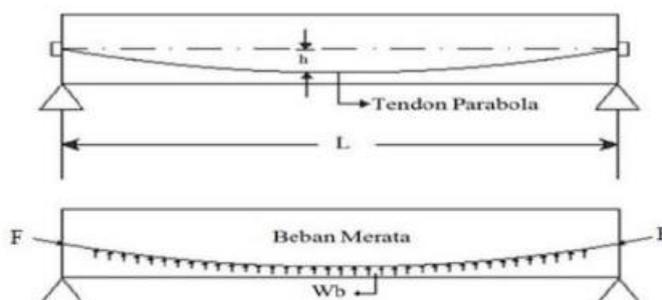
Gambar 2.8 Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi
(Sumber: T.Y Lin & Ned H Burns, 1993)

3. Sistem prategang untuk mencapai kesetimbangan beban

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 pelat (slab), balok, dan gelagar (girder) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi.

Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik 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 2.9.



Gambar 2.9 Balok Prategang dengan Tendon Parabola
(Sumber: T.Y Lin & Ned H Burns, 1993)

Prinsip Dasar Beton Prategang Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tarik bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya, karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan pada arah longitudinal elemen struktur. Gaya ini mencegah perkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang tersebut. Penampang dapat berperilaku secara elastis dan hampir semua kapasitas beton dalam memikul tekan secara efektif

dimanfaatkan di seluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja di struktur tersebut,

2.5.3 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 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 dengan 60.000 Psi (atau setara dengan 241 sampai dengan 431 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 yang memperjelas kebutuhan penggunaan baja mutu tinggi untuk komponen struktur beton prategang.

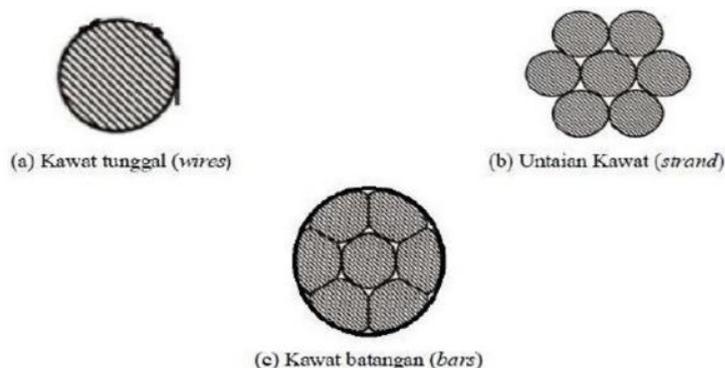
Baja tendon yang dipakai untuk beton prategang dalam prakteknya ada tiga macam, yaitu:

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

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

(stress relieved) untuk meningkatkan daktilitasnya. Pelepasan tegangan ini dilakukan dengan memanaskan batang tersebut hingga temperatur yang layak, biasanya di bawah 500°C. Meskipun proses pelepasan tegangan untuk batang dan strand pada dasarnya sama, kuat tarik batang prategang harus sedikitnya 150.000 psi (1034 MPa), dengan kuat leleh minimum sebesar 85 persen dari kuat ultimit untuk batang polos dan 80 persen untuk batang ulir.

Untuk memaksimalkan luas baja strand 7 kawat untuk suatu diameter nominal, kawat standar dapat dibentuk menjadi strand yang dipadatkan seperti terlihat dalam gambar 2.10c ini berbeda dengan strand 7 kawat standar yang terlihat dalam gambar 2.10b.



Gambar 2.10 Jenis-jenis Baja yang Dipakai untuk Beton Prategang: (a) Kawat tunggal (wires). (b) untaian Kawat (strand). (c) Kawat batangan (bars)

(Sumber: MK. Hurst, 1995)

2.5.4 Sistem prategang dan pengakuran

Sehubungan dengan perbedaan sistem untuk penarikan dan pengakuran 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 mengingatkanya pada saat menentukan dimensi komponen struktur, sehingga tendon-tendon dari beberapa sistem dapat ditempatkan dengan baik.

1. Pemberian pratarik

Baja prategang diberi pratarik terhadap pengakuran independent sebelum pengecoran beton di sekitarnya. Penjangkaran seperti ini ditumpu oleh

bulkheads yang stabil dan besar untuk memikul gaya terpusat yang sangat besar yang diberikan pada masing-masing tendon. Sebutan pratarik berarti pemberian pratarik pada baja prategang, bukan pada baloknya. Dengan demikian, balok pratarik adalah balok prategang dimana tendon prategang yang ditarik sebelum dicor. Pemberian pratarik biasanya dilakukan di Lokasi pembuatan beton pracetak, dimana landasan (bed) pracetak berupa slab beton bertulang yang panjang dicor di atas tanah dengan bulkheads angker vertikal atau dinding di ujung-ujungnya. Dalam pelaksanaan pratarik, strands dan kawat-kawat tinggal diangker dengan menggunakan beberapa system yang telah dipaten seperti, sistem chuck oleh Supreme Products, yang digunakan untuk menjangkar tendon pada sistem pascatarik.

2. Pemberian pascatarik

Di dalam pemberian pascatarik, *strands*, kawat-kawat, atau batang-batang ditarik sesudah beton mengeras. *Strands* diletakkan di dalam saluran longitudinal di dalam elemen beton pracetak. Gaya prategang ditransfer melalui penjangkaran ujung seperti *chucks* dari *Supreme Products*. Tendon berupa *strands* tidak boleh dilekatkan atau disuntik sebelum terjadinya prategang penuh.

3. Sistem pendongkrak

Salah satu komponen dasar pada operasi pemberian prategang adalah sistem pendongkrak, dengan apa gaya prategang ditransfer ke tendon baja. Gaya tersebut diberikan melalui penggunaan dongkrak hidrolik dengan kapasitas 10 sampai 20 ton dan tarikan dari 6 sampai 48in., bergantung apakah yang dilakukan pratarik atau pascatarik dan apakah tendon individual yang sedang diberi prategang ataukah semua tendon diberi tegangan secara simultan.

4. Penyuntikan tendon pascatarik

Untuk memberikan proteksi permanen pada baja pascatarik dan untuk mengembangkan letakan antara baja prategang dan beton di sekitarnya, saluran prategang harus diisi bahan suntikan semen yang sesuai dalam proses penyuntikan di bawah tekanan. Adapun material penyuntikan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Semen Portland tipe I, II atau III
- Air
- Bahan tambahan, seperti bubuk aluminium sesuai standar

2.5.5 Analisis prategang

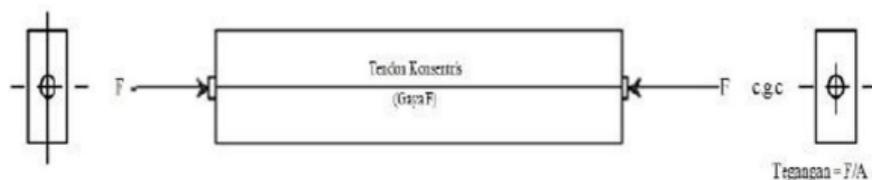
Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris. Analisa tegangan-tegangan yang timbul pada suatu elemen struktur beton prategang didasarkan atas asumsi-asumsi berikut (N. Krisna Raju, 1986):

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

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

1. Tendon konsentris

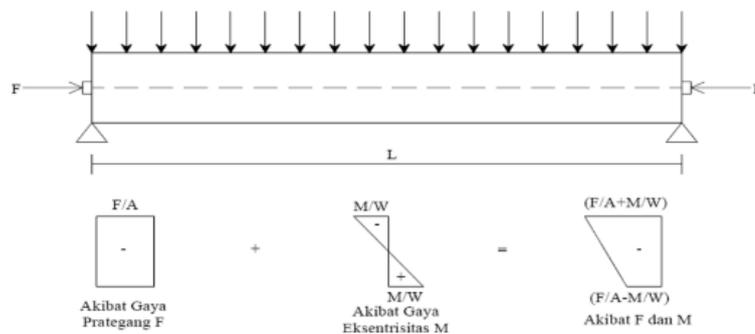
Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar dibawah ini:



Gambar 2.11 Prategang Konsentris

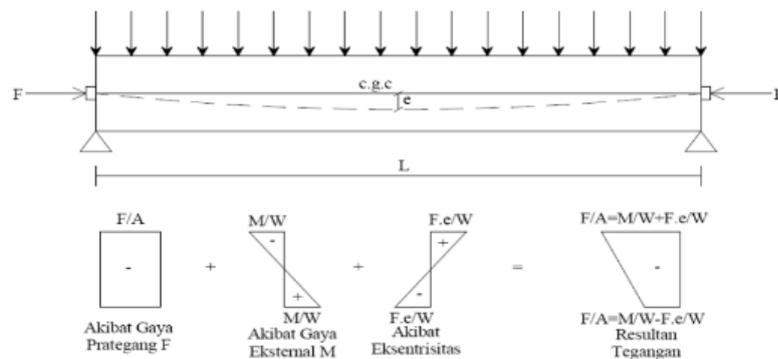
(Sumber: N Krishna Raju, 2001)

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 2.12.



Gambar 2.12 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris
(Sumber: N Krishna Raju, 2001)

2. Tendon eksentris

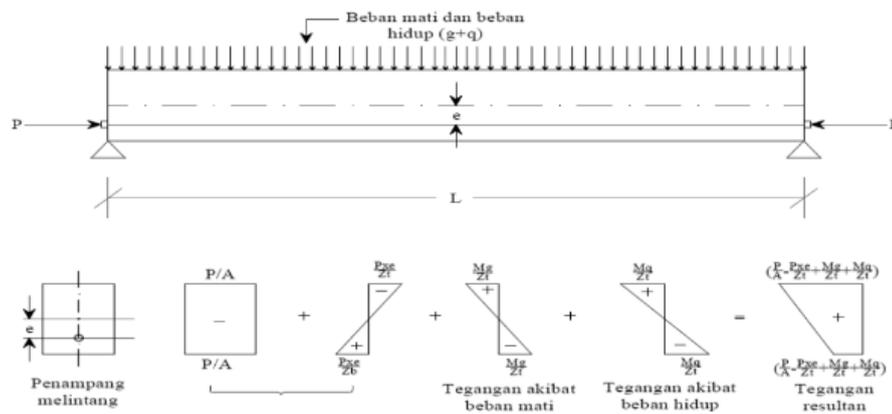


Gambar 2.13 Distribusi Tegangan Tendon Eksentris
(Sumber: N Krishna Raju, 2001)

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, dapat dilihat pada Gambar 2.13.

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. Distribusi tegangan balok prategang dengan tendon eksentris beban mati dan beban hidup dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris Beban Mati dan Beban Hidup
(Sumber: N Krishna Raju, 2001)

2.5.6 Kehilangan gaya prategang

Gaya prategang awal yang diberikan ke elemen beton mengalami proses reduksi yang progresif selama waktu kurang lebih lima tahun. Dengan demikian, tahapan gaya prategang perlu ditentukan pada setiap tahap pembebanan, dari tahap transfer gaya prategang ke beton, sampai ke berbagai tahap prategang yang terjadi pada kondisi beban kerja, hingga mencapai ultimit. Pada akhirnya, reduksi gaya prategang dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori (Edward G. Nawy, 2001) :

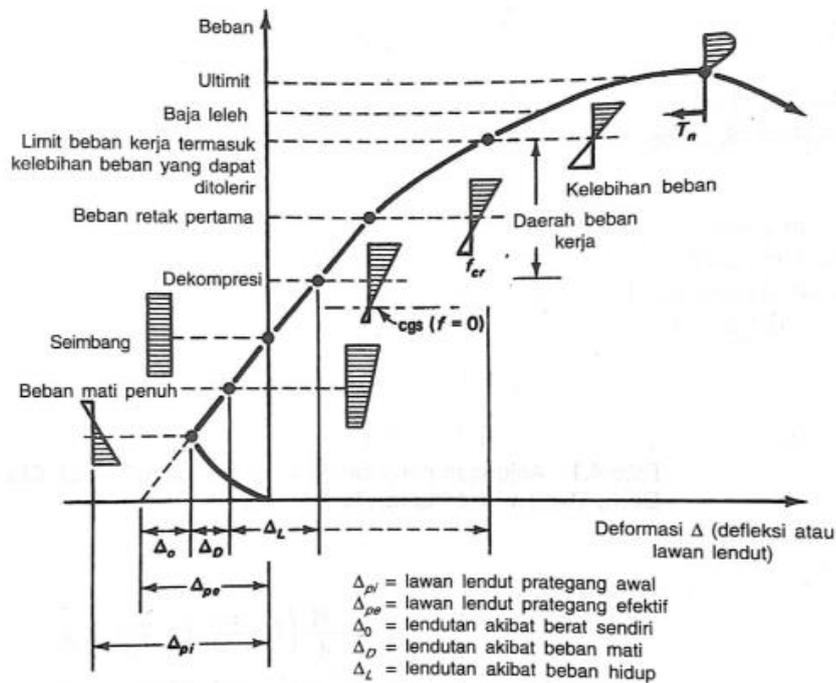
- a. Kehilangan elastis segera yang terjadi pada saat proses fabrikasi atau konstruksi, termasuk perpendekan beton secara elastis, kehilangan karena pengangkeran dan kehilangan karena gesekan.
- b. Kehilangan yang bergantung pada waktu, seperti rangka, susut dan kehilangan yang diakibatkan karena efek temperatur dan relaksasi baja, yang kesemuanya dapat ditentukan pada kondisi limit tegangan akibat beban kerja di dalam elemen beton prategang.

2.5.7 Desain penampang beton prategang terhadap lentur

Dalam desain lentur komponen struktur beton bertulang, adalah suatu hal yang memadai untuk menerapkan kondisi batas tegangan pada saat gagal di dalam menentukan pilihan penampang, asalkan semua persyaratan lain seperti daya layan, kapasitas geser dan lekatan dipenuhi. Namun, dalam desain komponen struktur beton prategang, pengecekan lainnya dibutuhkan pada saat transfer beban dan kondisi batas pada saat beban kerja, selain juga kondisi batas pada saat gagal, dengan beban gagal menunjukkan kekuatan cadangan untuk kondisi kelebihan beban. Semua pengecekan ini dibutuhkan untuk menjamin bahwa pada kondisi beban kerja, retak dapat diabaikan dan efek-efek jangka panjang terhadap defleksi atau lawan lendut dapat dikontrol dengan baik (Edward G. Nawy, 2001).

2.5.8 Modulus penampang minimum

Untuk mendesain dan memilih penampang, penentuan modulus penampang minimum yang dibutuhkan, serat bawah dan serat atas harus dilakukan terlebih dahulu (Edward G. Nawy, 2001). Jika:



Gambar 2.15 Kurva Beban-Deformasi pada Balok Prategang Tipikal
(Sumber: Edward G. Nawy, 2001)

Keterangan:

- f_{ci} = Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan.
 $= 0,60 f_{ci}'$
- f_{ti} = Tegangan tarik izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan.
 $= 3\sqrt{f_{c'}}'$ (nilai ini dapat diperbesar menjadi $6\sqrt{f_{c'}}'$ di tumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana).
- f_c = tegangan tekan izin maksimum di beton sesudah kehilangan pada taraf beban kerja.
 $= 0,45\sqrt{f_{c'}}'$ atau $0,60\sqrt{f_{c'}}'$, apabila diperkenankan oleh standar.
- f_t = tegangan tarik izin maksimum di beton sesudah seanya kehilangan pada taraf beban kerja.
 $= 6\sqrt{f_{c'}}'$ (pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi $12\sqrt{f_{c'}}'$ jika persyaratan defleksi jangka panjang dipenuhi).

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

a. Pada saat transfer

$$\text{Serat atas } f_a = -\frac{P_t}{A} + \frac{(P_t \times e_s)}{W_a} - \frac{M_{\text{balok}}}{W_a} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\text{Serat bawah } f_a = -\frac{P_t}{A} - \frac{(P_t \times e_s)}{W_a} + \frac{M_{\text{balok}}}{W_a} = -0,6 \times f_{ci}' \dots\dots\dots (2.24)$$

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

b. Tegangan akhir pada kondisi beban kerja

$$P_e = \frac{P_t}{0,85} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$P_e = 0,8 \times P_{b1} \times n_t \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

M_{balok} : momen akibat berat sendiri

P_t, P_b : tegangan di serat atas dan bawah

e_s : eksentrisitas tendon dari pusat berat penampang beton

A : luas penampang balok prategang

W_a, W_b : tahanan momen sisi atas dan sisi bawah

P_{b1} : beban putus minimal satu tendon

n_t : jumlah kawat untaian (*strands cable*)

2.5.9 Balok dengan eksentrisitas tendon bervariasi

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

$$P_e = \gamma \cdot P_i \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana γ adalah rasio prategang residual, maka kehilangan prategang adalah:

$$P_i - P_e = (1 - \gamma) \cdot P_i \dots\dots\dots (2.28)$$

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

$$\Delta f_a = (1 - \gamma) \left[f_{ti} + \frac{M_D}{S_a} \right] \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\Delta f_b = (1 - \gamma) \left[-f_{ci} + \frac{M_D}{S_b} \right] \dots\dots\dots (2.02)$$

Pada saat momen akibat beban mati tambahan MsD dan momen akibat beban hidup MsD telah bekerja, tegangan netto di serat atas adalah:

$$f_n' = f_{ti} - \Delta f_a - f_c \dots\dots\dots (2.31)$$

Atau

$$f_n' = \gamma f_{ti} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_a} - f_c \dots\dots\dots (2.32)$$

Tegangan netto di serat bawah adalah :

$$f_{bn} = f_t - f_{ci} - \Delta f_b \dots\dots\dots (2.33)$$

Atau

$$f_{bn} = f_t - \gamma f_c - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_b} \dots\dots\dots (2.34)$$

Penampang yang dipilih harus mempunyai modulus penampang :

$$S_a \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} M_L}{\gamma f_{ti} - f_c} \dots\dots\dots (2.35)$$

Dan

$$S_b \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} M_L}{f_t - \gamma f_{ci}} \dots\dots\dots (2.36)$$

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

$$e_c = (f_t - \bar{f}_{ci}) \frac{S_a}{P_i} + \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots (2.37)$$

Dan di tumpuan adalah:

$$e_c = (f_t - \bar{f}_{ci}) \frac{S_a}{P_i} \dots\dots\dots (2.38)$$

Dimana f_{ci} adalah tegangan beton pada saat transfer pada level pusat berat (egc) penampang beton dan :

$$P_i = \bar{f}_{ci} \cdot A_c \dots\dots\dots (2.39)$$

Jadi,

$$\bar{f}_{ci} = f_{ti} \frac{c_g}{h} (f_t - f_{ci}) \dots\dots\dots (2.40)$$

2.5.10 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 penampang beton perlu ditetapkan, yaitu selubung (*envelope*) yang di dalamnya gaya prategang dapat bekerja tanpa menyebabkan terjadinya tarik di serat beton ekstrim. Dan persamaan didapatkan:

$$f_t = 0 = - \frac{P_t}{A_c} (1 - \frac{e_{ct}}{r^2}) \dots\dots\dots (2.43)$$

Untuk bagian gaya prategang saja. Sehingga, $= \frac{r^2}{C_a}$. dengan demikian titik

kern di bawah adalah:

$$k_b = \frac{r^2}{C_a} \dots\dots\dots (2.44)$$

Dengan cara yang sama, jika $f_b = 0$, didapat sehingga, $-e = \frac{r^2}{C_b}$ yang mana

tanda negatif menunjukkan pengukuran ke arah bawah dari sumbu netral karena eksentrisitas positif ke arah bawah. Dengan demikian titik kern bawah adalah:

$$k_a = \frac{r^2}{C_b} \dots\dots\dots (2.45)$$

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

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

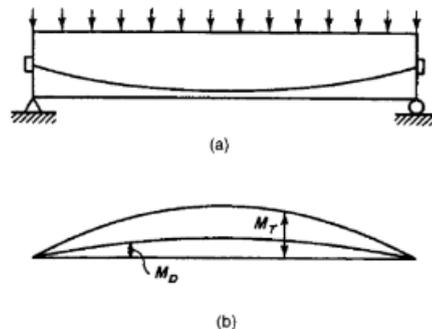
2.5.11 Selubung eksentrisitas yang membatasi

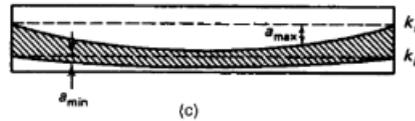
Eksentrisitas tendon yang didesain di sepanjang bentang diharapkan sedemikian hingga tarik yang terjadi di serat ekstrim balok hanya terbatas atau tidak ada sama di penampang yang menentukan dalam desain. Jika tarik tidak dikehendaki sama sekali di sepanjang bentang balok dengan tendon berbentuk *dropped*, maka eksentrisitasnya harus ditentukan di penampang-penampang berikut di sepanjang bentang. Jika M_D adalah momen akibat beban mati dan M_T masing-masing adalah a_{min} dan a_{max} , seperti pada Gambar 2.16 selubung egs bawah, lengan minimum dari kopel tendon sebagai berikut:

$$a_{min} = \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots (2.46)$$

$$a_{max} = \frac{M_T}{P_i} \dots\dots\dots (2.47)$$

Persamaan ini mendefinisikan jarak maksimum diawali 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.





Gambar 2.16 Penentuan Selubung egs (a) Lokasi satu tendon (b) Gambar bidang momen (c) Batas-batas selubung egs
(Sumber: Edward G. Nawy, 2001)

2.6 Perhitungan Struktur Jembatan

2.6.1 Perhitungan tulangan struktur jembatan

Perhitungan tulangan struktur pada jembatan mengacu pada aturan yang berlaku pada RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan. Perhitungan tulangan sendiri terbagi menjadi perhitungan tulangan pokok atau lentur, tulangan pembagi atau susut suhu dan tulangan geser. Adapun perhitungan tulangan sendiri dapat dilihat pada penjelasan berikut ini.

1. Tulangan lentur

Penulangan lentur sendiri merupakan tulangan yang dipakai untuk menahan pembebanan momen lentur yang terjadi pada struktur yang ada di Jembatan. Adapun perhitungan untuk tulangan lentur sendiri adalah sebagai berikut.

a. Menghitung rasio penulangan

1) Minimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots (2.48)$$

2) Maksimum

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \dots\dots\dots (2.49)$$

3) Desain

$$\rho = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times M_u}{1,7 \times \phi \times f_c' \times b \times d^2}} \right] \dots\dots\dots (2.50)$$

Rasio tulangan yang digunakan adalah nilai dari hasil perhitungan antara

ρ_{min} dengan ρ_{desain} .

- b. Menghitung luas tulangan yang diperlukan

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d \dots\dots\dots (2.51)$$

- c. Menghitung jarak tulangan yang digunakan

$$s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \dots\dots\dots (2.52)$$

- d. Menghitung luas tulangan yang digunakan

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \dots\dots\dots (2.53)$$

Nilai dari $A_{s \text{ pakai}}$ harus lebih besar dari $A_{s \text{ perlu}}$.

- e. Menghitung jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ tulangan}}} \dots\dots\dots (2.54)$$

2. Tulangan pembagi

Tulangan pembagi merupakan tulangan yang dipasang pada pelat yang mempunyai satu macam tulangan pokok dan pemasangannya tegak lurus dengan tulangan pokok.

- a. Untuk A_s dari tulangan pembagi dapat diambil 50% dari tulangan lentur atau tulangan pokok.

$$A_s \text{ perlu pembagi} = 50\% \times A_s \text{ perlu pokok} \dots\dots\dots (2.55)$$

- b. Untuk menghitung penulangan pembagi pada struktur parapet dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jika } f_y < 300 \text{ MPa, } A_s \text{ perlu pembagi} = 0,0020 \times b \times h \dots\dots\dots (2.56)$$

$$\text{Jika } f_y > 400 \text{ MPa, } A_s \text{ perlu pembagi} = 0,0018 \times b \times h \dots\dots\dots (2.57)$$

- c. Menghitung jarak tulangan yang digunakan

$$s = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \dots\dots\dots (2.58)$$

- d. Menghitung luas tulangan yang digunakan

$$A_{\text{pakai}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{b}{s} \dots\dots\dots (2.59)$$

Nilai dari $A_{\text{s pakai}}$ harus lebih besar dari $A_{\text{s perlu}}$.

- e. Menghitung jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{stulangan}}} \dots\dots\dots (2.60)$$

3. Tulangan geser

Tulangan geser diperlukan untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus dari retak yang diakibatkan oleh gaya geser.

- a. Menghitung kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \dots\dots\dots (2.61)$$

$$0,5 \times \phi_v \times V_c \dots\dots\dots (2.62)$$

Jika $V_u < 0,5 \times \phi_v \times V_c$ maka menggunakan tulangan geser minimum, akan tetapi jika $V_u > 0,5 \times \phi_v \times V_c$ maka perlu menggunakan tulangan geser.

- b. Menghitung luas tulangan geser

$$\text{Luas tulangan geser minimum, } A_v = \frac{1}{3} \times \frac{b \times s}{f_y} \dots\dots\dots (2.63)$$

$$\text{Luas tulangan 2 kaki, } A_v = 2 \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots\dots\dots (2.64)$$

- c. Menghitung geser tulangan

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s} \dots\dots\dots (2.65)$$

- d. Menghitung geser nominal

$$V_{n1} = V_c + V_s \dots\dots\dots (2.66)$$

$$V_{n2} = 0,25 \times f_c' \times b \times d \dots\dots\dots (2.67)$$

Dari kedua perhitungan tersebut, diambil nilai yang terkecil.

- e. Menghitung tahanan geser

$$V_r = \phi_v \times V_n \dots\dots\dots (2.68)$$

Nilai dari V_r harus lebih besar dibandingkan nilai V_u .

- f. Menghitung tegangan geser beton

$$v_u = \frac{V_u}{\phi_v \times b \times d} \dots\dots\dots (2.69)$$

Jika nilai $v_u > 0,125f_c'$ maka rumus syarat spasi maksimum adalah $0,8 \times d \leq 300 \text{ mm}$, namun jika nilai $v_u < 0,125f_c'$ maka rumus syarat spasi maksimum adalah $0,8 \times d \leq 600 \text{ mm}$.

2.6.2 Perhitungan struktur atas jembatan

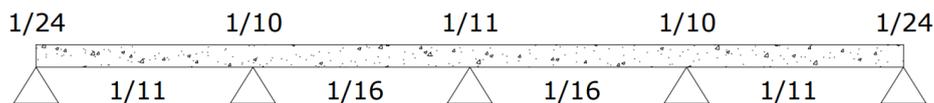
1. Pelat lantai kendaraan

Pelat lantai merupakan komponen jembatan yang memiliki fungsi utama untuk mendistribusikan beban sepanjang potongan melintang jembatan. Plat lantai merupakan bagian yang menyatu dengan sistem struktur yang lain yang didesain untuk mendistribusikan beban – beban sepanjang bentang jembatan.

- a. Analisa pembebanan (SNI 1725:2016)

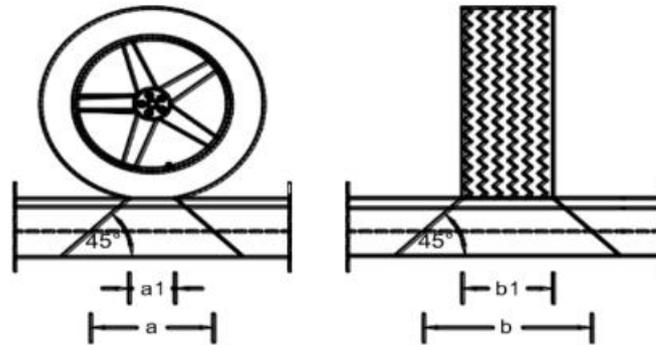
- 1) Menghitung beban mati yang terdiri dari:

- Berat aspal, faktor = 2
- Berat pelat, faktor = 1,3
- Berat air hujan, faktor = 2
- Menghitung koefisien momen pada lantai kendaraan arah X



Gambar 2.17 Koefisien Momen Pada Lantai Kendaraan Arah X

2) Menghitung beban hidup kendaraan



Gambar 2.18 Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

Diketahui:

$$a_1 = 0,25 \text{ m}, a = a_1 + (2 \times \text{taspal}) + (2 \times 0,5 \times \text{tbeton}) \dots (2.70)$$

$$b_1 = 0,75 \text{ m}, b = b_1 + (2 \times \text{taspal}) + (2 \times 0,5 \times \text{tbeton}) \dots (2.71)$$

Pembebanan 1 roda truk = 112,5 kN

Faktor beban truk = 1,8

Tinjauan beban yang dihitung untuk kondisi 1 dan kondisi 2 dapat dihitung dengan menggunakan tabel bittner.

3) Menghitung beban angin kendaraan

$$Q_{EW1} = EW_1 \times \frac{y}{d} \times (a \times b) \dots (2.72)$$

2. Parapet

Parapet direncanakan untuk menahan benturan dan menjaga kendaraan agar tidak keluar dari jembatan (fungsi kerb). Sehingga beban hidup yang digunakan dalam perencanaanya adalah memakai beban hidup kerb, yaitu sebesar 15 kN/m.

$$M_{\text{parapet}} = 15 \text{ kN/m} \times b \times l \times \text{faktor beban hidup} \dots (2.73)$$

3. Balok Diafragma

Berada melintang diantara gelagar utama, konstruksi ini berfungsi sebagai pengaku gelagar utama dan tidak berfungsi sebagai struktur

penahan beban luar apapun, kecuali berat sendiri diafragma.

Menggunakan kontraksi beton bertulang.

2.6.3 Perhitungan struktur bawah jembatan

1. 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 untuk menahan gaya horizontal dan elastomer horizontal yang berfungsi untuk menahan gaya vertikal. Pembebanan.

Pembebanan yang bekerja pada perletakan diambil dari pembebanan yang bekerja pada balok prategang dengan cara beban yang ditinjau dikali dengan panjang bentang jembatan. Selanjutnya dicek apakah gaya yang bekerja lebih besar dari kapasitas beban per unit elastomer.

2. 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 di belakang bangunan penahan tanah diasumsikan sama dengan berat tanah setinggi 70 cm.

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_{ult} total.

3. Abutment

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

a. Kontrol terhadap bahaya guling

$$SF = \frac{M_p}{M} < 1,5 \dots\dots\dots (2.74)$$

b. Kontrol terhadap bahaya geser

$$SF = \frac{H}{T} \geq 1,5 \dots\dots\dots (2.75)$$

c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F = \frac{q_{ult}}{q_1} < 2,5 \text{ (AMAN)} \dots\dots\dots (2.76)$$

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

4. Pondasi

Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan serta bebannya, dan letaknya sangat dalam. Pondasi tiang pancang ini berfungsi untuk memindahkan atau mentransferkan beban-beban dari konstruksi di atasnya (*super structure*) ke lapisan tanah yang lebih dalam. Pada umumnya, tiang pancang dipancang tegak lurus ke dalam tanah, tetapi apabila diperlukan untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal maka tiang pancang akan dipancang miring (*batter pile*), (Ir.Sardjono HS, 1988).

Dengan meningkatnya beban yang bekerja pada suatu pondasi, maka akan meningkat pula tegangan yang terjadi pada dasar pondasi tersebut, demikian pula penurunan yang terjadi. Bila beban tersebut terus ditingkatkan, maka pondasi akan semakin turun dan mengakibatkan terjadi kelongsoran.

Besarnya beban ini disebut beban longsor dan tegangan yang bekerja disebut sebagai daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*)

dari tanah pondasi tersebut. Pada kondisi ini, penurunan akan terus berlanjut meskipun beban tidak ditambah lagi.

Tanah akan meningkat kepadatannya dan kekuatan gesernya apabila mendapat tekanan. Bila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, maka tegangan geser yang terjadi pun telah melampaui kekuatan geser tanah pondasi. Akibatnya terjadi keruntuhan geser tanah pondasi tersebut dalam keadaan seperti ini, di bawah dasar pondasi akan terbentuk daerah yang terpadatkan dan sekitarnya akan terbentuk daerah keseimbangan plastis. Daerah tersebut kekuatan geser tanah terlampaui sehingga tanah pondasi akan terdesak ke samping dan permukaan tanah akan terangkat. Desakan ke samping ini dapat terjadi ke dua arah atau ke satu arah.

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

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

Kuat tekan beton (f_c')

$$\text{Tegangan ijin beton } (f_c) = 0,3 \times f_c \times 1000 \dots\dots\dots (2.77)$$

$$\text{Luas tampang tiang pancang } (A) = \frac{\pi}{4} \times D^2 \dots\dots\dots (2.78)$$

Panjang tiang pancang (L)

$$\text{Berat tiang pancang } (W) = A \times L \times W_c \dots\dots\dots (2.79)$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang pancang } (P_{ijin}) = A \times f_c \times W \dots\dots\dots (2.80).$$

2.7 Manajemen Proyek

2.7.1 Pengertian manajemen proyek

Manajemen proyek adalah merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Lebih jauh, manajemen proyek menggunakan pendekatan sistem dan hirarki (arus kegiatan) vertikal maupun horizontal. (H. Kerzner, 1982).

Manajemen konstruksi mengacu pada bagaimana sumber daya tersedia sehingga dapat diaplikasikan dengan baik. Lima sumber daya yang digunakan untuk konstruksi, yaitu :

- a. *Manpower* (tenaga kerja)
- b. *Machines* (alat dan peralatan)
- c. *Material* (bahan bangunan)
- d. *Money* (uang)

Manajemen melibatkan waktu dan pengaplikasian kelima sumber daya di atas untuk membangun suatu proyek konstruksi. Banyak hal yang harus dipertimbangkan pada saat mengatur suatu proyek dan secara sukses mengaplikasikan kelima sumber daya tersebut.

Fungsi-fungsi manajemen menurut George R. Terry adalah sebagai berikut :

- a. *Planning* (perencanaan)

Planning/pengorganisasian merupakan suatu tindakan pengambilan keputusan data, informasi, asumsi, atau fakta kegiatan yang dipilih dan akan dilakukan pada masa mendatang. Bentuk tindakan tersebut antara lain:

- 1) Menetapkan tujuan dan sasaran usaha.
- 2) Menyusun rencana induk jangka panjang dan pendek.
- 3) Menyumbang strategi dan prosedur operasi.
- 4) Menyiapkan pendanaan serta standar kualitas yang diharapkan.

Manfaat dari fungsi perencanaan ini adalah sebagai alat pengawas maupun pengendalian kegiatan, atau pedoman pelaksanaan kegiatan, atau pedoman pelaksanaan kegiatan, serta sarana untuk memilih dan menetapkan kegiatan yang diperlukan.

b. *Organizing* (pengorganisasian)

Pengorganisasian adalah suatu tindakan mempersatukan kumpulan kegiatan manusia yang mempunyai pekerjaan masing-masing saling berhubungan satu sama lain dengan tata cara tertentu. Tindakan tersebut antara lain berupa:

- 1) Membagi pekerjaan ke dalam tugas operasional.
- 2) Menggabungkan jabatan ke dalam unit terkait.
- 3) Memilih dan menempatkan orang-orang pada pekerjaan yang sesuai.
- 4) Menyesuaikan wewenang dan tanggung jawab masing-masing personel.

Manfaat dari fungsi organisasi merupakan pedoman pelaksanaan fungsi, pembagian tugas serta hubungan tanggung jawab serta delegasi kewenangannya terlihat jelas.

c. *Actuating* (pelaksanaan)

Fungsi pelaksanaan adalah yang terpenting di antara fungsi lainnya, karena fungsi ini ditekankan pada hubungan dan kegiatan langsung para anggota organisasi, sementara perencanaan dan pengorganisasian lebih bersifat abstrak atau tidak langsung. George R. Terry menguraikan bahwa pelaksanaan adalah upaya untuk menggerakkan anggota organisasi sesuai dengan keinginan dan usaha mereka untuk mencapai tujuan perusahaan serta anggota di organisasi karena setiap anggota pasti juga memiliki tujuan pribadi.

Tindakan yang dilakukan dalam fungsi *actuating* antara lain:

- 1) Mengkoordinasikan pelaksanaan kegiatan.
- 2) Berkomunikasi secara efektif.
- 3) Mendistribusikan tugas, wewenang, dan tanggung jawab.
- 4) Memberikan pengarahan, penugasan, dan motivasi.
- 5) Berusaha memperbaiki pengarahan sesuai petunjuk pengawasan.

Manfaat dari fungsi pelaksanaan ini adalah terciptanya keseimbangan tugas, hak, dan kewajiban masing-masing bagian dalam organisasi, dan mendorong tercapainya efisiensi serta kebersamaan dalam bekerja sama untuk tujuan bersama.

d. *Controlling* (pengendalian)

Pengendalian manajemen merupakan usaha yang tersistematis dari perusahaan untuk mencapai tujuannya dengan cara membandingkan prestasi kerja dengan rencana dan membuat tindakan yang tepat untuk mengoreksi perbedaan yang penting. Pengendalian merupakan tindakan pengukuran kualitas dan evaluasi kinerja. Tindakan ini juga diikuti dengan perbaikan yang harus diambil terhadap penyimpangan yang terjadi, khususnya di luar batas-batas toleransi. Tindakan tersebut meliputi, antara lain:

- 1) Mengukur kualitas hasil.
- 2) Membandingkan hasil terhadap standar kualitas.
- 3) Mengevaluasi penyimpangan yang terjadi.
- 4) Memberikan saran-saran perbaikan.
- 5) Menyusun laporan kegiatan.

Manfaat dari fungsi pengendalian adalah memperkecil kemungkinan kesalahan yang terjadi dari segi kualitas, kuantitas, biaya maupun waktu.

2.7.2 Standar peraturan perencanaan jembatan yang digunakan

Adapun perencanaan manajemen proyek, rencana anggaran biaya, dan penjadwalan pada jembatan ini mengacu kepada standar peraturan yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum antara lain :

1. Peraturan Presiden (PERPRES) No. 16 Tahun 2018, tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah
2. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi
3. Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Bagian III tentang Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Bina Marga yang dikeluarkan langsung oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).
4. Daftar Harga Satuan Kota Prabumulih 2022

2.7.3 Bill of quantity (volume suatu pekerjaan)

Bill Of Quantity atau volume suatu pekerjaan adalah menghitung jumlah banyaknya volume pekerjaan dalam satu satuan.. Volume juga disebut sebagai kubikasi pekerjaan. Volume (kubikasi) yang dimaksud dalam pengertian ini bukanlah merupakan volume (isi sesungguhnya), melainkan jumlah volume bagian pekerjaan dalam satu kesatuan.

Sebelum menghitung volume masing-masing pekerjaan, lebih dahulu harus membaca gambar bestek berikut gambar - gambar detail (penjelasannya). Penguasaan dalam membaca gambar bestek dan gambar penjelasan akan sangat mempengaruhi tingkat ketelitian dalam menghitung volume masing-masing pekerjaan. Tahapan yang perlu dilakukan dalam menghitung volume pekerjaan adalah antara lain menguraikan masing-masing volume pekerjaan (uraian volume pekerjaan) dan dari uraian tersebut masing-masing harus dihitung volume pekerjaannya. Yang dimaksud dengan uraian volume pekerjaan adalah menguraikan secara rinci besar volume suatu pekerjaan. Menguraikan, berarti menghitung besar volume masing-masing pekerjaan sesuai dengan gambar bestek dan gambar detail.

2.7.4 Kuantitas pekerjaan

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

a. Menganalisa biaya pekerjaan

Analisa biaya suatu pekerjaan dilakukan per komponen pekerjaan yang dihitung secara teliti pada kuantitas pekerjaan yang dapat dilihat pada daftar kuantitas pekerjaan. Hasil dari penjumlahan konstruksi tersebut dengan rekapitulasi.

b. Membuat daftar harga bahan dan upah

Harga bahan dan upah yang standar dikeluarkan oleh instansi pemerintah, dalam suatu provinsi untuk daerah yang satu dengan daerah yang lainnya harga satu bahan dan upah berbeda-beda sesuai dengan sulit mudahnya daerah tersebut dijangkau.

c. Rekapitulasi biaya pekerjaan

Untuk mengetahui besarnya rencana anggaran biaya suatu pekerjaan yang dihitung, maka harus dibuat rekapitulasi dari masing-masing pekerjaan agar lebih mudah dibaca dan dipahami.

d. Analisa alat berat

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

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

1) Prinsip dasar perhitungan alat berat

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

2) Prinsip dasar perhitungan biaya pemilikan dan operasi alat berat Biaya

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

2.8 Rencana Kerja dan Syarat-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.

Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) adalah dokumen yang berisi sekumpulan persyaratan baik persyaratan administratif maupun persyaratan teknis yang diberlakukan pada perencanaan bangunan tertentu. Umumnya, isi dari RKS terdiri dari lima bagian, yaitu:

1. Keterangan

Dalam bagian ini dipaparkan mengenai pihak-pihak yang terlibat didalamnya, yaitu pemberi tugas, konsultan perencana, konsultan pengawas, kontraktor. Termasuk juga hak dan kewajiban dari setiap pihak yang terlibat. Hal yang kedua dituliskan lampiran-lampiran yang disertakan, dengan menyebutkan macam-macam gambar dan jumlah selengkapnyanya. Hal ini harus disampaikan sebagai tindakan antisipasi apabila dalam dokumen tender terdapat ketidaklengkapan gambar.

2. Penjelasan umum

Hal-hal yang dipaparkan dalam bagian ini antara lain adalah sebagai berikut:

- a) Jenis pekerjaan, informasi tentang pekerjaan yang akan dikerjakan apakah itu bangunan gedung, bangunan jalan, bangunan jembatan atau yang lain perlu disampaikan disini
- b) Peraturan-peraturan yang digunakan baik yang bersifat nasional maupun lokal atau setempat; penjelasan mengenai berita acara penjelasan pekerjaan dan keputusan akhir yang digunakan
- c) Status dan batas-batas lokasi pekerjaan beserta patok duga yang digunakan, hal ini bagian terpenting pada saat kontraktor akan memulai pekerjaannya dikarenakan implikasinya sangat besar terhadap perencanaan pelaksanaan.

3. Peraturan teknis

Rincian dari setiap bagian pekerjaan yang akan dilaksanakan dimulai pekerjaan persiapan sampai dengan pekerjaan penyelesaian. Kadangkala disebutkan pula metoda kerja pelaksanaan pekerjaan, bahan-bahan yang akan digunakan beserta persyaratannya.

4. Syarat pelaksanaan

Syarat yang ada ketika pelaksanaan membahas mengenai sebagai berikut:

- a) Rencana pelaksanaan pekerjaan, misalnya pembuatan *time schedule*, perlengkapan kantor, ketersediaan obat-obatan, peralatan pemadam kebakaran, perlengkapan di lapangan sesuai dengan peraturan kesehatan dan keselamatan kerja.
- b) Persyaratan dan pemeriksaan bahan yang akan digunakan, baik secara visual maupun laboratorium beserta jumlah sample yang harus diuji.
- c) Rencana pengaturan pelaksanaan di tempat pekerjaan, misalnya letak dan besar kantor proyek dan direksi, sistem aliran barang di lokasi pekerjaan, letak peralatan konstruksi, lokasi bengkel pekerja bengkel kerja, tempat-tempat penyimpanan material beserta sistemnya.

5. Peraturan administrasi

Dijelaskan tentang teknik dan tata cara administrasi yang harus dilakukan selama pelaksanaan pekerjaan sesuai dengan instansi pemilik proyek. Ketentuan administrasi antara proyek swasta dengan proyek pemerintah tentunya akan berbeda, esensinya adalah bagaimana cara mempertanggungjawabkan kepada pihak lain. Dalam peraturan administrasi dibedakan pula antara peraturan administrasi keuangan dan teknis.

2.9 Rencana Anggaran Biaya

Konsep penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek, pada pelaksanaannya didasarkan pada sebuah analisa masing-masing komponen penyusunnya (material, upah dan peralatan) untuk tiap-tiap item pekerjaan yang terdapat dalam keseluruhan proyek. Hasil analisa komponen tersebut pada akhirnya akan menghasilkan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) per item yang menjadi dasar dalam menentukan nilai estimasi biaya pelaksanaan proyek keseluruhan dengan mekonversikannya kedalam total volume untuk tiap item pekerjaan yang dimaksud.

Secara umum pengertian Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek, adalah nilai estimasi biaya yang harus disediakan untuk pelaksanaan sebuah kegiatan proyek. Namun beberapa praktisi mendefinisikannya secara lebih detail, seperti :

- Menurut Sugeng Djojowiriono, 1984, Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek merupakan perkiraan biaya yang diperlukan untuk setiap pekerjaan dalam suatu

proyek konstruksi sehingga akan diperoleh biaya total yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek.

- J. A. Mukomoko, dalam bukunya Dasar Penyusunan Anggaran Biaya Bangunan, 1987 Rencana Anggaran Biaya (RAB) Proyek adalah perkiraan nilai uang dari suatu kegiatan (proyek) yang telah memperhitungkan gambar-gambar bestek serta rencana kerja, daftar upah, daftar harga bahan, buku analisis, daftar susunan rencana biaya.

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.

2.10 Network Planning

Network Planning atau jaringan kerja adalah suatu teknik yang digunakan oleh seorang manager untuk merencanakan, menjadwalkan dan mengawasi aktivitas pekerjaan suatu proyek dengan menggunakan pendekatan atau analisis waktu (*time*) dan biaya (*cost*) yang digambarkan dalam bentuk simbol dan diagram. *Network Planning* sangat membantu dalam perencanaan dan penjadwalan suatu proyek.

Network Planning, sebagai jaringan kerja berbagai kegiatan dapat menunjukkan kegiatan-kegiatan kritis yang membutuhkan pengawasan ketat agar pelaksanaannya tidak terjadi keterlambatan. Format *Network Planning* juga digunakan untuk mengetahui kegiatan-kegiatan yang longgar waktu penyelesaiannya berdasarkan total float-nya, sehingga kesemua itu dapat digunakan untuk memperbaiki jadwal dan agar alokasi sumber dayanya menjadi lebih efektif serta efisien.

Menurut Handoko (2010), manfaat *Network Planning* adalah sebagai berikut:

- 1) Perencanaan suatu proyek yang kompleks.
- 2) Scheduling pekerjaan-pekerjaan sedemikian rupa dalam urutan yang praktis dan efisien.
- 3) Mengadakan pembagian kerja dari tenaga kerja dan dana yang tersedia.
- 4) Scheduling ulang untuk mengatasi hambatan-hambatan dan keterlambatan-keterlambatan.
- 5) Menentukan *Trade Off* (kemungkinan pertukaran) antara waktu dan biaya.
- 6) Menentukan probabilitas penyelesaian suatu proyek tertentu.

2.11 Barchart

Barchart mempunyai hubungan yang erat dengan *network planning* berupa diagram batang yang secara sederhana dapat menunjukkan informasi rencana jadwal proyek beserta durasinya, lalu dibandingkan dengan progres aktual sehingga diketahui apakah proyek terlambat atau tidak.

2.12 Kurva S

Kurva S merupakan grafik yang menggambarkan suatu perkembangan proyek yang berguna dalam pengendalian kinerja waktu. Hal ini ditunjukkan dari bobot penyelesaian kumulatif masing-masing kegiatan dibandingkan dengan keadaan aktual, sehingga apakah proyek terlambat atau tidak dapat dikontrol dengan memberikan baseline pada periode tertentu.