

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum

Jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain.

Jembatan adalah jalan yang terletak diatas permukaan air dan atau di atas permukaan tanah, (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.34, Tahun 2006).

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan air atau lalu lintas biasa, (J.Struyk & Van Der Veen, 1995).

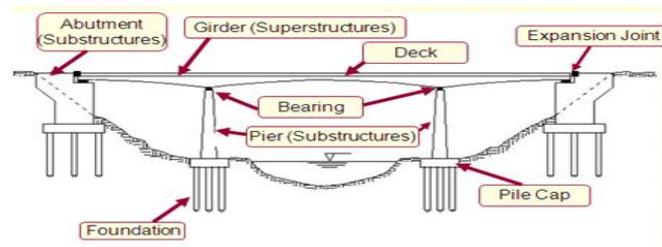
Jembatan ialah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang saluran air, lembah atau menyilang jalan lainnya yang tidak sama tinggi permukaannya, (Iman Subarkah, 1979).

Adapun bagian-bagian jembatan menurut Agus Iqbal Manu (1995), yaitu :

- Bangunan atas
- Bangunan bawah

Pada umumnya suatu bangunan jembatan terdiri dari 6 bagian pokok sebagai berikut :

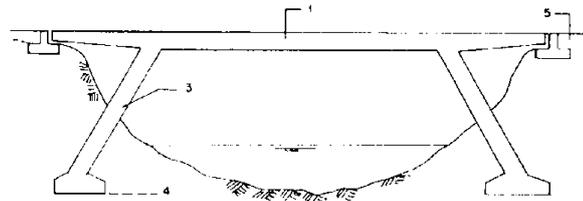
- 1) Bangunan atas
- 2) Landasan
- 3) Bangunan bawah
- 4) Pondasi
- 5) Oprit
- 6) Bangunan pengaman jembatan



Gambar 2.1 Bagian-bagian Bangunan Jembatan

(Sumber: Agus Iqbal Manu, 1995)

Empat diantara ke enam bagian pokok tersebut, selalu ada pada suatu bangunan jembatan yaitu : bangunan atas, bangunan bawah, pondasi dan opit. Tidak selalu landasan dan bangunan pengaman ada pada suatu bangunan jembatan. Ada jembatan dimana bangunan atas, bangunan bawah pilar dan pondasi pilar merupakan suatu kesatuan berbentuk suatu portal seperti dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Bangunan Atas, Bangunan Bawah Pilar dan Pondasi Pilar

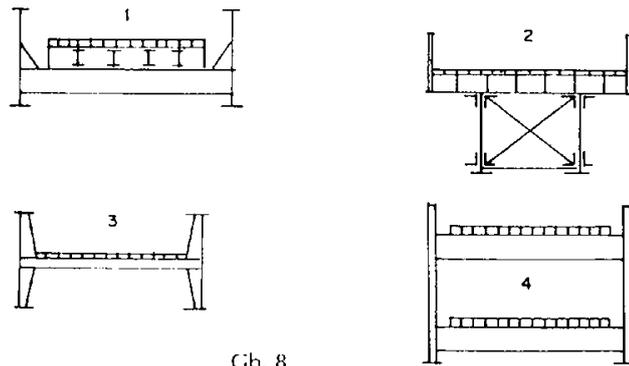
(Sumber: Agus Iqbal Manu, 1995)

Macam-macam klasifikasi jembatan, yaitu :

- 1) Klasifikasi menurut kegunaannya :
 - Jembatan Jalan Raya
 - Jembatan Kereta Api
 - Jembatan Jalan Air
 - Jembatan Jalan Pipa
 - Jembatan Penyebrangan
- 2) Klasifikasi menurut jenis material :
 - Jembatan Kayu
 - Jembatan Baja
 - Jembatan Beton : Beton Bertulang dan Beton Pratekan

3) Klasifikasi menurut letak lantai jembatan :

1. Jembatan lantai kendaraan di bawah
2. Jembatan lantai kendaraan di atas
3. Jembatan lantai kendaraan di tengah
4. Jembatan lantai kendaraan di atas dan di bawah (*double deck bridge*).



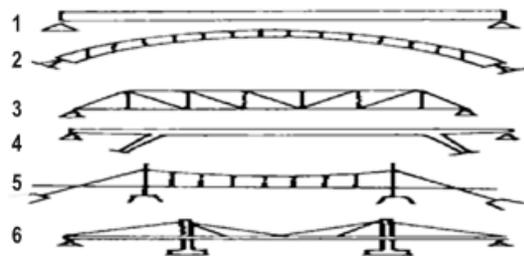
Gib. 8

Gambar 2.3 Klasifikasi Menurut Letak Lantai Jembatan

(Sumber: Agus Iqbal Manu, 1995)

4) Klasifikasi menurut bentuk struktur secara umum :

1. Jembatan Gelagar (*girder bridge*)
2. Jembatan Pelengkung/Busur (*arch bridge*)
3. Jembatan Rangka (*truss bridge*)
4. Jembatan Portal (*rigid frame bridge*)
5. Jembatan Gantung (*suspension bridge*)
6. Jembatan Kabel (*cable stayed bridge*)



Gambar 2.4 Klasifikasi Menurut Bentuk Struktur Secara Umum

(Sumber: Agus Iqbal Manu, 1995)

Adapun beberapa pertimbangan-pertimbangan yang menentukan diperlukannya membangun jembatan antara lain sebagai berikut :

1. Umur jembatan lama yang terlalu tua sehingga dirasakan perlu diganti dengan jembatan yang baru.
2. Diperlukan jembatan yang sama sekali baru, sebab alat penyeberangan/perlintasan yang ada (misal : ponton) tidak dapat memenuhi kebutuhan yang ada.
3. Pada jalan-jalan yang sama sekali baru, diperlukan membangun jembatan yang baru.

2.2 Bagian – Bagian Konstruksi Jembatan Beton Prategang

Secara umum konstruksi jembatan beton memiliki dua bagian yaitu bangunan atas (*superstructure*) dan bangunan bawah (*substructure*). Bangunan atas adalah konstruksi yang berhubungan langsung dengan beban-beban lalu lintas yang bekerja. Sedangkan bangunan bawah adalah konstruksi yang menerima beban-beban dari bangunan atas dan meneruskannya kelapisan pendukung (tanah keras) dibawahnya.

2.2.1 Bangunan Atas (*Superstructure*)

Bangunan atas terletak pada bagian atas konstruksi yang menopang beban-beban akibat lalu lintas kendaraan, orang, barang ataupun berat sendiri dari konstruksi.

Bagian-bagian yang termasuk bangunan atas jembatan beton bertulang adalah:

a. Tiang Sandaran

Fungsi dari tiang sandaran adalah sebagai perletakan dari pipa sandaran. Biasanya tingginya 125-145 cm dengan lebar 16 cm dan tebal 10 cm.

b. Trotoar

Merupakan tempat pejalan kaki yang terbuat dari beton, bentuknya lebih tinggi dari lantai jalan atau permukaan aspal. Lebar trotoar minimal cukup untuk dua orang berpapasan dan biasanya berkisar antara 1,0 – 1,5 meter

dan dipasang pada bagian kanan serta kiri jembatan. Pada ujung tepi trotoar (kreb) dipasang lis dari baja siku untuk penguat trotoar dari pengaruh gesekan dengan roda kendaraan.

c. Lantai Kendaraan

Berfungsi untuk memikul beban lalu lintas yang melewati jembatan serta melimpahkan beban dan gaya-gaya tersebut ke gelagar memanjang melalui gelagar-gelagar melintang. Pelat lantai dari beton ini mempunyai ketebalan total 20 cm.

d. Balok Diafragma

Balok Diafragma merupakan pengaku dari gelegar-gelegar memanjang dan tidak memikul beban plat lantai dan diperhitungkan seperti balok biasa.

e. Balok Gelagar (Girder)

Balok girder terdiri atas gelagar induk / memanjang dan gelagar melintang arah jembatan atau tegak lurus arah aliran sungai. Sedangkan, gelagar melintang merupakan komponen jembatan yang letaknya melintang arah jembatan.

2.2.2 Bangunan Bawah (*Substructure*)

Bangunan bawah pada umumnya terletak di bawah bangunan atas. Fungsinya menerima/memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkannya ke pondasi (Agus Iqbal Manu, 1995). Yang termasuk dalam bangunan bawah jembatan yaitu seperti :

a. Kepala Jembatan (*Abutment*)

Kepala Jembatan atau *abutment* adalah tempat perletakan bangunan bagian atas jembatan. *Abutment* disesuaikan dengan hasil penyelidikan tanah dan sedapat mungkin harus diletakan diatas tanah keras supaya dapat tercapai tegang tanah yang diizinkan. Dengan memperhitungkan resiko terjadinya erosi maka paling tidak dasar *abutment* harus berada 2 m dibawah muka tanah asli, terutama untuk *abutment* dengan pondasi langsung.

b. Pelat Injak

Pelat injak adalah bagian dari bangunan bawah suatu jembatan yang berfungsi untuk menyalurkan beban yang diterima di atasnya secara merata menuju tanah dibawahnya dan juga untuk mencegah terjadinya defleksi yang terjadi pada permukaan jalan.

c. Pondasi

Pondasi adalah bagian dari jembatan yang tertanam didalam tanah. Fungsi dari pondasi adalah untuk menahan beban-beban bangunan yang berada di atasnya dan meneruskannya ke tanah dasar, baik ke arah vertikal maupun ke arah horizontal.

Pondasi terbagi menjadi 2 bagian yaitu :

1) Pondasi Dangkal (Pondasi Langsung)

Pondasi dangkal adalah pondasi yang mendukung bagian bawah secara langsung pada tanah. Pondasi ini dapat dibagi menjadi :

- Pondasi Menerus (*Continous Footing*)
- Pondasi Telapak (*Footing*)
- Pondasi Setempat (*Individual Footing*)

2) Pondasi Dalam (Pondasi Tak Langsung)

Pondasi dalam adalah beban pondasi yang dipikul akan diteruskan kelapisan tanah yang mampu memikulnya. Untuk menyalurkan beban bangunan tersebut kelapisan tanah keras maka dibuat suatu konstruksi penerus yang disebut pondasi tiang atau pondasi sumuran.

Pondasi dalam terdiri dari :

- Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang digunakan bila tanah pendukung berada pada kedalaman >8 meter, berdasarkan tes penyelidikan dilapangan.

- Pondasi Sumuran

Pondasi sumuran digunakan bila tanah pendukung berada pada kedalaman 2-8 meter. Bentuk penampang pondasi ini adalah bundar, segi empat dan oval.

d. Dinding Sayap (*Wing Wall*)

Dinding sayap adalah bagian dari bangunan bawah jembatan yang berfungsi untuk menahan tegangan tanah dan memberikan kestabilan pada posisi tanah terhadap jembatan.

e. Landasan/Perletakan

Menurut (Agus Iqbal Manu) landasan jembatan adalah bagian ujung bawah dan suatu bangunan atas yang berfungsi menyalurkan gaya-gaya reaksi dari bangunan atas kepada bangunan bawah. Menurut fungsinya dibedakan landasan sendi (*fixed bearing*) landasan gerak (*moveble bearing*).

2.3 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. RSNI T – 02 – 2005 tentang Standar Pembebanan Untuk Jembatan.
2. RSNI T – 12 – 2004 tentang Standar Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.

2.4 Peraturan Beton Jembatan

2.4.1 Syarat Umum Perencanaan Struktur Beton

Menurut SNI T – 12 – 2004 umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun. Namun untuk jembatan penting dan/atau berbentuk panjang, atau yang bersifat khusus, disyaratkan umur rencana 100 tahun.

A. Beton

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

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

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

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

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

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

Tegangan tekanan dalam penampang beton, akibat semua kombinasi beban tetap pada kondisi batas layan lentur dan/ atau aksial tekanan, tidak boleh melampaui nilai $0,46 \sqrt{f_c}$ ', dimana f_c 'adalah kuat tekan beton yang direncanakan pada umur 28 hari, dinyatakan dalam satuan MPa.

Modulus elastisitas beton, E_c nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan 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.

B. Tulangan Baja Non-Prategang

Kuat tarik leleh f_y ditentukan dari hasil pengujian, tetapi perencanaan tulangan tidak boleh didasarkan pada kuat leleh f_y yang melebihi 550 MPa, kecuali untuk tendon prategang.

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

- Tulangan dengan $f_y = 300$ MPa, tidak boleh 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.

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 200.000 MPa.

C. Tulangan Baja Prategang

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

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

- Untuk kawat baja prategang, sebesar $0,75 f_{pu}$
- Untuk semua kelas *strand* dan tendon baja bulat, sebesar $0,85 f_{py}$

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

Modulus elastisitas baja prategang, E_p , biasa diambil sebesar :

- Untuk kawat tegang-lepas : 200×10^3 MPa
- Untuk *strand* tegang-lepas : 195×10^3 MPa
- Untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi : 170×10^3 MPa

2.4.2 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 :

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' \leq 30 \text{ MPa}$$

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

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 :

$$A_S = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.1)$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari :

$$A_S = \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d \dots\dots\dots (2.2)$$

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.

2.5 Pembebanan Jembatan

2.5.1 Aksi dan Beban Tetap

A. Berat Sendiri

Beban mati jembatan terdiri dari berat masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen non-struktural. Masing-masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang terintegritas pada waktu menerapkan faktor beban biasa dan yang terkurangi. Faktor beban untuk berat sendiri dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Jangka Waktu	Faktor Beban			
	K	K		
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja Alumunium	1,0	1,1	0,9
	Beton Pracetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

(Sumber: RSNi-T-02-2005 Pembebanan untuk Jembatan)

Berat sendiri bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat

bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap. Berat isi untuk beban mati dapat dilihat pada tabel 2.2

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

No	Bahan	Berat/Satuan Isi (Kn/m ³)	Kerapatan Masa (Kg/m ³)
1	Campuran alumunium	26,7	2720
2	Lapisan permukaan beraspal	22,0	2240
3	Besi tuang	71,0	7200
4	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1760
5	Kerikil dipadatkan	18,8-22,7	1920-2320
6	Aspal beton	22,0	2240
7	Beton ringan	12,25-19,6	1250-2000
8	Beton	22,0-25,0	2240-2560
9	Beton prategang	25,0-26,0	2560-2640
10	Beton bertulang	23,5-25,5	2400-2600
11	Timbal	111	1140
12	Lempung lepas	12,5	1280
13	Batu pasangan	23,5	2400
14	Neoprin	11,3	1150
15	Pasir kering	15,7-17,2	1600-1760
16	Pasir basah	18,0-18,8	1840-1920
17	Lumpur lunak	17,2	1760
18	Baja	77,0	7850
19	Kayu (ringan)	7,8	800
20	Kayu (keras)	11,0	1120
21	Air murni	9,8	1000
22	Air garam	10,0	1025
23	Besi teMPa	75,5	7680

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

B. Beban Mati Tambahan/ Utilitas

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Faktor beban untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Jangka Waktu	Faktor Beban			
	K		K	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Keadaan Umum	1,0	2,0	0,7
	Keadaan Khusus	1,0	1,4	0,8
CATATAN (1) Faktor beban layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

(Sumber: RSNi-T-02-2005 Pembebanan untuk Jembatan)

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

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

Pelapisan kembali yang diijinkan adalah merupakan beban nominal yang berkaitan dengan faktor beban untuk mendapatkan beban rencana. Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditepatkan pada jembatan harus dihitung setepat mungkin. Berat dari pipa untuk saluran air bersih, saluran air kotor dan lain-lainnya harus ditinjau pada keadaan kosong sehingga kondisi yang membahasakan dapat diperhitungkan.

2.5.2 Beban Lalu Lintas

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

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

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

Lajur lalu lintas rencana harus mempunyai lebar 2,75 m. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam tabel 2.4.

Tabel 2.4 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaraan (m) (2)	Jumlah Lajur Lalulintas Rencana (n_1)
Satu lajur	4,0 – 5,0	1
Dua arah, tanpa median	5,5 – 8,25	2 (3)
	11,3 – 15,0	4
Banyak arah	8,25 – 11,25	3
	11,3 – 15,0	4
	15,1 – 18,75	5
	18,8 – 22,5	6

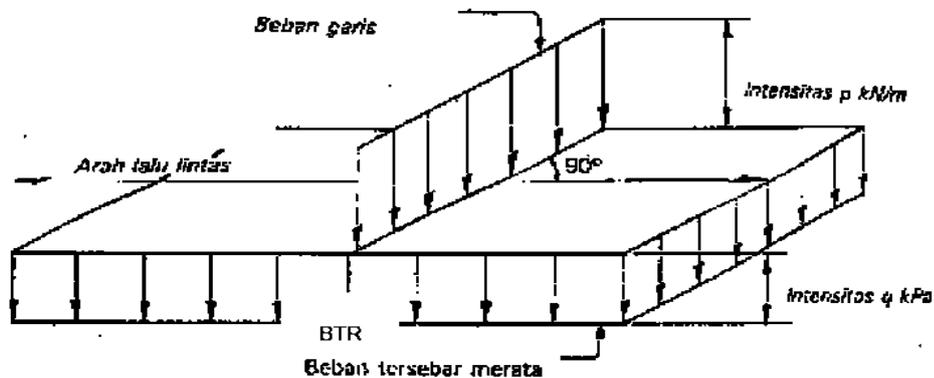
CATATAN (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.

CATATAN (2) Lebar lajur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median dengan median untuk banyak arah.

CATATAN (3) Lebar minimum yang aman untuk dua-lajur kendaraan adalah 6,0 m. Lebar antara 5,0 m sampai 6,0 m harus dihindari oleh karena hal ini akan memberikan kesan kepada pengemudi seolah-olah memungkinkan untuk menyiap.

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

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabungkan dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Beban Lajur “D”

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

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

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 [0,5 + 15/L] \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.4)$$

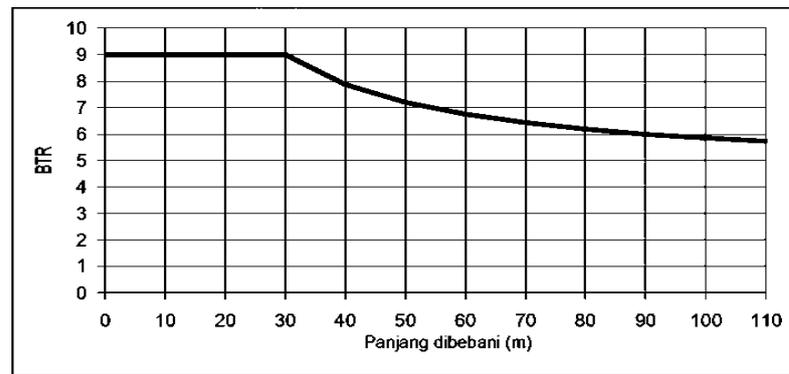
Dengan pengertian :

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

L adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Panjang yang dibebani terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan. BTR mungkin harus dipecah menjadi panjang-panjang tertentu untuk mendapatkan pengaruh maksimum pada jembatan menerus atau bangunan khusus. Dalam hal ini L adalah jumlah dari masing-masing panjang beban-beban yang dipecah.

Beban garis (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 Kn/m. Beban “D” dapat dilihat pada gambar 2.6.



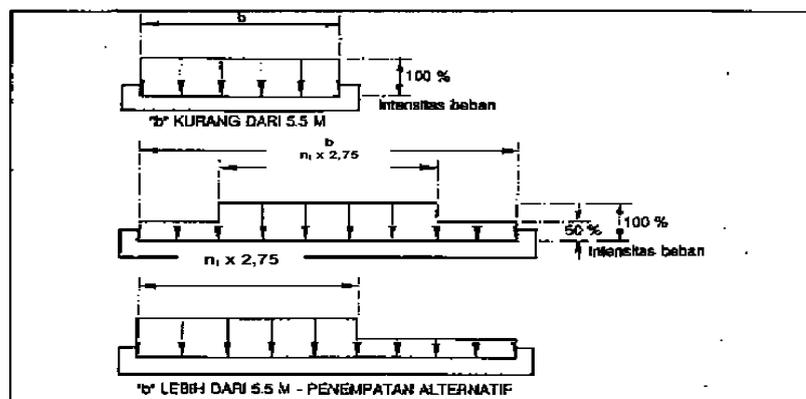
Gambar 2.6 Grafik Beban “D” : BTR vs Panjang dibebani

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

Beban “D” harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Bila lebar jalur kendaraan jembatan kurang atau sama dengan 5,5 m, maka beban “D” harus ditempatkan pada seluruh jalur dengan intensitas 100%.
2. Apabila lebar jalur lebih besar 5,5 m, beban “D” harus ditempatkan pada jumlah lajur lalu lintas rencana (n_1) yang berdekatan (Tabel 2.4), dengan intensitas 100%. Hasilnya adalah beban garis ekuivalen sebesar $n_1 \times 2,75$ kN, kedua-duanya bekerja berupa *strip* pada jalur sebesar $n_1 \times 2,75$ m.
3. Lajur lalu lintas rencana yang membentuk *strip* ini bisa ditempatkan dimana saja pada jalur jembatan. beban “D” tambahan harus ditempatkan pada seluruh lebar sisa dari jalur dengan intensitas 50%.

Susunan pembebanan ini bisa dilihat dalam Gambar 2.7



Gambar 2.7 Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang

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

4. Luas jalur yang ditempati median yang dimaksud harus dianggap bagian jalur dan dibebani dengan beban yang sesuai, kecuali apabila median tersebut terbuat dari penghalang lalu lintas yang tetap.

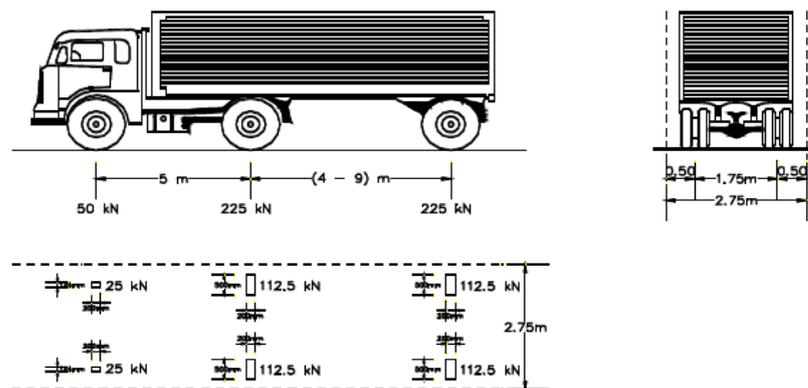
A. Pembebanan Truk

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat Gambar 2.8. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontrak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara as tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh tersebut pada arah memanjang jembatan. faktor beban akibat pembebanan truk “T” dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Faktor Beban Akibat Pembebanan Truk “T”

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	$K_{s;TT}$	$K_{u;TT}$
Trasien	1,0	1,8

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



Gambar 2.8 Pembebanan Truk “T” (500 kN)

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

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

permanen. Faktor sebesar 70% ini diterapkan 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 pembesaran di atas 100% tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk “T” atau gaya rem pada arah memanjang jembatan.

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

Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari pembebanan truk “T” harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dan beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya lahan dan batas ultimit.

Untuk pembebanan “D”, FBD merupakan fungsi dari panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam gambar 2.5. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus :

$$L_E = \sqrt{L_{av} \cdot L_{maks}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana,

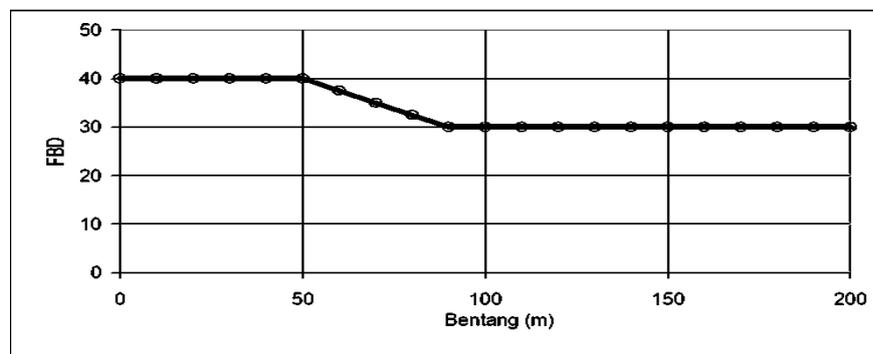
L_{av} adalah panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

L_{maks} adalah panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambung secara menerus

Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 30%. Harga FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan pondasi yang berada dibawah garis

permukaan, harga FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari harga pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m.

Untuk bangunan yang terkubur, seperti halnya gorong-gorong dan struktur baja-tanah, harga FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa diinterpolasi linier. Harga FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya. Faktor Beban Dinamis BGT untuk Pembebanan Lajur “D” dapat dilihat pada gambar 2.9.

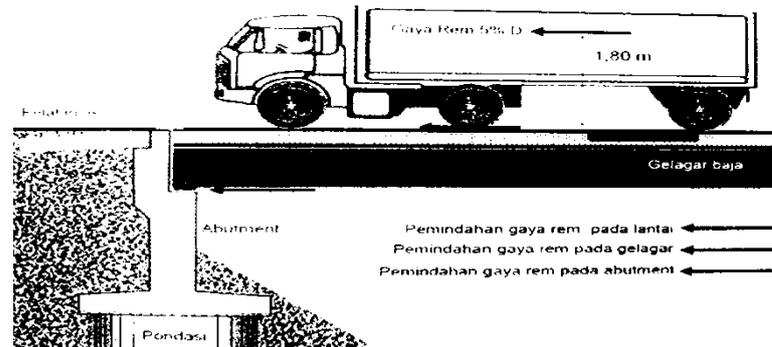


Gambar 2.9 Grafik Faktor Beban Dinamis BGT untuk Pembebanan Lajur “D”

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

B. Gaya Rem

Bekerjanya gaya-gaya di arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur D yang dianggap pada semua jalur lalu lintas, tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horizontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan. Beban lajur D disini jangan direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m, digunakan rumus 1: $q = 9$ Kpa. Gambar gaya rem dari beban lajur “D” dapat dilihat pada gambar 2.5, sedangkan faktor beban akibat gaya rem dapat dilihat pada tabel 2.6.



Gambar 2.10 Gaya Rem dari Beban Lajur “D”

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

Tabel 2.6 Faktor Beban Akibat Gaya Rem

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	$K_{s;TT}$	$K_{u;TT}$
Transien	1,0	1,8

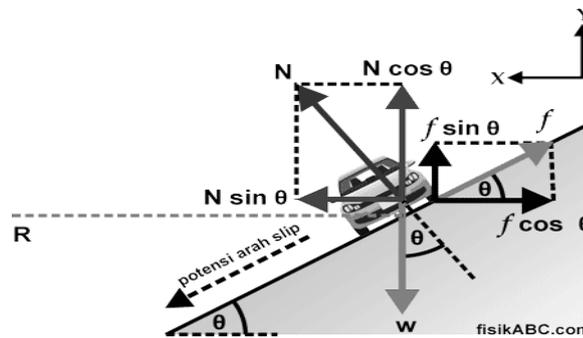
(Sumber: RSNI-T-02-2005 Pembebanan untuk Jembatan)

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

C. Gaya Sentrifugal

Jembatan yang berada pada tikungan harus memperhitungkan bekerjanya suatu gaya horizontal radial yang dianggap bekerja pada tinggi 1,8 m diatas lantai kendaraan. Gaya horizontal tersebut harus sebanding dengan beban lajur D yang dianggap ada pada semua jalur lalu lintas, tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis. Beban lajur D disini tidak boleh direduksi bila panjang bentang melebihi 30 m. Untuk kondisi ini rumus $q = 9$ Kpa berlaku.

Pembebanan lalu lintas 70% dan faktor pembesaran di atas 100% BGT dan BTR berlaku untuk gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal harus bekerja secara bersamaan dengan pembebanan “D” atau “T” dengan pola yang sama sepanjang jembatan. penggambaran gaya *sentrifugal* dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Gaya Sentrifugal

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

Gaya sentrifugal ditentukan dengan rumus berikut :

$$T_{TR} = 0,79 \times \frac{V^2}{r} \times T_T \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana,

T_{TR} = Gaya sentrifugal yang bekerja pada bagian jembatan

T_T = Pembebanan lalu lintas total (beban lajur D) yang bekerja pada bagian yang sama (T_{TR} dan T_T mempunyai satuan yang sama)

V = Kecepatan lalu lintas rencana (km/jam)

R = Jari – jari lengkung (m)

Faktor akibat gaya sentrifugal dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat Gaya Sentrifugal

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	$K_{s;TR}$	$K_{u;TR}$
Transien	1,0	1,8

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

2.5.3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab – penyebab alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisa statistik dan kejadian – kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat. Perencanaan mempunyai tanggung jawab

untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus memperhitungkannya dalam perencanaan.

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

Penurunan dapat diperkirakan dari pengujian yang dilakukan terhadap bahan pondasi yang digunakan. Apabila perencana memutuskan untuk tidak melakukan pengujian akan tetapi besarnya penurunan diambil pada suatu anggapan, maka nilai anggapan tersebut merupakan batas atas dasar penurunan yang bakal terjadi. Apabila nilai penurunan ini adalah besar, perencanaan bangunan bawah dan bangunan atas jembatan harus memuat ketentuan khusus untuk mengatasi penurunan tersebut. Faktor beban akibat pengaruh temperatur/suhu dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Faktor Beban Akibat Pengaruh Temperatur/Suhu

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	$K_{s;ET}$	$K_{u;ET}$ <i>Biasa Terkurangi</i>
Transien	1,0	1,2 0,8

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

Pasal ini tidak berlaku untuk jembatan yang besar atau penting, seperti yang ditentukan oleh instansi yang berwenang. Jembatan-jembatan yang demikian harus diselidiki secara khusus akibat pengaruh beban angin, termasuk respon dinamis jembatan.

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

$$T_{EW} = 0,0006 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \cdot [KN] \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan pengertian :

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

C_w adalah koefisien seret, lihat tabel 2.9

A_b adalah koefisien bagian samping jembatan (m²)

Kecepatan angin rencana harus diambil seperti yang diberikan dalam tabel 2.10

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

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

$$T_{EW} = 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \cdot A_b \cdot [\text{KN}] \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan pengertian :

$$C_w = 1,2$$

Koefisien seret C_w dapat dilihat pada tabel 2.9, kecepatan angin rencana V_w dapat dilihat pada tabel 2.10 dan faktor beban akibat pengaruh gempa dapat dilihat pada tabel 2.11.

Tabel 2.9 Koefisien Seret C_w

Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: 91), (1)	
$b/d = 1.0$	2.1 (3)
$b/d = 2.0$	1.5 (3)
$b/d^3 = 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
CATATAN (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, tinggi bagian sandaran yang masif	
CATATAN (2) Untuk harga antara 5 / 8 bisa di interpolasi linier	
CATATAN (3) Apabila bangunan atas mempunyai superelevasi, C_w harus dinaikkan sebesar 3% untuk setiap derajat superelevasi dengan kenaikan maksimum 2.5%	

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

Tabel 2.10 Kecepatan Angin Rencana V_w

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

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

Tabel 2.11 Faktor Beban Akibat Pengaruh Gempa

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	$K_{S;EQ}$	$K_{U;EQ}$
Transien	Tak dapat digunakan	1.0

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

Pengaruh gempa rencana hanya ditinjau pada keadaan batas ultimit. Pasal ini menetapkan metoda untuk menghitung beban statis ekuivalen untuk jembatan-jembatan dimana analisa statis ekuivalen adalah sesuai. Untuk jembatan besar, rumit dan penting mungkin diperlukan analisa dinamis. Lihat standar beban gempa untuk jembatan (Pd. T.04.2004.B) beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut :

$$T *_{EQ} = K_h \cdot I \cdot W_T \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

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

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

K_h adalah koefisien beban gempa horizontal

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

I adalah faktor kepentingan

S adalah faktor tipe bangunan

W_T adalah berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan.

Waktu getar struktur dihitung dengan rumus :

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{W_{TP} / (g \cdot k \cdot Kp)} \dots\dots\dots (2.11)$$

T = waktu getar dalam detik untuk *free body* pilar dengan derajat kebebasan tunggal pada jembatan bentang sederhana

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

W_{TP} = berat nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat dari pilar (bila perlu dipertimbangkan) (kN).

Kp = kekakuan gabungan sebagai gaya horizontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)

Kondisi tanah untuk koefisien geser dapat dilihat pada tabel 2.12, Faktor kepentingan dapat dilihat pada tabel 2.13, Faktor tipe bangunan dapat dilihat pada tabel 2.14, Koefisien geser dasar untuk tekanan tanah lateral dapat dilihat pada tabel 2.15 dan Gaya air lateral akibat gempa dapat dilihat pada tabel 2.16.

Tabel 2.12 Kondisi Tanah untuk Koefisien Geser Dasar

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

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

Tabel 2.13 Faktor Kepentingan

1. Jembatan memuat lebih dari 2000 kendaraan/hari, jembatan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternatif.	1,2
2. Seluruh jembatan permanen lainnya dimana rute alternatif tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi.	1,0
3. Jembatan sementara (misal : <i>Bailley</i>) dan jembatan yang direncanakan untuk pembebanan lalu lintas yang dikurangi sesuai dengan pasal 6.5.	0,8

(Sumber: RSNi-T-02-2005 Pembebanan untuk Jembatan)

Tabel 2.14 Faktor Tipe Bangunan

Tipe Jembatan (1)	Jembatan dengan Daerah Sendi Beton Bertulang atau Baja	Jembatan dengan Daerah Sendi Beton Prategang	
		Prategang Parsial (2)	Prategang Penuh (3)
Tipe A (3)	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe B (3)	1,0 F	1,15 F	1,3 F
Tipe C	3,0	3,0	3,0
<p>CATATAN (1) Jembatan mungkin mempunyai tipe bangunan yang berbeda pada arah melintang dan memanjang dan tipe bangunan yang sesuai harus digunakan untuk masing-masing arah.</p> <p>CATATAN (2) Yang dimaksud dalam tabel ini, beton prategang parsial mempunyai prapenegangan yang cukup untuk kira-kira mengimbangi pengaruh dari beban tetap rencana dan selebihnya diimbangi oleh tulangan bebas. Beton prategang penuh mempunyai prapenegangan yang cukup untuk mengimbangi pengaruh beban total rencana.</p> <p>CATATAN (3) $F = \text{Faktor Perangkaan}$ $= 1.25 - 0.025 n : F' 1.00$ $n = \text{Jumlah sendi plastis yang menahan defomasi arah lateral pada masing-masing bagian monolit dari jembatan yang berdiri sendiri-sendiri (misalnya : bagian-bagian yang dipisahkan oleh sambungan siar mulai yang memberikan keleluasaan untuk bergerak dalam arah lateral secara sendiri-sendiri).}$</p> <p>CATATAN (4) Tipe A : Jembatan daktail (bangunan atas bersatu dengan bangunan bawah). Tipe B : Jembatan daktail (bangunan atas terpisah dengan bangunan bawah). Tipe C : Jembatan tidak daktail (tanpa sendi plastis)</p>			

(Sumber: RSNi-T-02-2005 Pembebanan untuk Jembatan)

Tabel 2.15 Koefisien Geser Dasar untuk Tekanan Tanah Lateral

Daerah Gempa (1)	Koefisien Geser Dasar C		
	Tanah Teguh (2)	Tanah Sedang (2)	Tanah Lunak (2)
1	0,20	0,23	0,23
2	0,17	0,21	0,21
3	0,14	0,16	0,18
4	0,10	0,15	0,15
5	0,07	0,12	0,12
6	0,06	0,06	0,07

CATATAN (1) Daerah gempa bisadilihat dalam Gambar 14
 CATATAN (2) Definisi dari teguh, sedang dan lunak dari tanah di bawah permukaan diberikan dalam Tabel 30.

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

Tabel 2.16 Gaya Air Lateral Akibat Gempa

Tipe Bangunan		Gaya Air Horizontal
Bangunan tipe dinding yg menahan air pd satu sisi		$0,58 K_h \cdot I \cdot W_o \cdot b \cdot h^2$
	$blh \leq 2$	$0,75 K_h \cdot I \cdot W_o \cdot b^2 \cdot h [1 - b / (4h)]$
Kolom, dimana :	$2 < blh \leq 3,1$	$1,17 K_h \cdot I \cdot W_o \cdot b \cdot h^2$
	$3,1 < blh$	$0,38 K_h \cdot I \cdot W_o \cdot b^2 \cdot h$

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

2.5.4 Aksi – Aksi Lainnya

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan hanya beban tetap, dan harga rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer). Faktor beban akibat gesekan pada perletakan dapat dilihat pada tabel 2.17.

Tabel 2.17 Faktor Beban Akibat Gesekan pada Perletakan

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	$K_{s};;FB$	$K_{u};;FB$ Biasa Terkurangi
Transien	1,0	1,3 0,8
CATATAN (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan. Pada bangunan atas tetapi gaya sisa mungkin terjadinya setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar		

(Sumber: RSNi-T-02-2005 Pembebanan untuk Jembatan)

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

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

2.5.5 Kombinasi Pembebanan

Beberapa kombinasi beban mempunyai probabilitas kejadian yang rendah dan jangka waktu yang pendek. Untuk kombinasi yang demikian maka tengganan yang berlebihan diperbolehkan berdasarkan prinsip tegangan kerja. Tegangan berlebihan yang diberikan dalam tabel dibawah adalah sebagai prosentase dari tegangan kerja yang diizinkan. Kombinasi pembebanan dapat dilihat pada tabel 2.18.

Tabel 2.18 Kombinasi Pembebanan

Aksi	Kombinasi No						
	1	2	3	4	5	6	7
Aksi Tetap	X	X	X	X	X	X	X
Beban lalu lintas	X	X	X	X	-	-	X
Pengaruh temperature	-	X	-	X	-	-	-
Arus /hanyutan/hidro/daya apung	X	X	X	X	X	-	-
Beban angin	-	-	X	X	-	-	-
Pengaruh gempa	-	-	-	-	X	-	-
Beban tumbukan	-	-	-	-	-	-	X
Beban pelaksanaan	-	-	-	-	-	X	-
Tegangan berlebihan yang diperoleh r_{os}	nil	25 %	25 %	40 %	50 %	30 %	50 %

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

2.6 Lantai Kendaraan

1) Tebal Pelat Lantai

$$T_s \geq 200 \text{ mm} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$T_s \geq (100+40.1) \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan :

T_s = Tebal pelat lantai

l = Panjang antar gelagar melintang

2) Pembebanan

a. Beban mati terdiri atas berat aspal, berat pelat lantai dan berat air hujan.

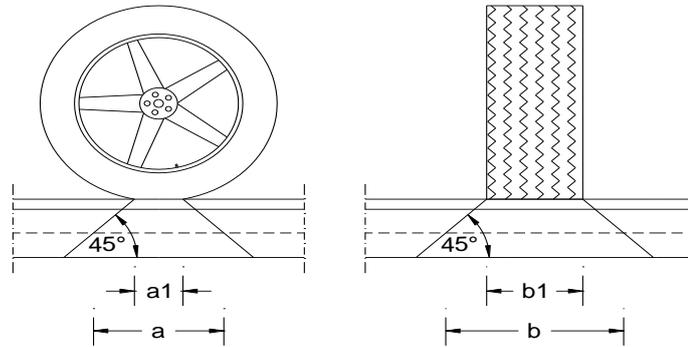
Dari pembebanan tersebut akan diperoleh q_{Dult} pelat lantai kendaraan dianggap pelat satu arah.

b. Berat dari kendaraan bergerak (muatan T) beban truck.

$$T_u \geq 1,8 \times 1,3 T \dots\dots\dots (2.14)$$

Jadi pembebanan truk,

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



Gambar 2.12 Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

c. Penulangan, berdasarkan RSNI T-12-2004

$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} b d \dots\dots\dots (2.15)$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,0}{f_y} b d \dots\dots\dots (2.16)$$

2.7 Balok Diafragma

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

2.8 Balok Beton Prategang

2.8.1 Beton Prategang

Beton prategang bukan merupakan konsep baru, pada tahun 1972, pada saat P. H Jacson, seseorang insinyur dari California, mendapatkan paten untuk sistem struktural 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.

Beton prategang adalah material yang sangat digunakan dalam konstruksi. Beton prategang pada dasarnya adalah beton dimana tegangan-teganagan internal dengan besar serta distribusi yang sesuai diberikan sedemikian rupa sehingga tegangan yang diberikan oleh beban-beban luar dilawan sampai suatu titik yang diinginkan. Prategang meliputi tambahan gaya tekan pada struktur untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan gaya tarik internal dalam hal ini retak pada beton dapat dihilangkan. Pada beton bertulang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangan. Gaya tekan disebabkan oleh reaksi baja tulangan yang ditarik, mengakibatkan berkurangnya retak, elemen beton prategang akan lebih kokoh dari elemen beton biasa.

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

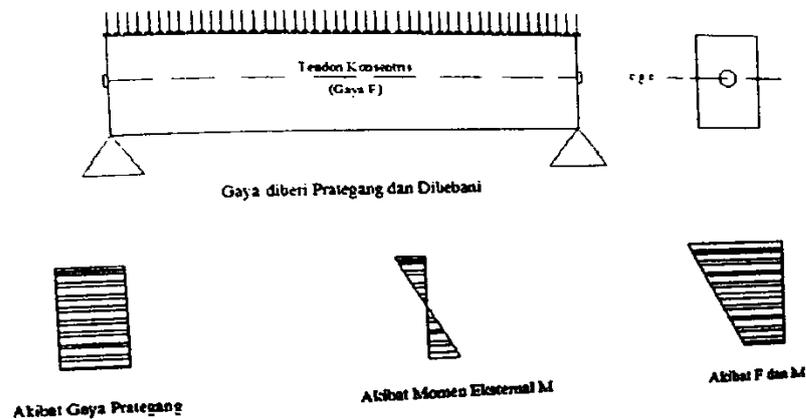
2.8.2 Konsep Dasar Beton Prategang

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dari beton prategang. Adapun konsep beton prategang yang diterangkan T. Y Lin dan Burns dalam bukunya "*Desain Struktur Beton Prategang*" sebagai berikut :

Konsep pertama, sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis. Ini merupakan sebuah pemikiran Eugne Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton yang getas menjadi bahan yang elastis yang memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu atau (pra-tekan) pada bahan tersebut. beton yang tidak mampu menahan tarik dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah lahir kriteria "tidak ada tekanan tarik" pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan menjadi retak dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan berubah menjadi bahan yang elastis.

Atas pandangan ini, beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua 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. Se jauh 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 paling sederhana, ambilah balok persegi yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon melalui sumbu yang titik berat dan dibebani gaya eksternal. Gaya tarik prategang F pada tendon menghasilkan gaya tekan F yang sama pada beton yang juga bekerja pada titik berat tendon. Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang konsentris dapat dilihat pada gambar 2.13.

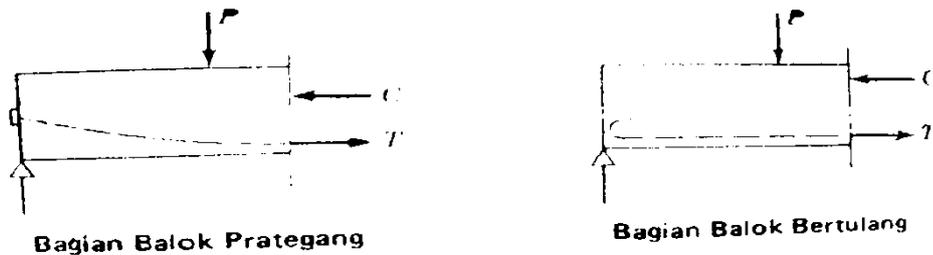


Gambar 2.13 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

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

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 tarik dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal. Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan cara menarik sebelum kekuatannya

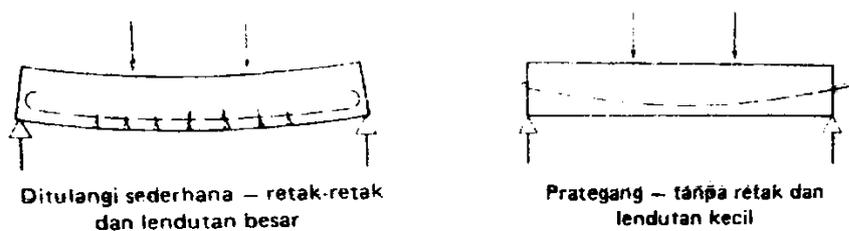
dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton biasa, beton disekitarnya akan mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Momen Penahan Internal pada Balok Beton Prategang dan Beton Bertulang dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Momen Penahan Internal pada Balok Prategang dan Beton Bertulang

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

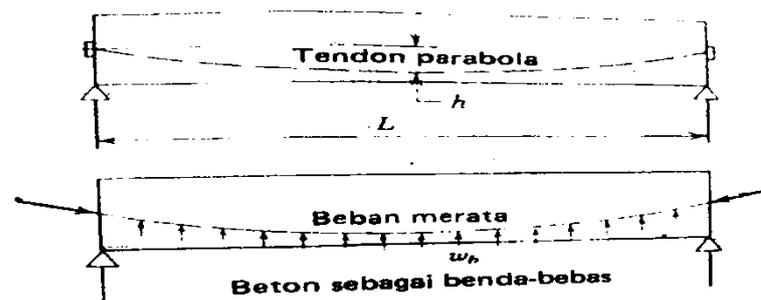
Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan jalan menariknya sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika baja mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik sebelumnya (pratarik) terhadap beton. Dengan menarik dan menjangkarkan baja ketendon, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan tarik pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja hanya ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi

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

Konsep ketiga, sistem prategang untuk mencapai kesetimbangan beban. Konsep ini 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 yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik di dalam desain maupun analisis dari struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang. Balok Prategang dengan Tendon Parabola dapat dilihat pada gambar 2.16.



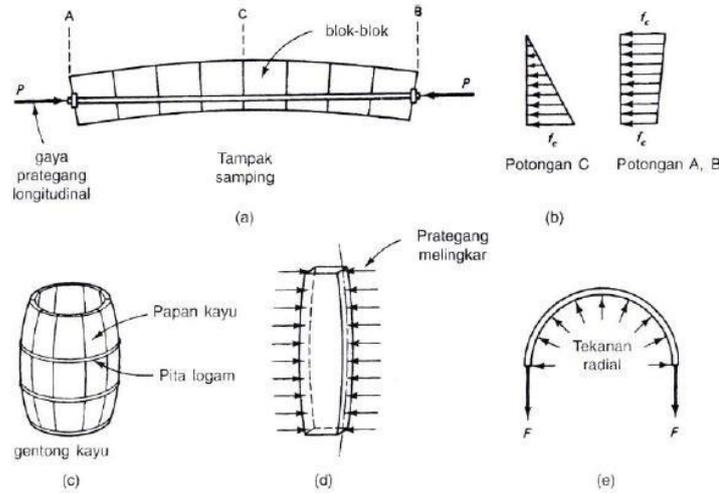
Gambar 2.16 Balok Beton dengan Tendon Parabola

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

Prinsip Dasar Beton Prategang

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan, tetapi lemah dalam kondisi tarik : kuat tariknya bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya. Karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya kosentris atau eksentris diberikan dalam arah longitudinal elemen struktural. Gaya ini mencegah berkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan daerah kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, gesek dan torsional penampang tersebut. penampang dapat berperilaku

secara elastic dan hampir semua kapasitas beton dalam memikul tekan secara efektif dimanfaatkan diseluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja distruktur tersebut, gambarnya dapat dilihat pada gambar 2.17



Gambar 2.17 Prinsip – prinsip pada prategang Linier dan Melingkar. (a) Pemberian prategang linier pada sederetan blok untuk membentuk balok. (b) Tegangan tekan di penampang tengah bentang C dan penampang A atau B. (c) Pemberian prategang melingkar pada gentong kayu dengan pemberian tarik pada pita logam. (d) prategang melingkar pada satu papan kayu. (e) gaya tarik F pada setengah pita logam akibat tekanan internal, yang harus di imbangi oleh prategang melingkar.

(Sumber: *Beton prategang jilid I, Edward G. Nawy*)

Gambar 2.17 mengilustrasikan dengan cara mendasar, aksi pemberian prategang pada kedua jenis sistem struktural dan respons tegangan yang dihasilkan. Pada bagian (a), blok-blok beton bekerja bersama sebagai sebuah balok akibat pemberian gaya prategang tekan P yang besar. Meskipun mungkin blok-blok tersebut tergelincir dan dalam arah vertikal mensimulasikan kegagalan gelincir geser, pada kenyataannya tidak demikian karena adanya gaya longitudinal P. Dengan cara sama, papan-papan kayu di dalam bagian (c) kelihatannya dapat terpisah satu sama lain sebagai akibat dari adanya prategang tekanan radial internal yang bekerja padanya.

Akan tetapi, sekali lagi, karena adanya prategang tekan yang diberikan oleh pita logam sebagai bentuk dari pemberian prategang melingkar, papan – papan tersebut tetap menyatu.

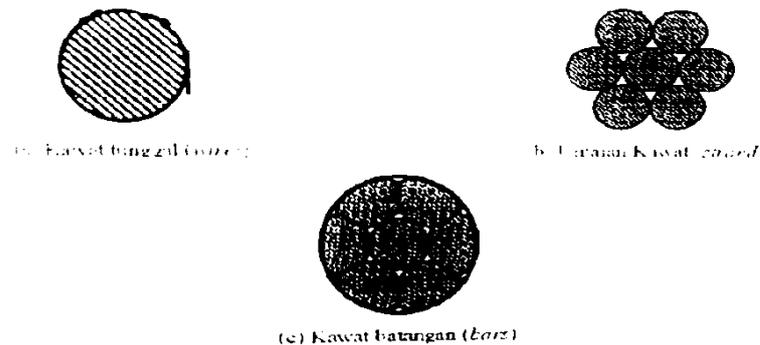
2.8.3 Baja Prategang

Karena tingginya kehilangan rangkai dan susut pada beton, maka prategang efektif dapat dicapai dengan menggunakan baja dengan mutu yang sangat tinggi hingga 270.000 psi atau lebih (1862 Mpa atau lebih tinggi lagi). Baja bermutu tinggi seperti itu dapat mengimbangi kehilangan beton sekitarnya dan mempunyai taraf tegangan sisa yang dapat menahan gaya prategang yang dibutuhkan. Besarnya kehilangan prategang normal dapat diperkirakan di dalam selang 35.000 sampai 60.000 psi (241 sampai 431 Mpa). Karena itu, prategang awal harus lebih tinggi, sekitar 180.000 sampai 220.000 psi (1241 sampai 1571 Mpa) dari besarnya kehilangan prategangan yang disebutkan diatas, dapat disimpulkan bahwa baja normal dengan kuat leleh $f_y = 60.000$ psi (414 Mpa) hanya akan mempunyai sedikit tegangan prategang sesudah semua kehilangan prategang terjadi yang memperjelas kebutuhan penggunaan baja mutu tinggi untuk komponen struktur beton pratengan.

Bila tendon yang dipakai untuk beton prategangan dalam prakteknya ada tiga macam, yaitu :

- 1) Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan menggunakan sistem pra-tarik (*pre-tension*).
- 2) Kawat untaian (*strand*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pasca tarik (*post-tension*).
- 3) Kawat batangan (*bar*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pra-tarik (*pre-tension*).

Jenis – jenis baja yang dipakai untuk beton prategang dapat dilihat pada gambar 2.18.



Gambar 2.18 Jenis-jenis Baja yang dipakai untuk Beton Prategang

(Sumber: Beton prategang jilid I, Edward G. Nawy)

2.8.4 Sistem Prategang dan Pengangkeran

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

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

- 1) Pembangkit gaya tekan antara elemen struktural dan tumpuan-tumpuannya dengan pemakaian dongkrak (*flat jack*).
- 2) Pengembangan tekanan keliling (*hoop compression*) dalam struktur berbentuk silinder dengan menggulung kawat secara melingkar.
- 3) Pemakaian baja yang ditarik secara longitudinal yang ditanam dalam beton atau ditempatkan dalam selongsong.
- 4) Pemakaian prinsip distorsi suatu struktur statis tak tentu baik dengan perpindahan maupun dengan rotasi satu bagian relatif terhadap bagian lainnya.
- 5) Pemakaian pemotong baja struktural yang dilendutkan dan ditanam dalam beton sampai beton tersebut mengeras.

- 6) Pengembangan tarikan terbatas pada baja dan tekanan pada beton dengan memakai semen yang mengembang.

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

Pengangkeran ada 2 macam yaitu, angker mati dan angker hidup. Angker mati adalah angker yang tidak bisa dilakukan lagi penarikan setelah pengangkeran tendon dilakukan. Angker mati sering digunakan dalam prategang dengan sistem pratarik. Sedangkan angker hidup dapat dilakukan penarikan kembali jika hal itu diperlukan. Pengangkeran ini sering dijumpai dalam prategang dengan sistem pascatarik. Jenis pengangkeran dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Jenis Pengangkeran

(Sumber: Beton pratekan, N Karishna Raju)

- a) Sistem Pratarik (*Pre Tensioning*)

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

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

Adapun tahap pengerjaan beton *pre-tension* adalah sebagai berikut kabel tendon dipersiapkan terlebih dahulu pada sebuah angkur yang mati (*fix anchorage*) dan sebuah angkur yang hidup (*live anchorage*). Kemudian *live anchorage* ditarik dengan dongkrak (*jack*) sehingga kabel tendon bertambah panjang. *Jack* dilengkapi dengan manometer untuk mengetahui besarnya gaya yang ditimbulkan oleh *jack*. Setelah mencapai gaya yang diinginkan beton dicor. Setelah beton mencapai umur yang cukup, kabel perlahan-lahan dilepaskan dan kedua angkur dipotong. Kabel tendon akan berusaha kembali ke bentuknya semula setelah pertambahan panjang yang diakibatkan oleh penarikan pada awal pelaksanaan. Hal inilah yang menyebabkan adanya gaya tekan internal pada beton. Oleh karena sistem pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan tendon sekelilingnya. Hal itu penting bahwa setiap tendon harus melekat sepanjang seluruh badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dan alas pra penarikan dan gaya pra tegang ditansfer ke beton.

b) Sistem Pascatarik (*Post Tensioning*)

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

Adapun metode dalam pelaksanaan pengerjaan beton pascatarik (*post – tensioning*) adalah sebagai berikut :

Selongsong kabel tendon dimasukkan dengan posisi yang benar pada cetakan beton beserta atau tanpa tendon dengan salah satu ujungnya diberi angkur hidup dan ujung lainnya angkur mati atau kedua ujungnya dipasang angkur hidup. Beton di cor dan dibiarkan mengeras hingga mencapai umur yang mencukupi.

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

c) Prategang Termal Listrik

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

d) Prategang Secara Kimia

Reaksi kimia dalam semen ekspansif dapat menegangkan baja yang ditanam yang kemudian menekan beton. Hal ini sering disebut dengan pengangan sendiri (*self – stressing*) atau disebut juga prategang kimiawi. Bila semen ini digunakan untuk membuat beton dengan baja yang tertanam, maka baja akan mengalami pertambahan panjang sejalan dengan pengembangan beton tersebut. Oleh karena pengembangan beton dikekang oleh kawat baja bermutu tinggi, maka timbul tegangan tekan pada beton dan kawat baja mengalami tegangan tarik. Karena pemuaian terjadi pada tiga arah, sehingga akan lebih sulit menggunakan sistem prategang secara kimia pada struktur-struktur yang di cor setempat seperti gedung. Akan tetapi, untuk pipa-pipa tekanan dan perkerasan jalan (*pavement*), dimana prategang sekurang-kurangnya pada dua arah. Sistem prategang kimiawi lebih ekonomis. Hal ini juga berlaku untuk pelat, dinding dan cangkang.

2.8.5 Analisis Prategang

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

Analisa tegangan-tegangan yang timbul pada suatu elemen struktur beton prategang didasarkan atas asumsi-asumsi berikut :

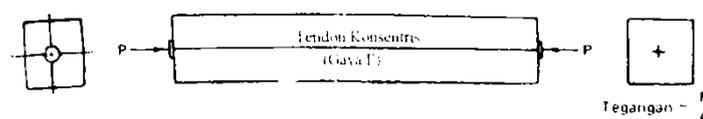
1. Beton prategang adalah suatu material yang elastis
2. Di dalam batas-batas tegangan kerja, baik beton maupun baja berperilaku elastis, tidak dapat menahan rangkai yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut pada pembebanan terus menerus.
3. Suatu potongan dasar sebelum melentur dianggap tetap datar meskipun sudah mengalami lenturan, yang menyatakan suatu distribusi regangan linier pada keseluruhan tinggi batang.

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

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

a) Tendon konsentris

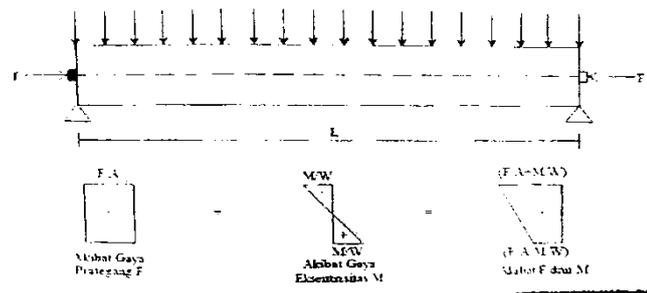
Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar 2.20 :



Gambar 2.20 Prategang Konsentris

(Sumber: *Beton prategang jilid I, Edward G. Nawy*)

Gambar diatas menunjukkan sebuah beton prategang tanpa eksentrisitas, tendon berada pada garis berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). prategang seragam pada beton = F/A yang berupa tekan pada seluruh tinggi balok. Pada umumnya beban-beban yang dipakai dan beban mati balok menimbulkan tegangan tarik terhadap bidang bagian bawah dan ini diimbangi oleh efektif dengan memakai tendon. Distribusi Tegangan Tendon Konsentris dapat dilihat pada gambar 2.21.

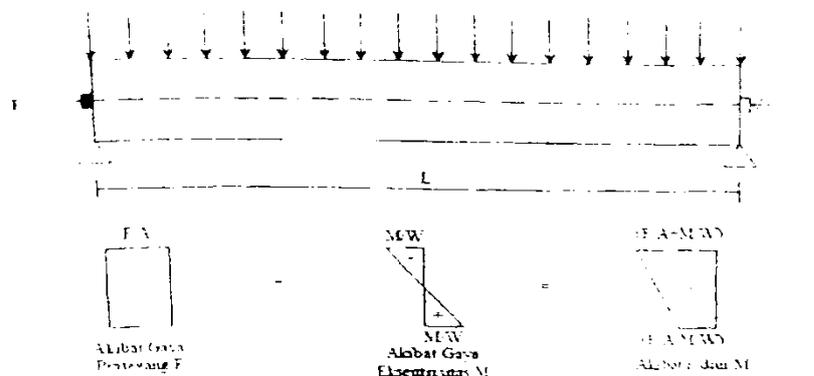


Gambar 2.21 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris

(Sumber: Beton pratekan, N Krishna Raju)

b) Tendon Eksentris

Sebuah balok yang mengalami suatu gaya prategang eksentris sebesar P yang ditempatkan dengan eksentrisitas e . Tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton. Eksentrisitas tendon akan menambahkan kemampuan untuk memikul beban eksternal. Distribusi Tegangan Konsentris dapat dilihat pada gambar 2.22.

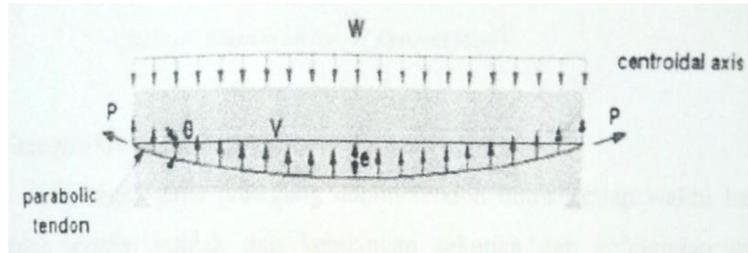


Gambar 2.22 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris

(Sumber: Beton pratekan, N Krishna Raju)

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

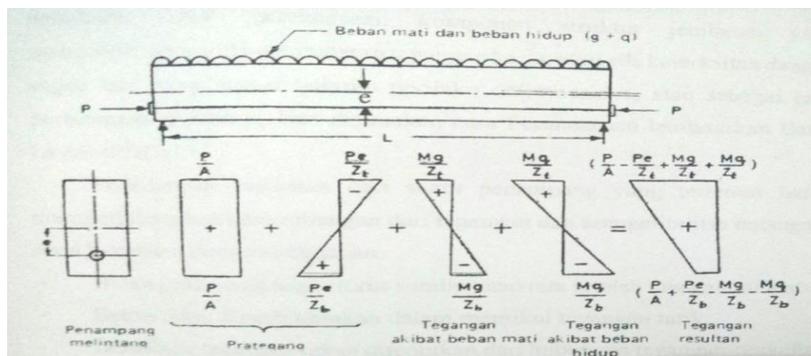
Prategangan juga menyebabkan perimbangan gaya-gaya dalam komponen beton prategang. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang *post-tension*. Gaya-gaya penyeimbang beban pada tendon parabola dilihat pada gambar 2.23.



Gambar 2.23 Gaya-gaya Penyeimbang Beban pada Tendon Parabola
(Sumber: Beton pratekan, N Krishna Raju)

c) Tegangan Resultan Pada Suatu Penampang

Balok beton yang diperlihatkan pada gambar di bawah ini memikul beton hidup dan mati yang terbagi rata dengan q dan g . Balok diprategangkan dengan suatu tendon lurus yang membawa suatu gaya prategang P dengan eksentrisitas e . Tegangan resultan pada suatu penampang beton diperoleh dengan superposisi pengaruh prategang dan tegangan-tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Jika Mq dan Mg merupakan momen akibat beban hidup dan beban mati pada penampang di tengah bentang. Distribusi tegangan balok prategang dengan tendon eksentris beban mati dan beban hidup dapat dilihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris Beban Mati dan Beban Hidup
(Sumber: Beton pratekan, N Krishna Raju)

2.8.6 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang dalam tendon untuk setiap waktu harus diambil sebagai jumlah dari kehilangan seketika dan kehilangan yang tergantung waktu, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Bila dianggap perlu, nilai perkiraan harus direvisi untuk kehilangan gaya prategang pada kondisi yang tidak biasa atau bila digunakan proses atau material baru. Kehilangan prategang dapat dinyatakan dalam bentuk kehilangan gaya atau kehilangan tegangan di dalam tendon.

2.8.7 Desain Penampang Beton Prategang Terhadap Lentur

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

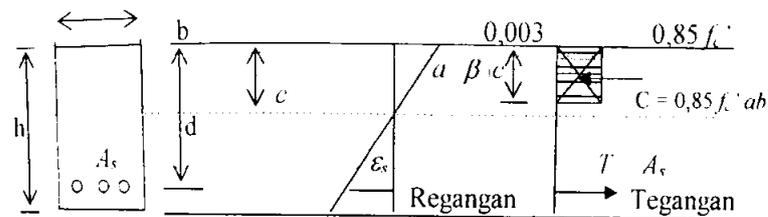
Perhitungan kekuatan dari suatu penampang yang terlentur harus memperhitungkan keseimbangan dari tegangan dan kompatibilitas regangan, serta konsisten dengan anggapan :

- Bidang rata yang tegak lurus sumbu tetap rata setelah mengalami lentur.
- Beton tidak diperhitungkan dalam memikul tegangan tarik.
- Distribusi tegangan tekan ditentukan dari hubungan tegangan-regangan beton.
- Regangan batas beton yang tertekan diambil sebesar 0,003.

Hubungan antara distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat berbentuk persegi, trapesium, parabola atau bentuk lainnya yang menghasilkan perkiraan kekuatan yang cukup baik terhadap hasil pengujian yang lebih menyeluruh. Walaupun demikian, hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang diasumsikan bahwa tegangan beton = $0,85 f_c'$ terdistribusi merata pada

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

Jarak c dari tepi dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus sumbu tersebut. regangan dan tegangan pada penampang beton bertulang dapat dilihat pada gambar 2.25.



Gambar 2.25 Regangan dan Tegangan pada Penampang Beton Bertulang

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

2.8.8 Modulus Penampang Minimum

Untuk mendesain dan memilih penampang, penentuan modulus penampang minimum yang dibutuhkan. S_b dan S^t harus dilakukan terlebih dahulu. Jika :

f_{ci} = tegangan tekan izin maksimum dibeton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan

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

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

$$= 0,25 \sqrt{f_c'} \text{ (nilai ini dapat diperbesar menjadi } 0,5 \sqrt{f_c'} \text{ ditumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana)}$$

f_c = tegangan tekan izin maksimum dibeton sesudah kehilangan ada taraf beban kerja

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

f_t = tegangan tarik izinmaksimum dibeton sesudah semua kehilangan pada taraf beban kerja

$$= 6 \sqrt{f_c'} \text{ (pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar } 12 \sqrt{f_c'} \text{ jika persyaratan defleksi jangka panjang dipenuhi)}$$

Maka tegangan surat ekstrim aktual dibeton 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

$$\text{Serat atas } f^t = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^t} \leq f_{ti} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{ec_b}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_b} \leq f_{ci} \dots\dots\dots (2.18)$$

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 efektif sesudah kehilangan

$$\text{Serat atas } f^t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^t} \leq f_t \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_b}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_b} \leq f_c \dots\dots\dots (2.20)$$

c) Tegangan akhir pada kondisi beban kerja

$$\text{Serat atas } f^t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S^t} \leq f_c \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_b}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S_b} \leq f_t \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

M_T = momen total

M_D = momen akibat beban sendiri

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

M_L = momen akibat beban hidup termasuk beban kejut dan gempa

P_i = prategang awal

P_e = prategang efektif sesudah kehilangan t menunjukkan serat atas dan b menunjukkan serat bawah

e = eksentrisitas

C_t & C_b = jarak dari pusat berat penampang (garis cg_c) ke serat atas dan serat bawah

r^2 = kuadrat dan jari-jari garis

S_t & S_b = modulus penampang atas modulus penampang bawah beton

2.8.9 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

$$Pe = \gamma.Pi \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana γ adalah rasio prategang residual, maka kehilangan prategang adalah

$$Pi - Pe = (1 - \gamma).Pi \dots\dots\dots (2.24)$$

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

$$\Delta f^t = (1 - \gamma) [f_{ti} + \frac{M_D}{S_t}] \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\Delta f_b = (1 - \gamma) [-f_{ci} + \frac{M_D}{S_t}] \dots\dots\dots (2.26)$$

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

$$f'_n = f_{ti} - \Delta f^t - f_c \dots\dots\dots (2.27)$$

atau

$$f'_n = \gamma f_{ti} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_t} - f_c \dots\dots\dots (2.28)$$

Tegangan netto diserat bawah adalah

$$f_{bn} = f_t - f_{ci} - \Delta f_b \dots\dots\dots (2.29)$$

atau

$$f_{bn} = f_t - \gamma f_{ci} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_b} \dots\dots\dots (2.30)$$

Penampang yang telah dipilih harus mempunyai modulus penampang

$$S^t \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} + M_L}{\gamma f_{ti} - f_c} \dots\dots\dots (2.31)$$

dan

$$S_b \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} + M_L}{f_t - \gamma f_{ci}} \dots\dots\dots (2.32)$$

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

$$e_c = (f_t - \bar{f}_{ci}) \frac{S^t}{P_i} + \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots (2.33)$$

dan ditumpuan adalah

$$e_c = (f_t - \bar{f}_{ci}) \frac{S^t}{P_i} \dots\dots\dots (2.34)$$

Dimana \bar{f}_{ci} adalah tegangan beton pada saat transfer pada level pusat berat (egc) penampang beton dan

$$P_i = \bar{f}_{ci} \cdot A_c \dots\dots\dots (2.35)$$

jadi

$$\bar{f}_{ci} = f_{ti} \frac{C_E}{h} (f_t - f_{ci}) \dots\dots\dots (2.36)$$

2.8.10 Selubung untuk Meletakkan Tendon

Tegangan tendon diserat 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 didalamnya gaya prategang dapat bekerja tanpa menyebabkan terjadinya tarik diserat beton ekstrim. Dan persamaan didapatkan :

$$f_t = 0 = - \frac{P_t}{A_c} \left(1 - \frac{e_{ct}}{r^2}\right) \dots\dots\dots (2.37)$$

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

$$k_b = \frac{r^2}{C_t} \dots\dots\dots (2.38)$$

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

$$k_t = \frac{r^2}{C_b} \dots\dots\dots (2.39)$$

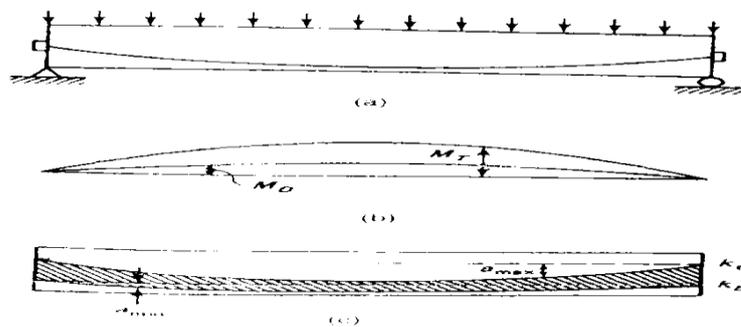
Dengan penentuan titik-titik dan bawah, jelaslah bahwa :

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

2.8.11 Selubung Eksentrisitas yang Membatasi

Eksentrisitas tendon yang didesain di sepanjang bentang di harapkan 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 disepanjang bentang balok dengan tendon berbentuk *dropped*, maka eksentrisitasnya harus ditentukan di penampang-penampang berikut disepanjang batang. Jika M_D adalah momen akibat beban mati dan M_T masing-masing adalah a_{min} dan a_{mak} , seperti pada gambar 2.26. Selubung egs bawah, lengan minimum dari kopel tendon adalah sebagai berikut :

$$a_{min} = \frac{M_D}{P_i} \dots\dots\dots (2.40)$$



Gambar 2.26 Penentuan selubung egs (a) lokasi satu tendon (b) gambar bidang momen (c) batas-batas selubung egs
 (Sumber : Beton prategang jilid I, Edward G. Nawy)

$$a_{mak} = \frac{M_T}{P_i} \dots\dots\dots (2.41)$$

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

2.9 Perletakan

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

1) Pembebanan

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

2) Penulangan lateral stop

Tulangan A_f yang dibutuhkan untuk menahan momen M_u adalah :

$$M_u = 0,2 \times V_u + N_{ue} \times (h-d) \dots\dots\dots (2.42)$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots\dots\dots (2.43)$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f_c'}}\right) \dots\dots\dots (2.44)$$

$$A_f = \rho b d \dots\dots\dots (2.45)$$

2.10 Plat Injak

Plat injak berfungsi untuk mencegah defleksi yang terjadi pada permukaan jalan akibat desakan tanah. Beban yang bekerja pada pelat injak (dihitung per meter lebar).

- 1) Pembebanan pelat injak, pembebanan pelat injak terdiri atas berat lapisan aspal, berat tanah isian, berat sendiri pelat injak, berat lapisan perkerasan dan berat kendaraan. Dari pembebanan akan didapat $q_{u_{total}}$

2) Penulangan pelat injak

$$M_{u_{max}} = 1/8 \cdot q_{u_{total}} \cdot L_2 \dots\dots\dots (2.46)$$

$$A_{Smin} = \frac{\sqrt{F_c'}}{4 F_y} b d \dots\dots\dots (2.47)$$

$$A_{Smin} = \frac{1,4}{F_y} b d \dots\dots\dots (2.48)$$

2.11 *Abutment/Pier*

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

- 1) Pembebanan abutment, terdiri dari :
 - a. Beban Mati (Pm)
 - b. Beban Hidup (H + DLA)
 - c. Tekanan Tanah (PTA)
 - d. Beban Angin (Wn)
 - e. Gaya Rem (Rm)
 - f. Gesekan pada perletakan (Gs)
 - g. Gaya Gempa (Gm)
 - h. Beban Pelaksanaan (pel)

Kombinasi pembebanan adalah sebagai berikut :

- a. Kombinasi I (AT) = Pm + PTA + Ga
- b. Kombinasi II (LL) = (H + DLA) + Rm
- c. Kombinasi III (AG) = Wn
- d. Kombinasi IV (GP) = Gm
- e. Kombinasi V (PL) = pel

Kemudian dikombinasikan lagi seperti berikut :

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

2) Kontrol stabilitas pembebanan

a. Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{MT}{M_{GL}} < 1,5 \dots\dots\dots (2.49)$$

b. Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{GS} = \frac{\mu V}{M} < 1,5 \dots\dots\dots (2.50)$$

c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_{GL} = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} > 2,0 \dots\dots\dots (2.51)$$

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

2.12 Pondasi

2.12.1 Pengertian Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang yang terdapat dibawah konstruksi dengan tumpuan pondasi.

Pondasi tiang digunakan untuk suatu bangunan yang tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung *bearing capacity* yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang diterimanya atau apabila tanah pendukungnya yang mempunyai daya dukung yang cukup letaknya sangat dalam.

Pondasi tiang berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterimanya dari konstruksi diatasnya kelapisan tanah yang lebih dalam.

Teknik pemasangan pondasi tiang dapat dilakukan dengan pemancangan tiang-tiang baja/beton pracetak atau dengan membuat tiang-tiang beton bertulang yang langsung dicor ditempat (*cast in situ*), yang sebelumnya dibuatkan lubang terlebih dahulu.

Pada umumnya, pondasi tiang ditempatkan tegak lurus (*vertikal*) didalam tanah, tetapi apabila diperlukan dapat dibuat miring agar dapat menahan gaya-gaya horizontal. Sudut kemiringan yang dapat dicapai tergantung dari alat yang digunakan serta disesuaikan pula dengan perencanaan.

2.12.2 Persyaratan Pondasi

Pondasi tiang dapat digunakan untuk menahan gaya aksial maupun gaya lateral. Kedalaman tiang dan kapasitas tiang dalam menahan gaya aksial maupun lateral harus dihitung berdasarkan laporan penyelidikan tanah.

Pengankuran tiang harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya tarik sekurang-kurangnya 10% dari kekuatan tekannya. Pengankuran dilakukan sekurang-kurangnya 4 (empat) buah tulangan dowel dengan rasio tulangan dowel tidak boleh kurang dari 1%.

Pada sepertiga panjang (minimum 2,5m) tiang yang dicor setempat harus dipasang tulangan logitudinal dengan rasio 0,5% tetapi tidak boleh kurang dari empat batang. Tulangan spiral atau sengkang dengan diameter 8 mm atau lebih besar harus dipasang dengan spasi tidak melebihi 225 mm kecuali pada ujung atas tiang harus diberikan pengekanan yang memadai sepanjang dua kali diameter tiang tetapi tidak boleh kurang dari 600 mm dengan jarak spasi maksimum sebesar 75 mm.

Untuk tiang pracetak, rasio tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 1% sedangkan tulangan spiral atau sengkang tidak boleh kurang dari persyaratan tiang yang dicor setempat.

2.12.3 Daya Dukung Pondasi

Dengan meningkatnya beban yang berkerja pada suatu pondasi, maka akan meningkat pula tegangan yang terjadi pada dasar pondasi tersebut, demikian pula penurunan yang terjadid. 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 akan terjadi keruntuhan geser tanah pondasi tersebut. Dalam keadaan seperti ini, dibawah 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 kesamping dan permukaan tanah akan terangkat. Desakan kesamping ini dapat terjadi ke dua arah atau ke satu arah.

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

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

1. Peraturan bangunan setempat yang dikeluarkan oleh lembaga terkait
2. Pengalaman tentang pembuatan pondasi yang sudah ada, atau keterangan yang berkaitan dengan pondasi disekitarnya
3. Hasil pemeriksaan/pengujian tanah, baik pengujian di laboratorium maupun pengujian dilapangan.
 - a) Daya dukung pondasi berdasarkan kekuatan material

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

Kuat tekan beton (f_c')

$$\text{Tegang ijin beton (fc)} = 0.3 \times f_c \times 1000 \dots\dots\dots (2.52)$$

$$\text{Luas tampang tiang pancang (A)} = \pi / 4 \times D^2 \dots\dots\dots (2.53)$$

Panjang tiang pancang (L)

$$\text{Berat tiang pancang (W)} = A \times L \times W_c \dots\dots\dots (2.54)$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang pancang (P}_{ijin}) = A \times f_c \times W \dots\dots\dots (2.55)$$

b) Daya dukung pondasi berdasarkan nilai SPT

SPT (*Standart Penetration Test*) sering kali digunakan untuk mendapatkan gaya dukung tanah secara langsung di lokasi. SPT merupakan tes dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan menggunakan massa pendorong (Palu) seberat 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukkan tabung sample sedalam 305 mm dinyatakan sebagai nilai N.

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

Nilai SPT hasil pengujian (N)

Daya dukung ijin tiang pancang

- 1) Pasir halus $(Q_{ull}) = 40 \times N \times L/B$, dan
 $(Q_{ull}) = 400 \times N'$
- 2) Pasir kasar $(Q_{ull}) = 40 \times N \times L/B$, dan
 $(Q_{ull}) = 300 \times N'$

Daya dukung ijin tiang bor

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

Luas penampang tiang pancang $(A) = \pi/4 \times D^2$ (2.56)

Angka aman $(S_r) = 3$

Daya dukung ijin tiang pancang $(P_{ijin}) = (A \times q_{ull})/S_f$ (2.57)

2.13 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.

2.13.1 Kuantitas Pekerjaan

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

a) **Menganalisa biaya pekerjaan**

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

b) **Membuat daftar harga bahan dan upah**

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

c) **Rekapitulasi biaya pekerjaan**

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

d) **Analisa alat berat**

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

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

1) **Prinsip dasar perhitungan alat berat**

Perhitungan produksi kerja alat berat adalah kemampuan kerja sebuah alat berat sesuai fungsi dalam satu jam kerja. Perhitungan produksi kerja alat

bertumpu pada tiga hal : tenaga yang dibutuhkan, tenaga yang tersedia dan tenaga yang dapat digunakan.

2) Prinsip dasar perhitungan biaya pemilikan dan operasi alat berat

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

2.13.2 Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut.

Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

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

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

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

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

2.13.3 Network Planning

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

Untuk membuat *network planning* dibutuhkan data sebagai berikut :

1. Jenis pekerjaan yang dibuat detail rincian item pekerjaan
2. Durasi waktu masing-masing pekerjaan
3. Jumlah total waktu pelaksanaan
4. Metode pelaksanaan konstruksi sehingga dapat diketahui urutan pekerjaan.

Adapun keuntungan dibuatnya *network planning* :

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

2.13.4 Barchart

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

dengan baik perlu diketahui sebelumnya dimana posisi waktu tiap item pekerjaan, sehingga disitulah pekerjaan proyek harus benar-benar di pantau agar tidak terjadi keterlambatan penyelesaian proyek.

Hal-hal yang diperlukan didalam *barchart* :

- Jenis pekerjaan
- Durasi waktu pelaksanaan pekerjaan
- Alur pekerjaan

Barchart berfungsi untuk :

- Untuk mengetahui waktu penyelesaian pekerjaan. Sehingga proyek dapat diselesaikan tepat waktu
- Untuk mengetahui alternatif jalur penyelesaian pekerjaan dan waktu penyelesaian jika melalui jalur tersebut.

2.13.5 Kurva S

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

Kurva S dibuat berdasarkan nilai dan pekerjaannya berupa persentase yang dibuat dan perbandingan dan biaya keseluruhan yang ada, kemudian dikalikan 100 %. Manfaat atau kegunaan kurva s dalam proyek konstruksi adalah sebagai berikut :

1. Sebagai jadwal pelaksanaan kegiatan proyek
2. Sebagai dasar untuk memajemen keuangan proyek
3. Untuk menghitung presentasi pekerjaan proyek
4. Sebagai pedoman manajer proyek untuk mengambil kebijakan lebih cepat agar pelaksanaan pekerjaan bisa selesai sesuai batas waktu kontrak.
5. Untuk manajemen pengadaan material
6. Sebagai bahan laporan untuk proyek dari kontraktor kepada manajemen konstruksi, konsultan pengawas atau owner sebagai pemilik proyek.