

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, danau, saluran irigasi, kali, jalan kereta api, jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain. Menurut Ir. H. J. Struyk dalam bukunya “Jembatan“, jembatan merupakan suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau lalu lintas biasa).

Jembatan adalah jenis bangunan yang apabila akan dilakukan perubahan konstruksi, tidak dapat dimodifikasi secara mudah, biaya yang diperlukan relatif mahal dan berpengaruh pada kelancaran lalu lintas pada saat pelaksanaan pekerjaan. Jembatan dibangun dengan umur rencana 100 tahun untuk jembatan besar. Minimum jembatan dapat digunakan 50 tahun. Ini berarti, disamping kekuatan dan kemampuan untuk melayani beban lalu lintas, perlu diperhatikan juga bagaimana pemeliharaan jembatan yang baik.

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

- a. Bangunan Atas
- b. Bangunan Bawah

Terdapat beberapa klasifikasi jembatan, yaitu :

- a. Klasifikasi menurut kegunaannya :
 - 1) Jembatan jalan raya (*highway bridge*)
 - 2) Jembatan jalan kereta api (*railway bridge*).
 - 3) Jembatan jalan air (*waterway bridge*)
 - 4) Jembatan jalan pipa (*pipeway bridge*)
 - 5) Jembatan militer (*military bridge*)
 - 6) Jembatan pejalan kaki atau penyeberangan (*pedestrian bridge*).
- b. Klasifikasi menurut jenis materialnya :
 - 1) Jembatan Kayu
 - 2) Jembatan Baja
 - 3) Jembatan Beton meliputi beton bertulang dan beton Prategang

- c. Klasifikasi menurut Letak lantai jembatan :
- 1) Jembatan lantai kendaraan dibawah
 - 2) Jembatan lantai kendaraan diatas
 - 3) Jembatan lantai kendaraan ditengah
 - 4) Jembatan lantai kendaraan diatas dan dibawah (*double deck bridge*)
- d. Klasifikasi menurut bentuk secara umum :
- 1) Jembatan plat (*slab bridge*).
 - 2) Jembatan plat berongga (*voided slab bridge*).
 - 3) Jembatan gelagar (*girder bridge*).
 - 4) Jembatan rangka (*truss bridge*).
 - 5) Jembatan pelengkung (*arch bridge*).
 - 6) Jembatan gantung (*suspension bridge*).
 - 7) Jembatan kabel (*cable stayed bridge*).
 - 8) Jembatan cantilever (*cantilever bridge*).

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

- a. Umur jembatan lama yang terlalu tua sehingga dirasakan perlu diganti dengan jembatan yang baru.
- b. Diperlukannya jembatan yang sama sekali baru sebab alat penyeberangan atau perlintasan yang ada (misal : ponton) tidak dapat memenuhi kebutuhan yang ada.
- c. Pada jalan yang sama sekali baru, diperlukannya membangun jembatan yang baru.

2.2 Bagian-Bagian Konstruksi Jembatan Beton Prategang

Secara umum konstruksi jembatan beton memiliki dua bagian yaitu bangunan atas (*upper structure*) dan bangunan bawah (*sub structure*). 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 ke lapisan pendukung (tanah keras) di bawahnya.

2.2.1 Struktur Atas Jembatan

Bangunan atas terletak pada bagian atas konstruksi yang menopang beban - beban akibat lalu lintas kendaraan, orang, barang ataupun berat sendiri dan konstruksi (*Sumber : http://binamarga.pu.go.id/referensi/nspm/pedoman_teknik_2122.pdf*). Yang termasuk dalam bangunan atas adalah:

a. Tiang sandaran

Tiang sandaran Berfungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar membuat rasa aman bagi lalu lintas kendaraan maupun orang yang melewatinya. Tiang sandaran terbuat dari beton bertulang.

b. Lantai Kendaraan

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.

c. Balok Diafragma

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

d. Gelagar

Gelagar merupakan balok utama yang memikul beban dari lantai kendaraan maupun kendaraan yang melewati jembatan tersebut, sedangkan besarnya balok memanjang tergantung dari panjang bentang dan kelas jembatan.

2.2.2 Struktur bawah Jembatan

Bangunan bawah pada umumnya terletak disebelah bawah bangunan atas. Fungsinya menerima/memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkannya ke pondasi (Agus Iqbal Manu, 1995:5). Yang termasuk dalam bangunan bawah jembatan yaitu seperti :

a. *Abutment*

Bagian bangunan pada ujung - ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas juga berfungsi sebagai penahan tanah. Bentuk umum *abutment* yang sering dijumpai baik pada jembatan lama maupun jembatan baru pada prinsipnya semua sama yaitu sebagai pendukung bangunan atas, tetapi yang paling dominan ditinjau dari kondisi lapangan seperti daya dukung tanah dasar dan penurunan (*seatlement*) yang terjadi. Adapun jenis

abutment ini dapat dibuat dari bahan seperti batu atau beton bertulang dengan konstruksi seperti dinding atau tembok.

b. Plat injak

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

c. Pondasi

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

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. Elastomer / Landasan Jembatan (*Bearing Pad*)

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

- a. SNI 1725:2016, tentang Pembebanan untuk Jembatan.
- b. RSNI T-12-2004, tentang Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.
- c. RSNI T-02-2005, tentang Pembebanan untuk Jembatan.
- d. SNI 2833:2016, tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa.

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

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

- 1) $0,33\sqrt{f_c'}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- 2) Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

Kuat tarik lentur beton f_{ctf} bisa diambil sebesar:

- 1) $0,6\sqrt{f_c'}$ MPa pada umur 28 hari, dengan perawatan standar; atau
- 2) Dihitung secara probabilitas statistik dari hasil pengujian.

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

Modulus elastisitas beton, E_c , nilainya tergantung pada mutu beton, yang terutama dipengaruhi oleh material dan proporsi campuran beton. Namun untuk analisis perencanaan struktur beton yang menggunakan beton normal dengan kuat tekan yang tidak melampaui 60 MPa, atau beton ringan dengan berat jenis yang tidak kurang dari 2000 kg/m³ dan kuat tekan yang tidak melampaui 40 MPa, nilai E_c bisa diambil sebagai:

- 1) $E_c = w_c^{1,5} (0,0043\sqrt{F_c'})$ dengan pertimbangan bahwa kenyataannya harga ini bisa bervariasi $\pm 20\%$. w_c menyatakan berat jenis beton dalam satuan kg/m^3 , f_c' menyatakan kuat tekan beton dalam satuan MPa, dan E_c dinyatakan dalam satuan MPa. Untuk beton normal dengan massa jenis sekitar 2400 kg/m^3 , E_c boleh diambil sebesar $4700\sqrt{f_c'}$, dinyatakan dalam MPa, atau ditentukan dari hasil pengujian.

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 di bawah ini:

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

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

- 1) Diambil sama dengan 200.000 MPa; atau
- 2) Ditentukan dari hasil pengujian.

c. Tulangan Baja Prategang

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

- 1) untuk kawat baja prategang : $0,75 f_{pu}$
- 2) untuk semua kelas strand dan tendon baja bulat : $0,85 f_{pu}$

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

- 1) Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar $0,70 fpu$.
- 2) Untuk kondisi layan, sebesar $0,60 fpu$.

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

- 1) Akibat gaya penjangkaran tendon, sebesar $0,94 fpy$ tetapi tidak lebih besar dari $0,85 fpu$ atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabrikator pembuat tendon prategang atau jangkar.
- 2) Sesaat setelah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar $0,82 fpy$, tetapi tidak lebih besar dari $0,74 fpu$.

Modulus elastisitas baja prategang, E_p bisa diambil sebesar:

- 1) untuk kawat tegang-lepas : $200 \times 10^3 \text{ MPa}$;
- 2) untuk strand tegang-lepas : $195 \times 10^3 \text{ MPa}$;
- 3) untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi : $170 \times 10^3 \text{ MPa}$;
- 4) ditentukan dari hasil pengujian.

2.4.2 Perencanaan kekuatan struktur beton bertulang

Kekuatan lentur dari balok beton bertulang sebagai komponen struktur jembatan harus direncanakan dengan menggunakan cara ultimit atau cara perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT). Walaupun demikian, untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan 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 dengan 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 batasi oleh tepi tertekan keluar dari penampang.

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 :

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f_c' < 30 \text{ Mpa}$$

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

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

$$A_s = \frac{\sqrt{f_c'}}{4.f_y} \text{ bw.d.} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dan tidak boleh lebih kecil dari :

$$A_s = \frac{1,4}{f_y} \text{ bw.d.} \dots \dots \dots (2.2)$$

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 :

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

Jarak bersih antara tulangan yang sejajar dalam lapisan tidak boleh kurang sumbu 1,5 kali diameter tulangan atau 1,5 kali diameter seikat tulangan. Tulangan geder terdiri dari sengkang segiempat yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, jaringan kawat baja 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 600mm.

2.5 Pembebanan Jembatan

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

Dalam perencanaan, persamaan 1 harus dipenuhi untuk semua pengaruh gaya yang bekerja beserta kombinasinya, tidak tergantung dari jenis analisis yang digunakan. Setiap komponen dan sambungan harus memenuhi Persamaan 1 untuk setiap keadaan batas. Untuk keadaan batas layan dan ekstrem, faktor tahanan harus diambil sebesar 1, kecuali untuk baut yang ditentukan dalam perencanaan jembatan baja, serta kolom-kolom beton pada zona gempa 2, 3, dan 4 yang ditentukan dalam perencanaan jembatan beton. Seluruh keadaan batas harus dianggap memiliki tingkat kepentingan yang sama besar.

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

Dengan memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

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

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

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

$$\eta_i = \frac{1}{DRI} < 1 \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

γ_i : adalah faktor beban ke-i

η_i : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas, redundansi, dan klasifikasi operasional

η_D : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan daktilitas

η_R : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan redundansi

η_i : adalah faktor pengubah respons berkaitan dengan klasifikasi operasional

ϕ : adalah faktor tahanan

Q_i : adalah pengaruh gaya

R_n : adalah tahanan nominal

R_r : adalah tahanan terfaktor

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

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

Empat keadaan diatas memperhitungkan kondisi jembatan sesuai batas-batas dari berbagai aspek yang disyaratkan. Perhitungan pembebanan jembatan berdasarkan batas-batas diatas menghasilkan dua belas kombinasi pembebanan yang terdapat pada SNI 1725:2016. Untuk merencanakan struktur bawah jembatan, setiap faktor dan kombinasi pembebanan diperhitungkan berdasarkan kelompok beban sebagai berikut :

a. Beban Permanen

- MS* = beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan
MA = beban mati perkerasan dan utilitas
TA = gaya horizontal akibat tekanan tanah
PL = gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental

b. Beban Transien

- SH* = gaya akibat susut/rangkak
TB = gaya akibat rem
TR = gaya sentrifugal
TC = gaya akibat tumbukan kendaraan
TV = gaya akibat tumbukan kapal
EQ = gaya gempa
BF = gaya friksi
TD = beban lajur "D"
TT = beban truk "T"
TP = beban pejalan kaki

- SE = beban akibat penurunan
 ET = gaya akibat temperatur gradien
 EU_n = gaya akibat temperatur seragam
 EF = gaya apung
 EW_s = beban angin pada struktur
 EWL = beban angin pada kendaraan
 EU = beban arus dan hanyutan

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

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

Keterangan :

- η_i : adalah faktor pengubah respons sesuai Persamaan 2 atau 3
 γ_i : adalah faktor beban
 Q_i : adalah gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

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

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

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

Untuk jembatan yang dibangun secara segmental, maka kombinasi pembebanan sebagai berikut harus diselidiki pada keadaan batas daya layan yaitu kombinasi antara beban mati (*MS*), beban mati tambahan (*MA*), tekanan tanah (*TA*), beban arus dan hanyutan (*EU*), susut (*SH*), gaya akibat pelaksanaan (*PL*), dan prategang (*PR*).

Tabel 2. 1 Kombinasi dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{T6}	γ_{E5}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{T6}	γ_{E5}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{T6}	γ_{E5}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{T6}	γ_{E5}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,0	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,0	1,0
Daya Javan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{T6}	γ_{E5}	-	-	-
Daya Javan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Javan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{T6}	γ_{E5}	-	-	-
Daya Javan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatig (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

2.5.1 Beban Permanen

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah $9,81 \text{ m/detik}^2$. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Berat isi untuk Beban Mati

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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

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

a. Beban sendiri (MS)

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

Tabel 2. 3 Faktor Beban untuk Berat Sendiri

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

b. Beban mati tambahan/utilitas (MA)

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

Tabel 2. 4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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

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

c. Beban akibat tekanan tanah (TA)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pada pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari γ_s , c dan ϕ_f .

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

Tabel 2. 5 Faktor Beban Akibat Tekanan Tanah

Tipe beban	Faktor beban (γ_{TA})			
	Kondisi Batas Layan (γ_{TA}^S)		Kondisi Batas Ultimit (γ_{TA}^U)	
	Tekanan tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00	⁽¹⁾	
Catatan ⁽¹⁾ : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit.				

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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

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

Tekanan tanah lateral harus diasumsikan linier sebanding dengan kedalaman tanah sebagai berikut :

$$p = k \gamma_s Z \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

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

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

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

Keterangan :

ϕf : adalah sudut geser efektif tanah

k_0 : adalah koefisien tekanan tanah lateral kondisi diam

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

$$k_a = \frac{\sin^2 (\theta + \phi f)}{r (\sin^2 \theta \sin (\theta - \delta))} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan,

$$r = \left[1 + \sqrt{\frac{\sin (\theta + \delta) \sin (\phi - \beta)}{\sin (\theta - \delta) \sin (\theta + \beta)}} \right]^2 \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

δ : adalah sudut geser antara urukan dan dinding ($^\circ$), nilai \square diambil melalui pengujian laboratorium atau bila tidak memiliki data yang akurat dapat mengacu pada Tabel 6.

β : adalah sudut pada urukan terhadap garis horizontal ($^\circ$)

θ : adalah sudut pada dinding belakang terhadap garis horizontal ($^\circ$)

ϕf : adalah adalah sudut geser efektif tanah ($^\circ$)

Tabel 2. 6 Sudut Geser Berbagai Material*(US Departemen of the Navy, 1982a)

Material	Sudut geser δ ($^\circ$)
Beton pada material fondasi sebagai berikut :	
• Batuan	35
• Kerikil, campuran kerikil – pasir, pasir kasar	29 – 31
• Pasir halus hingga medium, pasir kelanauan medium hingga kasar, kerikil kelanauan atau berlempung	24 – 29
• Pasir halus, pasir kelanauan atau berlempung halus hingga medium	19 – 24
• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis	17 – 19
• Lempung prakonsolidasi atau residual yang sangat teguh dan keras	22 – 26
• Lempung agak teguh hingga lempung teguh, dan lempung kelanauan	17 – 19
Pasangan bata pada material fondasi memiliki faktor geser yang sama	
Turap baja terhadap tanah berikut :	
• Kerikil, campuran kerikil – pasir, batuan bergradasi baik yang diisi pecahan	22
• Pasir, campuran pasir – kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal	17
• Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung	14
• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis	11
Beton pracetak atau turap beton terhadap tanah berikut :	
• Kerikil, campuran kerikil – pasir, batuan bergradasi baik yang diisi pecahan	22 – 26
• Pasir, campuran pasir – kerikil berlanau, batuan keras berukuran tunggal	17 – 22
• Pasir berlanau, kerikil atau pasir bercampur lanau atau lempung	17
• Lanau kepasiran halus, lanau non plastis	14
Berbagai material struktural:	
• Batu bata pada batu bata, batuan beku dan metamorf:	
- Batuan lunak pada batuan lunak	35
- Batuan keras pada batuan lunak	33
- Batuan keras pada batuan keras	29
• Batu bata pada kayu dengan arah kembang kayu menyilang	26
• Baja pada baja pada hubungan turap	17

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Sudut geser pada Tabel 6 hanya dapat digunakan bila tidak diperoleh data karakteristik tanah untuk mendukung analisis geoteknik.

Untuk tanah kohesif, tekanan pasif dapat dihitung dengan :

$$P_p = k_p \gamma_s z + 2c \sqrt{k_p} \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

P : adalah tekanan tanah lateral pasif (kPa)

γ_s : adalah berat jenis tanah (kN/m³)

z : adalah kedalaman diukur dari permukaan tanah (m)

c : adalah kohesi tanah (kPa)

k_p : adalah koefisien tekanan tanah lateral pasif

d. Pengaruh tetap pelaksanaan (PL)

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai dengan Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Faktor Beban Akibat Pengaruh Pelaksanaan

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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 jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

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

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

a. Lajur lalu lintas rencana

Secara umum, Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian integer dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Perencana harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan dimasa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel 2.8 Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan.

Tabel 2. 8 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Berdasarkan Tabel 2.8. bila lebar bersih jembatan berkisar antara 3000 mm sampai 5000 mm, maka jumlah jalur rencana harus diambil satu lajur lalu lintas rencana dan lebar jalur rencana harus diambil sebagai lebar jalur lalu lintas. Jika jembatan mempunyai lebar bersih antara 5250 mm dan 7500 mm, maka jembatan harus direncanakan memiliki dua lajur rencana, masing-masing selebar lebar bersih jembatan dibagi dua.

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

b. Beban lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 24. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Faktor Beban untuk Beban Lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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

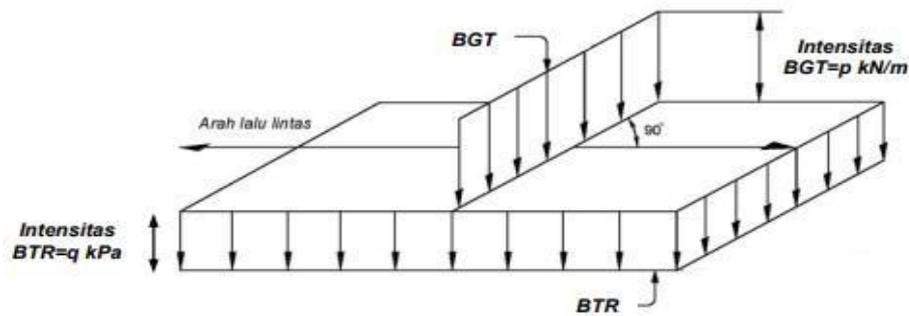
$$\text{Jika } L < 30 \text{ m : } q = 9,0 \text{ kPa} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

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

L : adalah panjang total jembatan yang dibebani (meter)



Gambar 2. 1 Beban Lajur "D"

(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1.

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

c. Beban lajur "T" (TT)

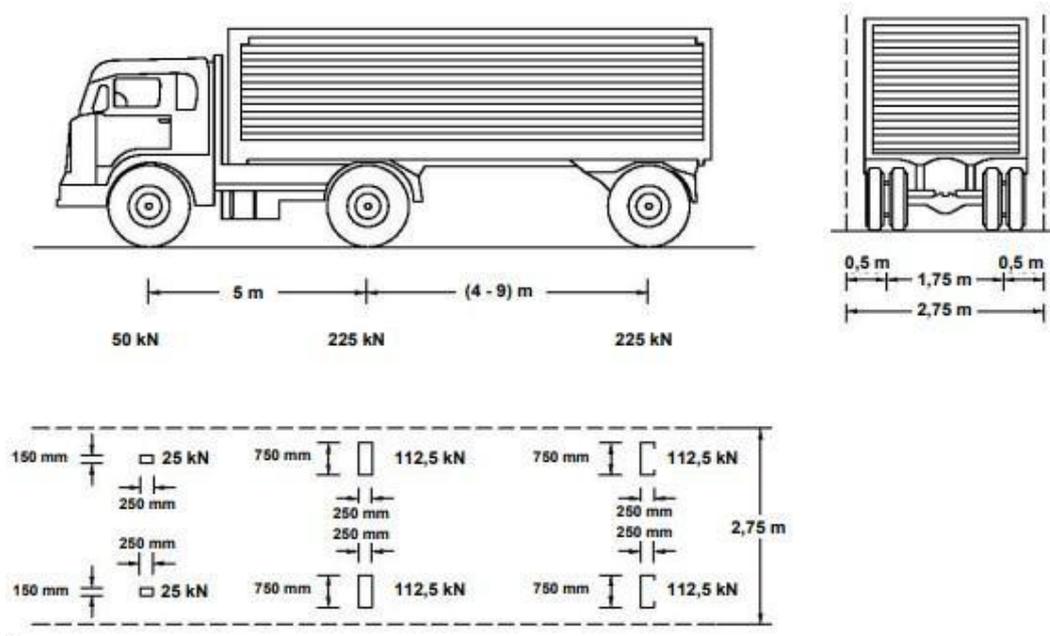
Selain beban "D", terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban "D". Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban "T" seperti terlihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Faktor Beban untuk Beban "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TT}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TT}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 26. Berat dari tiap-tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2. 2 Pembebanan Truk "T" (500 kN)
(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

d. Klasifikasi pembebanan lalu lintas

Dalam keadaan khusus, dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan "D" setelah dikurangi menjadi 70 % bisa digunakan. Pembebanan lalu lintas yang dikurangi hanya berlaku untuk jembatan darurat atau 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 Beban Dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

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

Besarnya BGT dari pembebanan lajur "D" dan beban roda dari Pembebanan Truk "T" harus cukup untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD. Besarnya nilai tambah dinyatakan dalam fraksi dari beban statis. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit. BTR dari pembebanan lajur "D" tidak dikali dengan FBD. Untuk pembebanan "D": FBD merupakan fungsi panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 28 . Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{av} L_{max}} \dots \dots \dots (2.14)$$

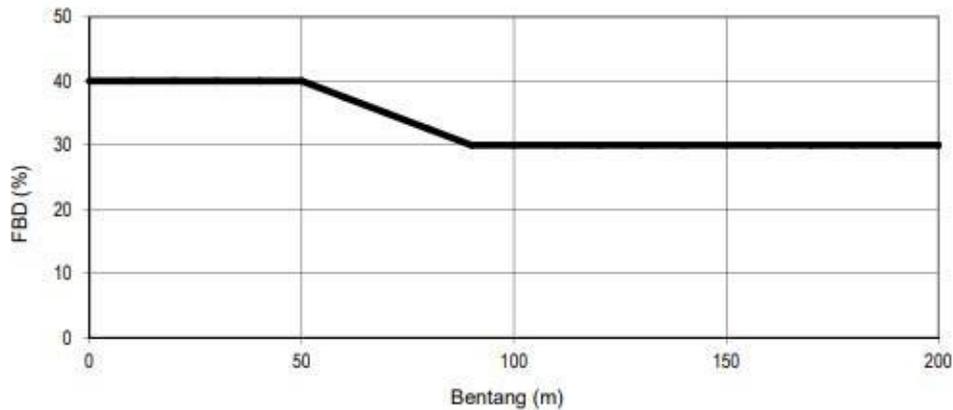
Keterangan :

- a. L_{av} adalah panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus
- b. L_{max} adalah panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus

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

Nilai FBD jangan diambil kurang dari 40% untuk kedalaman nol dan jangan kurang dari 10% untuk kedalaman 2 m. Untuk kedalaman antara bisa

diinterpolasi linier. Nilai FBD yang digunakan untuk kedalaman yang dipilih harus diterapkan untuk bangunan seutuhnya.



Gambar 2. 3 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur “D”
(Sumber: SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

e. Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

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

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

f. Gaya Sentrifugal (TR)

Untuk tujuan menghitung gaya radial atau efek guling dari beban roda, pengaruh gaya sentrifugal pada beban hidup harus diambil sebagai hasil kali dari berat gandar truk rencana dengan faktor C sebagai berikut :

$$C = f \frac{v^2}{gR} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

- v : adalah kecepatan rencana jalan raya (m/detik)
- f : adalah faktor dengan nilai 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik

g : adalah percepatan gravitasi: 9.8 (m/detik²)

R_1 : adalah jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m)

Kecepatan rencana jalan raya harus diambil tidak kurang dari nilai yang ditentukan dalam Perencanaan Geometrik Jalan Bina Marga. Faktor kepadatan lajur ditentukan pada waktu menghitung gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal harus diberlakukan secara horizontal pada jarak ketinggian 1800 mm diatas permukaan jalan. Dalam hal ini, perencana harus menyediakan mekanisme untuk meneruskan gaya sentrifugal dari permukaan jembatan menuju struktur bawah jembatan. Pengaruh superelevasi yang mengurangi momen guling akibat gaya sentrifugal akibat beban roda dapat dipertimbangkan dalam perencanaan.

g. Pembebanan Untuk Pejalan Kaki (TP)

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

2.5.3 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 analisis statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat.

Perencana mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus memperhitungkannya dalam perencanaan.

a. Penurunan (ES)

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan. Pengaruh penurunan dapat dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai dengan Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Faktor Beban Akibat Penurunan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{ES})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{ES}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{ES}^U)
Permanen	1,0	N/A

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

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

b. Temperatur (Eun)

Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 12 dan persamaan rentang simpangan akibat beban temperatur.

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

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

Keterangan :

L : adalah panjang komponen jembatan (mm)

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

Tabel 2. 12 Temperatur Jembatan Rata-rata Nominal

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

c. Pengaruh susut dan rangkak (SH)

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

Tabel 2. 13 Faktor beban akibat susut dan rangkak

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

d. Pengaruh prategang (PR)

Prategang akan menyebabkan pengaruh sekunder pada komponen-komponen yang terkekang pada bangunan statis tidak tentu. Pengaruh sekunder tersebut harus diperhitungkan baik pada batas daya layan ataupun batas ultimit (Tabel 2.14). Prategang harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan tegangan dalam kombinasinya dengan beban-beban lainnya.

Tabel 2. 14 Faktor beban akibat pengaruh prategang

Tipe beban	Faktor beban (γ_{PR})	
	Keadaan Batas Layan (γ_{PR}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{PR}^U)
Tetap	1,0	1,0

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

e. Beban Angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan railing yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan :

- V_{DZ} : adalah kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)
- V_{10} : adalah kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)
- V_B : adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan
- Z : adalah elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm)
- V_o : adalah kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, sebagaimana ditentukan dalam Tabel 28, untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)
- Z_o : adalah panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 2.15 (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari :

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

Tabel 2. 15 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain.

Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{VDZ}{VB} \right)^2 \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan :

P_B : adalah tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 29 (MPa) Tabel 2.16

Tabel 2. 16 Tekanan angin dasar

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan didalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang

bekerja tegak lurus maupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.17 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

Tabel 2. 17 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

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

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan)

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar 9.6×10^{-4} MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan.

f. Beban Gempa (EQ)

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut :

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

Keterangan :

E_Q : adalah gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : adalah koefisien respons gempa elastis

R_d : adalah faktor modifikasi respons

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

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

2.5.4 Aksi-aksi lainnya

a. Beban Pelaksanaan

Beban pelaksanaan terdiri atas:

- 1) beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri dan;
- 2) aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

Perencana harus membuat toleransi untuk berat perancah atau yang mungkin akan dipikul oleh bangunan sebagai hasil dari metode atau urutan pelaksanaan. Perencana harus memperhitungkan adanya gaya yang timbul selama pelaksanaan dan stabilitas serta daya tahan dari bagian-bagian komponen. Apabila rencana tergantung pada metode pelaksanaan, struktur harus mampu menahan semua beban pelaksanaan secara aman.

Perencana harus menjamin bahwa tercantum cukup detail ikatan dalam gambar untuk menjamin stabilitas struktur pada semua tahap pelaksanaan. Cara dan urutan pelaksanaan, dan tiap tahanan yang terdapat dalam rencana, harus diperinci dengan jelas dalam gambar dan spesifikasi. Selama waktu pelaksanaan jembatan, tiap aksi lingkungan dapat terjadi bersamaan dengan beban pelaksanaan.

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

2.6 Lantai Kendaraan

a. Tebal Pelat Lantai

Pelat Lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum T_s dengan memenuhi kedua ketentuan :

$$T_s > 200 \text{ mm} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$T_s > (100+40.l) \text{ mm} \dots \dots \dots (2.21)$$

(Sumber : SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan)

Keterangan :

T_s : tebal pelat lantai

l : bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan

b. Pembebanan

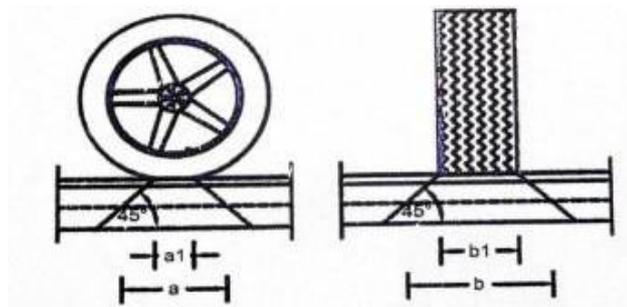
1) Beban mati terdiri atas berat aspal, berat pelat dan berat air hujan. Dari pembebanan tersebut akan diperoleh $q_{DI.ult}$. Pelat lantai kendaraan dianggap pelat satu arah.

2) Berat dari kendaraan bergerak (muatan T) beban *truck*.

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

Jadi, pembebanan *truck*

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



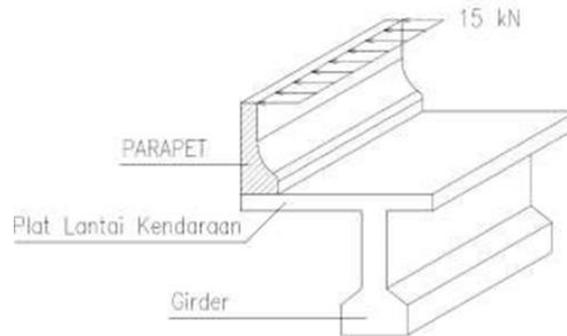
Gambar 2. 4 Penyaluran Tegangan dan roda akibat bidang kontak

3) Penulangan, berdasarkan RSNI T-12-2004

$$A_s = \frac{1,0}{4f_y} b.d. \dots \dots \dots (2.22)$$

2.7 Paraphet Jembatan

Pada tugas akhir ini, sandaran jembatan menggunakan parapet sebagai dinding penahan kendaraan sehingga tidak terdapat kerb. Parapet direncanakan untuk menahan benturan dan menjaga kendaraan agar tidak keluar dari jembatan (fungsi kerb) sehingga beban hidup yang digunakan dalam perencanaannya adalah memakai beban hidup kerb, yaitu sebesar 15 kN/m.



Gambar 2. 5 Paraphet Jembatan

2.8 Balok Diafragma

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.

2.9 Beton Prategang

2.9.1 Beton Prategang

Beton prategang bukan merupakan konsep baru, pada tahun 1872, pada saat P.H Jackson, seorang 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.

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

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

Prategang meliputi tambahan gaya tekan pada struktur untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan gaya tarik internal dalam hal ini retak pada beton dapat dihilangkan. Pada beton bertulang, prategang pada umumnya diberikan dengan menarik baja tulangan. Gaya tekan disebabkan oleh reaksi baja tulangan yang ditarik, mengakibatkan berkurangnya retak, elemen beton prategang akan lebih kokoh dari elemen beton bertulang biasa.

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

2.9.2 Konsep dasar beton prategang

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang (T. Y. Lin Ned, 1996 : 11). Hal ini dapat diterangkan 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 dari Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang yang pada dasarnya adalah beton yang getas menjadi bahan yang elastis yang memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pra-tekan) pada bahan tersebut.

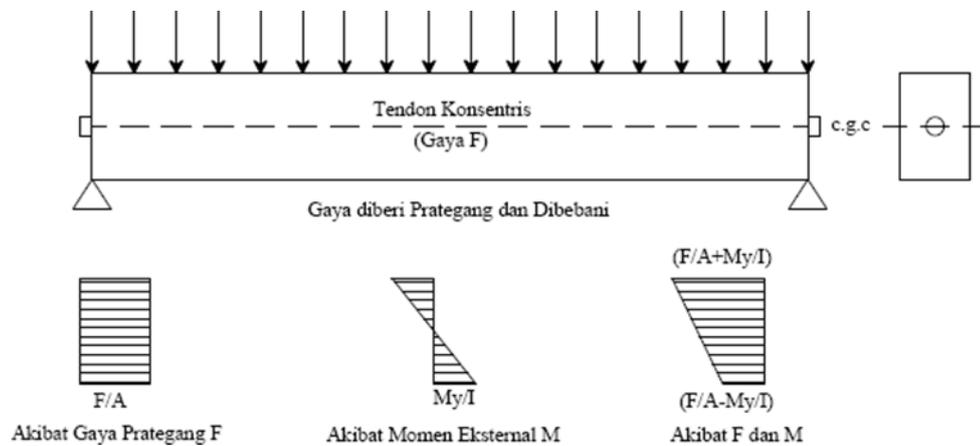
Beton yang tidak mampu menahan tarik dan kuat memikul tekanan (umumnya dengan baja mutu tinggi yang ditarik) sedemikian sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah lahir kriteria tidak ada tekanan tarik pada beton.

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

Atau pandangan ini, beton divisualisasikan sebagai benda yang mengalami dua sistem pembebanan : gaya internal prategang dan beban eksternal dengan tarik akibat gaya eksternal dilawan oleh tegangan tekan akibat gaya prategang. Begitu juga retak pada beto akibat beban tendon. Sejauh tidak terjadi retak-retak,

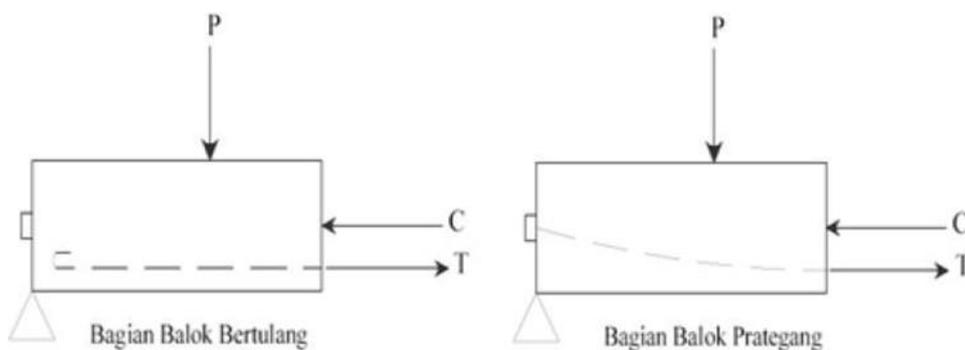
tegangan-tegangan, regangan-regangan, dan lendutan-lendutan pada beton akibat kedua sistem pembebanan dapat dipandang secara terpisah dan bersama-sama bila perlu.

Dalam bentuk yang sederhana, ditinjau sebuah balok persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon melalui sumbu yang melalui titik berat dan dibebani oleh gaya eksternal, lihat gambar dibawah ini.



Gambar 2. 6 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris
(Sumber: *Desain Struktur Beton Prategang*, T Y Lin & Ned H Burns)

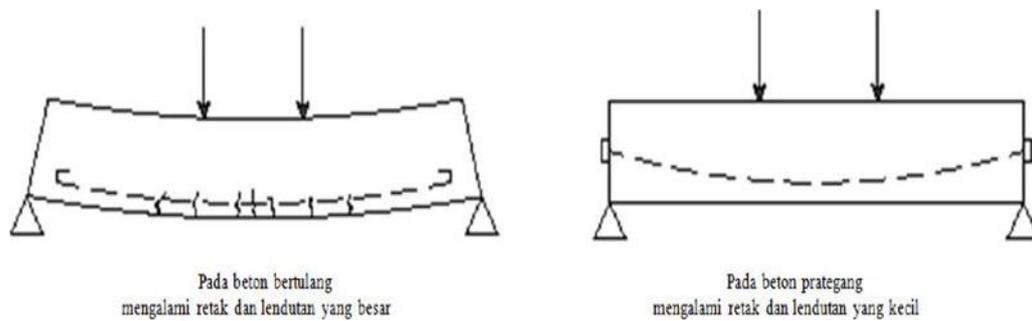
Konsep kedua, sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton. Konsep ini memperhitungkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarik dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kompel penahan untuk melawan momen eksternal, lihat gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Momen Penahan Internal pada Beton Prategang dan Beton Bertulang
(Sumber: *Desain Struktur Beton prategang*, T Y Lin & Ned H Burns)

Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan cara menarik sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi

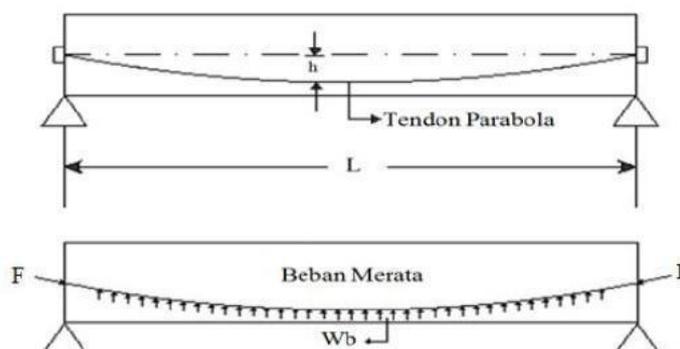
ditanamkan pada beton, seperti pada beton biasa, beton disekitarnya akan mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan, lihat gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi
(Sumber: Desain Struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

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

Hal ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisa struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang, lihat gambar 2.9.

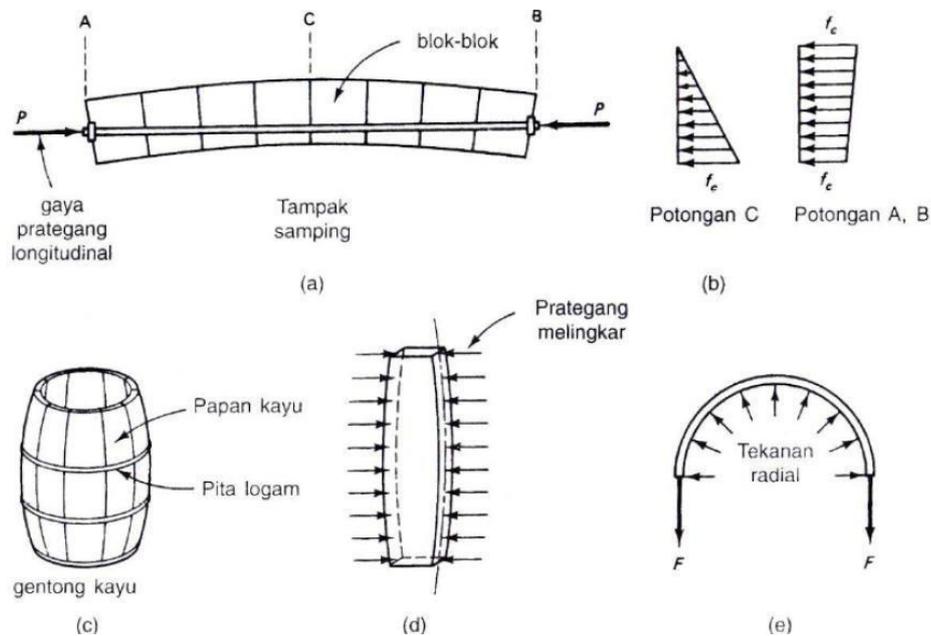


Gambar 2. 9 Balok Prategang Dengan Tendon Parabola
(Sumber: Desain Struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

2.9.3 Prinsip Dasar Beton Prategang

Beton adalah material yang kuat dalam kondisi tekan tetapi lemah dalam kondisi tarik, kuat tarik bervariasi dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya, karena rendahnya kapasitas tarik tersebut, maka retak lentur terjadi pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan pada arah longitudinal elemen struktur.

Gaya ini mencegah perkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang tersebut. Penampang dapat berperilaku secara elastis dan hampir sama kapasitas dalam memikul tekan secara efektif dimanfaatkan diseluruh tinggi penampang beton pada saat semua beban bekerja distruktur tersebut, gambarnya dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Prinsip-prinsip Prategang Linier dan Melingkar.
(Sumber: *Beton Prategang*, Edward G. Nawi)

Gaya longitudinal yang diterapkan seperti diatas disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberikan prategangan pada penampang disepanjang bentang disuatu elemen struktur sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup

transversal atau beban hidup horizontal transien Balok-balok beton bekerja bersama sebagai sebuah balok akibat pemberian gaya prategang tekanan P yang besar.

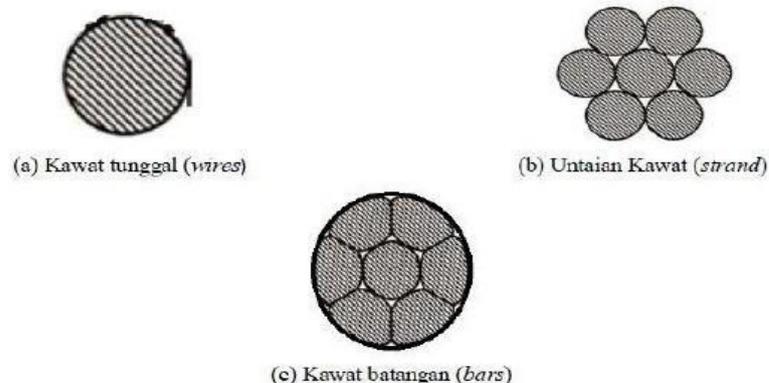
Meskipun balok-balok tersebut tergelincir dalam arah vertikal mensimulasikan kegagalan gelincir geser pada kenyataan tidak demikian karena adanya gaya longitudinal P .

2.9.4 Baja Prategang

Untuk penggunaan pada beban layan yang tinggi, penggunaan baja tulangan (tendon) dan beton mutu tinggi akan lebih efisien. Hanya baja pada tegangan elastis tinggi yang cocok digunakan pada beton prategang. Penggunaan baja tulangan mutu tinggi bukan saja merupakan suatu keuntungan, tetapi merupakan suatu keharusan. Prategang akan menghasilkan elemen yang lebih ringan, bentang yang lebih besar dan lebih ekonomis jika ditinjau dari segi pemasangannya dibandingkan dari beton bertulang biasa.

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

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



Gambar 2. 11 Jenis-jenis Baja yang Dipakai Untuk Beton Prategang
(Sumber: *Prestressed Concrete Design, MK. Hurst*)

Tabel 2. 18 Jenis dan klasifikasi jenis kawat

Jenis material	Nominal diameter	Luas	Gaya Putus minimum	Tegangan tarik minimum, f_{pu}
	mm	mm ²	kN	MPa
Kawat (wire)	5	19.6	30.4	1550
	5	19.6	33.3	1700
	7	38.5	65.5	1700
7-wire strand super grade	9.3	54.7	102	1860
	12.7	100	184	1840
	15.2	143	250	1750
7-wire strand Regular grade	12.7	94.3	165	1750
Bar	23	415	450	1080
	26	530	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1080

(Sumber; Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan Untuk Jembatan)

2.9.5 Sistem Pengukuran

Sehubungan dengan perbedaan sistem untuk penarikan dan pengukuran tendon, maka situasinya sedikit membingungkan dalam perancangan dan penerapan beton prategang. Seorang sarjana teknik sipil harus mempunyai pengetahuan umum mengenai metode-metode yang ada dan mengingatkannya pada saat menentukan dimensi komponen struktur, sehingga tendon-tendon dari beberapa sistem dapat ditempatkan dengan baik (T. Y. Lin Ned, 1996 : 58).

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

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

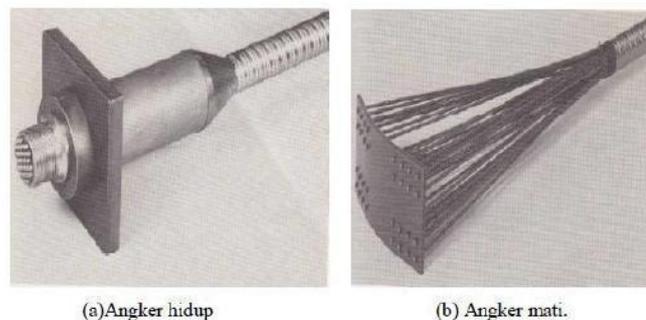
dalam beton sampai beton tersebut mengeras.

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

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

Pengangkeran ada 2 macam yaitu angker mati dan angker hidup. Angker mati adalah angker yang tidak bisa dilakukan lagi penarikan setelah penegangan tendon dilakukan. Angker mati sering digunakan dalam prategang dengan sistem pratarik.

Sedangkan angker hidup dapat dilakukan penarikan kembali jika hal itu diperlukan. Pengangkeran ini sering dijumpai dalam prategang dengan sistem pascatarik. Jenis pengangkeran dapat dilihat digambar 2.12



Gambar 2. 12 Jenis Pengangkeran
(Sumber: Beton Prategang, N Krishna Raju)

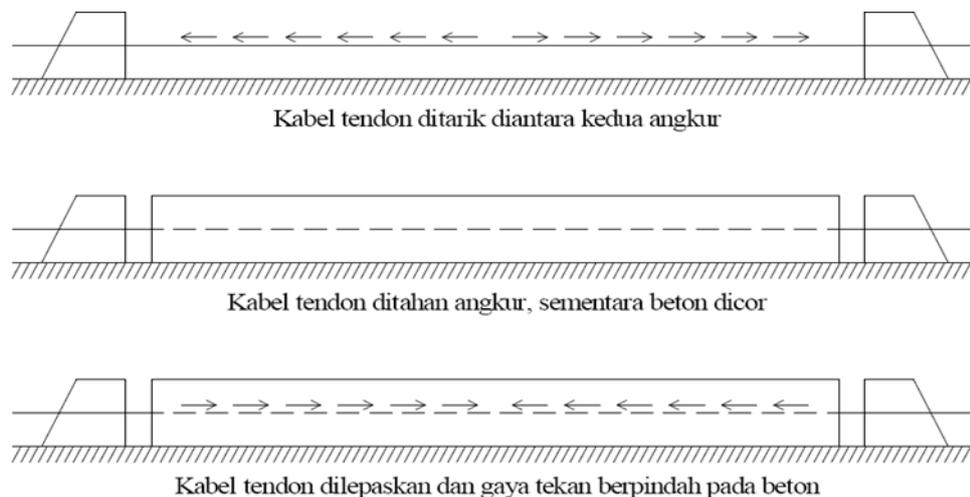
a. Sistem Pratarik (*pre-tensioning*)

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

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

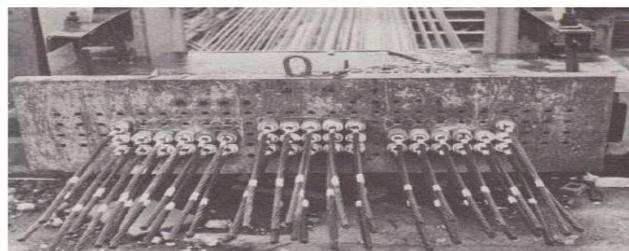
Adapun tahap urutan pengerjaan beton pre-tension adalah sebagai berikut kabel tendon dipersiapkan terlebih dahulu pada sebuah ankur yang mati (*fixed anchorage*) dan sebuah ankur yang hidup (*live anchorage*). Kemudian *live anchorage* ditarik dengan dongkrak (*jack*) sehingga kabel tendon bertambah 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 ankur dan dipotong. Kabel tendon akan berusaha kembali ke bentuknya semula setelah pertambahan panjang yang diakibatkan oleh penarikan pada awal pelaksanaan.

Hal inilah yang menyebabkan adanya gaya tekan internal pada beton. Oleh karena sistem pratarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan tendon sekelilingnya. Hal itu penting bahwa setiap tendon harus merekat sepanjang seluruh badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dan alas pra-penarikan dan gaya prategang ditransfer ke beton, lihat gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Konsep Pra-Tarik

(Sumber:http://dc435.4shared.com/doc/WewLITgl/preview_html_m72a6766d.gif)



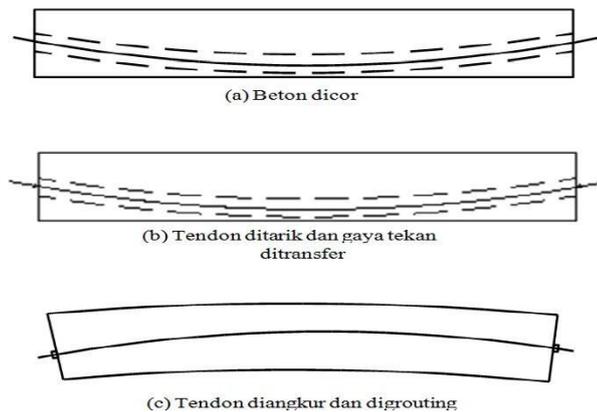
Gambar 2. 14 Pengangkeran Sistem Pratarik (*Pre-tensioning*)

(Sumber:http://dc435.4shared.com/doc/WewLITgl/preview_html_m72a6766d.gif)

b. Sistem Pascatarik (*post-tensioning*)

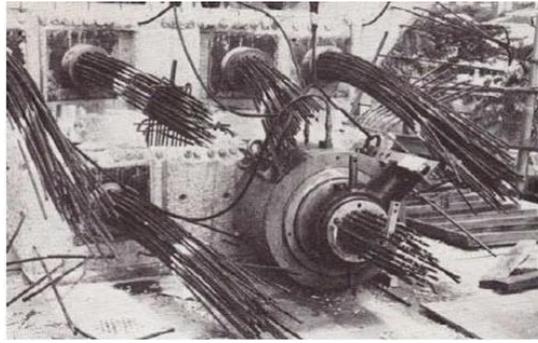
Kebanyakan pelaksanaan prestress dilapangan dilaksanakan dengan metode *post-tensioning*. Pascatarik dipakai untuk memperkuat bendungan beton, prategang melingkar dan tangki-tangki beton yang besar, serta perisai-perisai biologis dan reaktor nuklir. Pascatarik (*post-tensioning*) juga banyak digunakan 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 ankur hidup dan ujung lainnya ankur mati atau kedua ujungnya dipasang ankur hidup. Beton dicor dan dibiarkan mengeras hingga mencapai umur yang mencukupi. Selanjutnya dongkrak hidrolik dipasang pada ankur hidup dan kabel tendon ditarik hingga mencapai tegangan atau gaya yang direncanakan. Untuk mencegah kabel tendon kehilangan tegangan akibat slip pada ujung ankur terdapat baji. Gaya tarik akan berpindah pada beton sebagai gaya tekan internal akibat reaksi ankur. lihat gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Konsep Pasca-Tarik

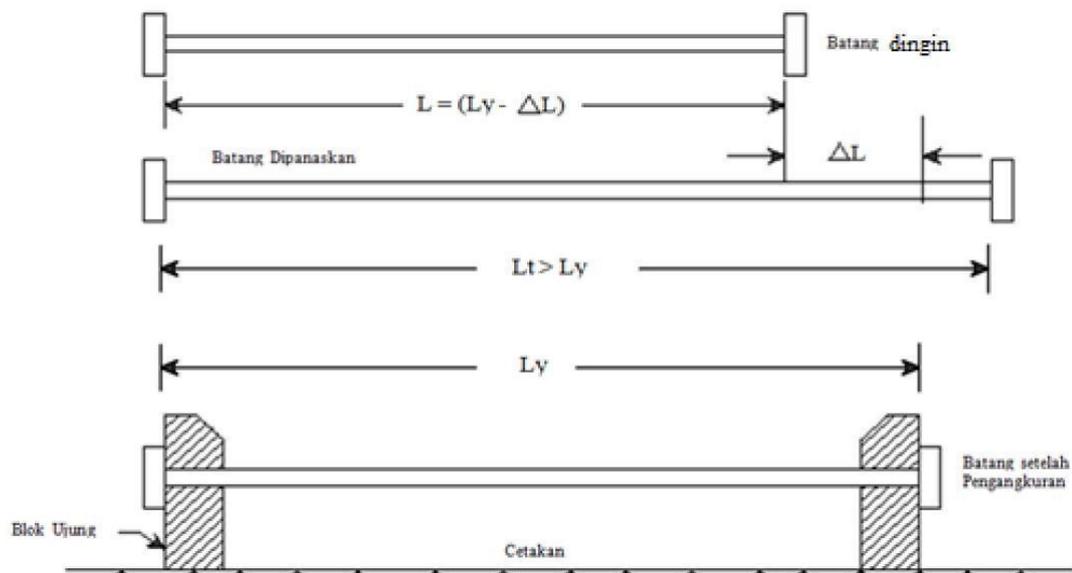
(Sumber: http://dc435.4shared.com/doc/WewLITgl/preview_html_m806b4cc.gif)



Gambar 2. 16 Pengangkeran Sistem Pascatarik (Post-tensioning) dengan menggunakan jack 1000 ton.
(Sumber: http://dc435.4shared.com/doc/WewLITgl/preview_html_m806b4cc.gif)

c. Prategang Termo-Listrik

Metode prategang dengan tendon yang dipanaskan, yang dicapai dengan melewati aliran listrik pada kawat yang bermutu tinggi, umumnya disebut sebagai Prategang Termo-Listrik. Prosesnya terdiri atas pemanasan batang dengan arus listrik sampai temperature 300-400 °C selama 3-5 menit. Batang tersebut mengalami perpanjangan kira-kira 0,3-0,5 persen. Setelah pendinginan batang tersebut berusaha memperpendek diri, perpendekan ini dicegah oleh jepitan angkur pada kedua ujungnya. Waktu pendinginan diperuntukan 12-15 menit.



Gambar 2. 17 Proses Prategang Termo-Listrik
(Sumber: *Beton Pratekan*, N. Krishna Raju)

d. Prategang Secara Kimia

Reaksi kimia dalam semen ekspansif dapat menegangkan baja yang ditanam yang kemudian menekan beton. Hal ini sering disebut dengan penegangan sendiri (*self-stressing*) atau disebut juga prategang kimiawi. Bila semen ini digunakan untuk membuat beton dengan baja yang tertanam. Maka baja akan mengalami pertambahan panjang sejalan dengan pengembangan beton tersebut. Oleh karena pengembangan beton dikekang oleh kawat baja bermutu tinggi, maka timbul tegangan tekan pada beton dan kawat baja mengalami tegangan tarik.

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

2.9.6 Analisis Prategang

Tegangan yang disebabkan oleh prategang umumnya merupakan tegangan kombinasi yang disebabkan oleh beban langsung dan lenturan yang dihasilkan oleh beban yang ditempatkan secara eksentris. Analisa tegangan-tegangan yang timbul pada suatu elemen struktur beton prategang didasarkan atas asumsi-asumsi berikut (N. Krisna Raju, 1986 : 49):

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

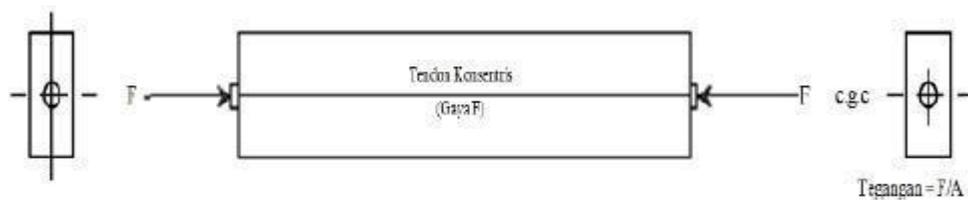
Selama tegangan tarik tidak melampaui batas modulus keruntuhan beton (yang sesuai dengan tahap retakan yang terlihat pada beton). setiap perubahan dalam pembebanan batang menghasilkan perubahan tegangan pada beton saja. satu-satunya fungsi dan tendon prategang adalah untuk memberikan dan

memelihara prategang pada beton.

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 (N. Krishna Raju, 1986 : 50).

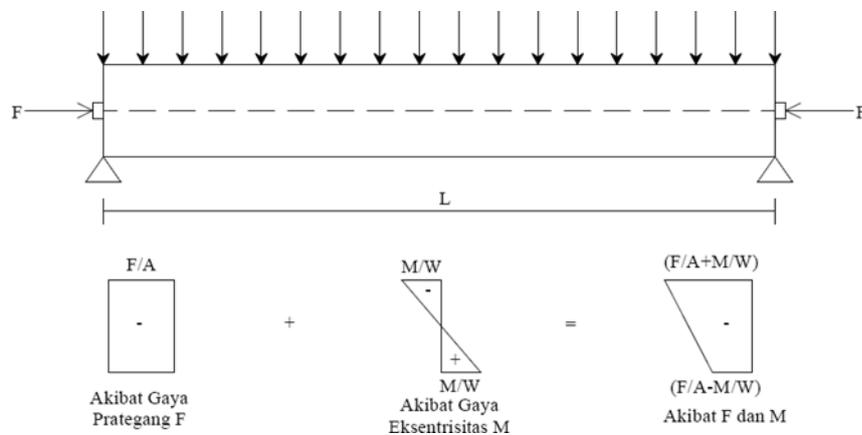
1) Tendon Konsentris

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



Gambar 2. 18 Prategang Konsentris
(Sumber: Beton Pratekan, N Krishna Raju)

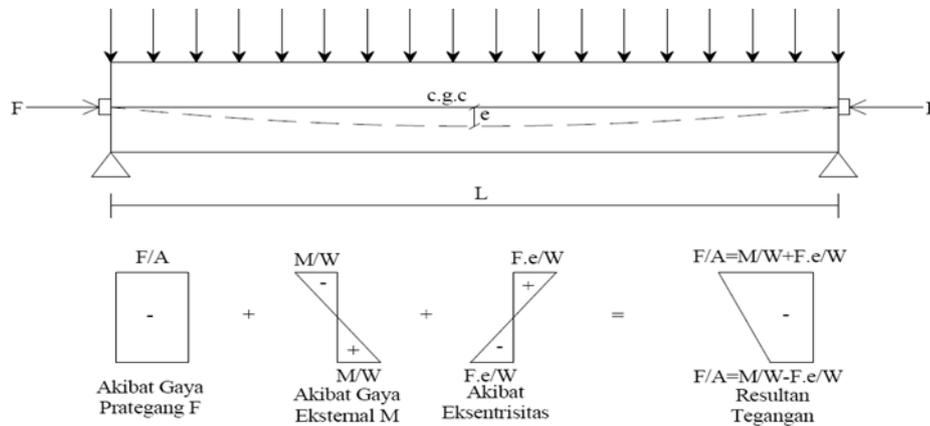
Gambar di atas menunjukkan sebuah beton prategang tanpa eksentrisitas, tendon berada pada garis berat beton (*central gravity of concrete, c.g.c*). Prategang seragam pada beton = F/A yang berupa tekan pada seluruh tinggi balok. Pada umumnya beban-beban yang dipakai dan beban mati balok menimbulkan tegangan tarik terhadap bidang bagian bawah dan ini diimbangi lebih efektif dengan memakai tendon.



Gambar 2. 19 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris
(Sumber: Beton Pratekan. N Krishna Raju)

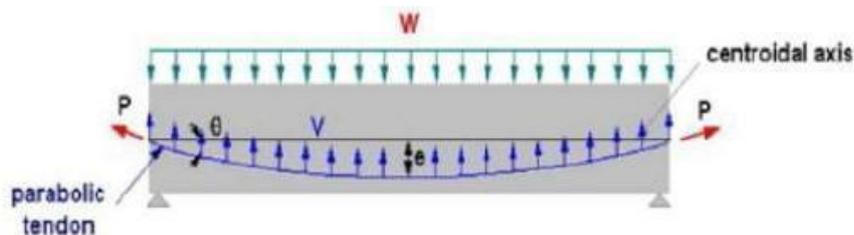
2) Tendon Eksentris

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 menambah kemampuan untuk memikul beban eksternal.



Gambar 2. 20 Distribusi Tegangan Tendon Eksentris
(Sumber: *Beton Pratekan. N Krishna Raju*)

Eksentrisitas akan menambah kemampuan untuk menerima atau memikul tegangan tarik yang lebih besar lagi pada serat bawah. Prategangan juga menyebabkan perimbangan gaya-gaya dalam komponen beton prategang. Konsep ini terutama terjadi pada beton prategang post-tension.

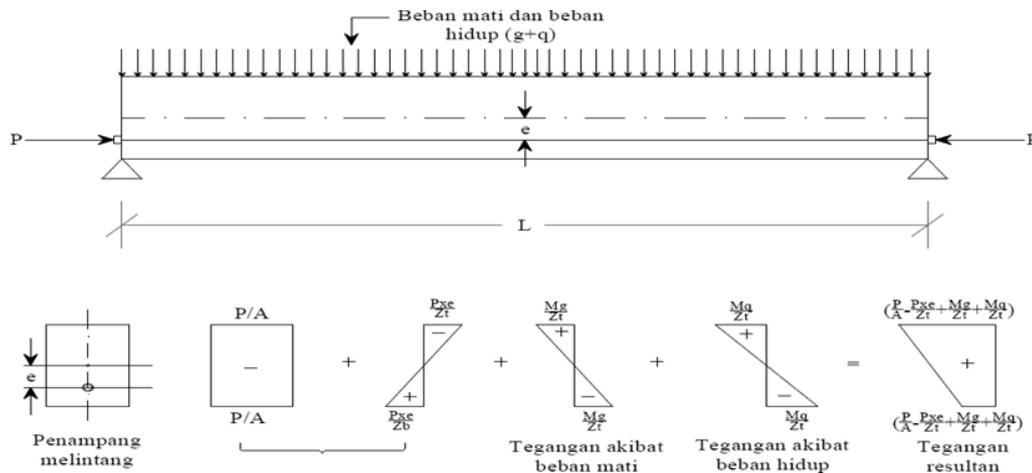


Gambar 2. 21 Gaya-gaya Penyeimbang Beban Pada Tendon Parabola
(Sumber: civilisociety.blogspot.com/2012/.../beton-prategang.html)

3) Tegangan Resultan Pada Suatu Penampang

Balok beton yang diperlihatkan pada gambar dibawah ini memikul beban hidup dan mati yang terbagi rata dengan q dan g . Balok diprategangkan dengan suatu tendon lurus yang membawa suatu gaya prategang (P) dengan eksentrisitas (e). Tegangan resultan pada suatu penampang beton diperoleh

dengan superposisi pengaruh prategang dan tegangan-tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Jika M_q dan M_g merupakan momen akibat beban hidup dan beban mati pada penampang di tengah bentang.



Gambar 2. 22 Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris Beban mati dan Beban Hidup
(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

2.9.7 Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap-tahap pembebanan (Andri Budiadi, 2008 : 217). Di dalam suatu sistem struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan gaya prategang, baik akibat sistem penegangan maupun akibat pengaruh waktu. Kehilangan tegangan langsung disebabkan oleh:

- Perpendekan elastis dari beton.
- Gesekan sepanjang kelengkungan tendon pada struktur pasca tarik.
- Selip pada ankur, dll.

Kehilangan tegangan akibat pengaruh waktu disebabkan oleh:

- Relaksasi baja, dan
- Perpendekan dari beton pada level baja akibat rangkakan dan penyusutan.

2.9.8 Desain Penampang Beton Prategang Terhadap Lentur

Dalam desain lentur komponen struktur beton bertulang, adalah suatu hal yang memadai untuk menerapkan kondisi batas tegangan pada saat gagal di dalam menentukan pilihan penampang, asalkan semua persyaratan lain seperti daya layan, kapasitas geser dan lekatan dipenuhi.

Namun, dalam desain komponen struktur beton prategang, pengecekan lainnya dibutuhkan pada saat transfer beban dan kondisi batas pada saat beban kerja, selain juga kondisi batas pada saat gagal, dengan beban gagal menunjukkan kekuatan cadangan untuk kondisi kelebihan beban. Semua pengecekan ini dibutuhkan untuk menjamin bahwa pada kondisi beban kerja, retak dapat diabaikan dan efek-efek jangka panjang terhadap defleksi atau lawan lendut dapat dikontrol dengan baik (Edward G. Nawy, 2001 : 107).

2.9.9 Modulus Penampang Minimum

Untuk mendesain dan memilih penampang, penentuan modulus penampang minimum yang dibutuhkan, serat bawah dan serat atas harus dilakukan terlebih dahulu (Edward G. Nawy, 2001 : 108). Jika :

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

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

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

$$= 0,25 \sqrt{F'ci} \text{ , (nilai ini dapat diperbesar menjadi } 0,5\sqrt{f'ci} \text{ di tumpuan komponen struktur yang ditumpu sederhana)}$$

f_c = Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah kehilangan pada taraf beban kerja.

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

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

$$= 0,5\sqrt{f'ci} \text{ , pada sistem satu arah nilai ini dapat diperbesar menjadi } 1,0\sqrt{f'ci} \text{ jika persyaratan defleksi jangka panjang dipenuhi).}$$

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

1) Pada saat Transfer

$$\text{Serat atas } f_a = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{ect}{r^2} \right) - \frac{MD}{St} \leq f_{ti} \dots \dots \dots (2.23)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{ect}{r^2} \right) - \frac{MD}{St} \leq f_{ci} \dots \dots \dots (2.24)$$

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

2) Tegangan Efektif sesudah kehilangan

$$\text{Serat atas } f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ect}{r^2} \right) - \frac{MD}{St} \leq f_t \dots \dots \dots (2.25)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ect}{r^2} \right) - \frac{MD}{Sb} \leq f_c \dots \dots \dots (2.26)$$

3) Tegangan akhir pada kondisi beban kerja

$$\text{Serat atas } f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ect}{r^2} \right) - \frac{Mt}{St} \leq f_c \dots \dots \dots (2.27)$$

$$\text{Serat bawah } f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ect}{r^2} \right) - \frac{Mt}{Sb} \leq f_t \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana :

M_T	= Momen total
M_D	= Momen akibat berat sendiri
M_{sD}	= Momen akibat berat mati tambahan seperti lantai
ML	= Momen akibat benda hidup termasuk beban kejut dan gempa
P_i	= Prategang awal
P_e	= Prategang efektif sesudah kehilangan t menunjukkan serat atas dan b menunjukkan serat bawah
e	= Eksentrisitas tendon dari pusat berat penampang beton
C_t & C_b	= jarak dari berat penampang (garis cgc) ke serat atas dan serat bawah
r^2	= kuadrat dan jari-jari garis
St & Sb	= modulus penampang atas & modulus penampang bawah beton

2.9.10 Balok dengan eksentrisitas tendon bervariasi

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

$$P_e = yP_i \dots \dots \dots (2.29)$$

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

$$P_i - P_e = (1 - y) \cdot P_i \dots \dots \dots (2.30)$$

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

$$\Delta f_a = (1 - y) \left[f_{ti} + \frac{M_p}{S_a} \right] \dots \dots \dots (2.31)$$

$$\Delta f_b = (1 - y) \left[f_{ci} + \frac{M_p}{S_b} \right] \dots \dots \dots (2.32)$$

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

$$f_n' = f_{ti} - \Delta f_a - f_c \dots \dots \dots (2.33)$$

Atau

$$f_n' = y f_{ti} - (1 - y) \left[\frac{M_p}{S_a} + f_c \right] \dots \dots \dots (2.34)$$

Tegangan netto di serat bawah adalah :

$$f_{bn}' = f_t - f_{ci} - \Delta f_b \dots \dots \dots (2.35)$$

Atau

$$f_{bn}' = f_t - y f_c - (1 - y) \left[\frac{M_D}{S_b} + f_c \right] \dots \dots \dots (2.36)$$

Penampang yang dipilih harus mempunyai modulus penampang :

$$S_a \geq \frac{(1-y)M_D + M_{sD}}{y f_{ti} - f_c} \dots \dots \dots (2.37)$$

Dan

$$S_b \geq \frac{(1-y)M_D + M_{sD}}{f_t - y f_c} \dots \dots \dots (2.38)$$

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

$$e_c = (f_c - f_{ci}) \frac{Ma}{S_i} + \frac{MD}{P_i} \dots \dots \dots (2.39)$$

Dan di tumpuan adalah :

$$e_c = (f_c - f_{ci}) \frac{Sa}{P_i} \dots \dots \dots (2.40)$$

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

$$P_i = f_{ci} \cdot A_c \dots \dots \dots (2.41)$$

Jadi,

$$f_{ci} = f_{ci} \frac{Sa}{P_i} (f_c - f_{ci}) \dots \dots \dots (2.42)$$

2.9.11 Selubung untuk meletakkan tendon

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

$$f_t = 0 = - \frac{Sa}{P_i} \left(1 - \frac{ect}{r^2} \right) \dots \dots \dots (2.43)$$

Untuk bagian gaya prategang saja. Sehingga, $= \frac{r^2}{Ca}$. dengan demikian titik kern dibawah adalah :

$$K_b = \frac{r^2}{Ca} \dots \dots \dots (2.44)$$

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

$$K_a = \frac{r^2}{Cb} \dots \dots \dots (2.45)$$

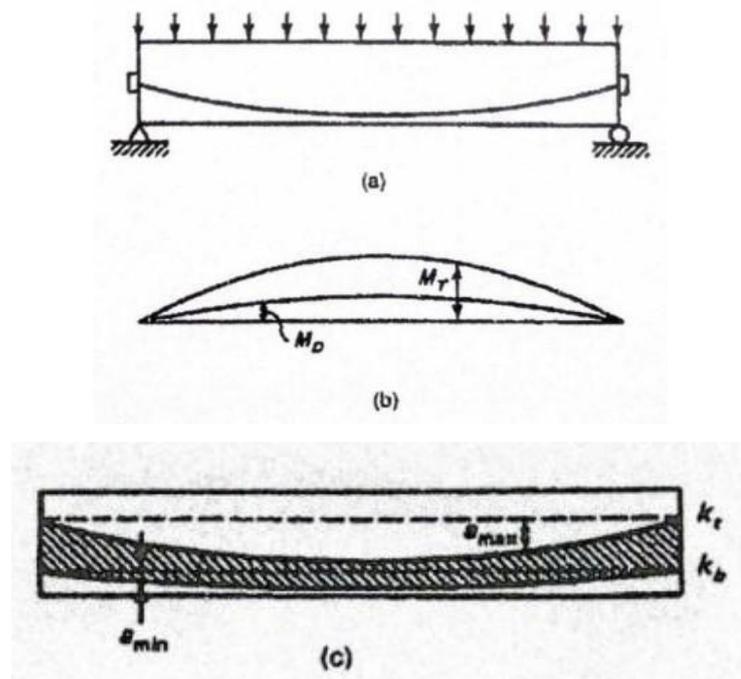
Dengan penentuan titik-titik atas dan bawah, Menjelaskan jika gaya prategang bekerja di bawah titik kern bawah, tegangan tarik terjadi di serat ekstrim atas dari penampang beton.

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

2.9.12 Selubung eksentrisitas yang membatasi

Eksentrisitas tendon yang didesain di sepanjang bentang diharapkan sedemikian hingga tarik yang terjadi di serat ekstrim balok hanya terbatas atau tidak ada sama di penampang yang menentukan dalam desain. Jika tarik tidak dikehendaki sama sekali disepanjang bentang balok dengan tendon berbentuk droped, maka eksentrisitasnya harus ditentukan di penampang – penampang berikut di sepanjang bentang. Jika M_D adalah momen akibat beban mati dan M_T masing-masing adalah a_{min} dan a_{max} , seperti pada gambar 2.23 selubung egs bawah, dengan minimum dari kopel tendon sebagai berikut :

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



Gambar 2. 23 Penentuan selubung egs (a) lokasi satu tendon (b) gambar bidang momen (c) batas-batas selubung egs.

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

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

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

2.10 Analisis Frekuensi dengan metode gumbel

1. Curah Hujan Rancangan

$$X = X + \frac{Y_t - Y_n}{on} S \dots \dots \dots (2.48)$$

Keterangan :

X = Curah hujan rancangan dengan kala ulang T tahun

X = Nilai rata aritmatik hujan kumulatif

S = Standar Deviasi

Y_t = Variasi yang merupakan fungsi dari kala ulang

Y_n = Nilai yang tergantung pada "n"

S_n = Standar deviasi yang merupakan fungsi dari "n"

$$Y_t = - \ln [\ln \{ \frac{T}{T-1} \}] \dots \dots \dots (2.49)$$

Keterangan :

Y_t = Variasi yang merupakan fungsi dari kala ulang

T = Kala ulang

Nilai Rata – Rata (*Mean*)

$$x = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n xi \dots \dots \dots (2.50)$$

Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (Xi - X)^2} \dots \dots \dots (2.51)$$

Tabel 2. 19 Variasi Yt

Kala Ulang	Nilai Yt
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
25	3,1985
50	3,9019
100	4,001

Tabel 2. 20 Nilai Sn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	0,0628	1,0696	1,0696	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	0,1124	1,1159	1,1159	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	0,1413	1,1436	1,1436	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	0,1607	1,1623	1,1623	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	0,1747	1,1759	1,1759	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	0,1859	1,1863	1,1863	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1906	1,1923	1,1930
80	0,1938	1,1945	1,1945	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1980	1,1994	1,2001
90	0,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2044	1,2055	1,2060

Tabel 2. 21 Nilai Yn

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5035	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5225	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5402	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5432
40	0,5436	0,5422	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5519	0,5518
60	0,5521	0,5534	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5552	0,5555	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5559	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599

Tabel 2. 22 Nilai Y_n dan \bar{y}_n Fungsi Jumlah Data

n	y_n	\bar{y}_n	n	y_n	\bar{y}_n	n	y_n	\bar{y}_n
8	0,4843	0,9043	39,0000	0,5430	1,1388	70,0000	0,5548	1,1854
9	0,4902	0,9288	40,0000	0,5436	1,1413	71,0000	0,5550	1,1863
10	0,4952	0,9497	41,0000	0,5442	1,1436	72,0000	0,5552	1,1873
11	0,4990	0,9676	42,0000	0,5448	1,1458	73,0000	0,5555	1,1881
12	0,5053	0,9833	43,0000	0,5453	1,1488	74,0000	0,5557	1,1890
13	0,5070	0,9972	44,0000	0,5258	1,1490	75,0000	0,5559	1,1898
14	0,5100	1,0098	45,0000	0,5463	1,1518	76,0000	0,5561	1,1906
15	0,5128	1,0206	46,0000	0,5468	1,1538	77,0000	0,5563	1,1915
16	0,5157	1,0316	47,0000	0,5473	1,1557	78,0000	0,5565	1,1923
17	0,5181	1,0411	48,0000	0,5447	1,1574	79,0000	0,5567	1,1930
18	0,5202	1,1493	49,0000	0,5481	1,1590	80,0000	0,5569	1,1938
19	0,5220	1,0566	50,0000	0,5485	1,1607	81,0000	0,5570	1,1945
20	0,5235	1,0629	51,0000	0,5489	1,1623	82,0000	0,5572	1,1954
21	0,5252	1,0696	52,0000	0,5493	1,1638	83,0000	0,5574	1,1959
22	0,5268	1,0754	53,0000	0,5497	1,1653	84,0000	0,5576	1,1967
23	0,5283	1,0811	54,0000	0,5501	1,1667	85,0000	0,5578	1,1973
24	0,5296	1,0864	55,0000	0,5504	1,1681	86,0000	0,5580	1,1980
25	0,5309	1,0914	56,0000	0,5508	1,1696	87,0000	0,5581	1,1987
26	0,5320	1,0961	57,0000	0,5511	1,1708	88,0000	0,5583	1,1991
27	0,5332	1,1004	58,0000	0,5515	1,1721	89,0000	0,5585	1,2001
28	0,5343	1,1047	59,0000	0,5518	1,1734	90,0000	0,5586	1,2007
29	0,5353	1,1086	60,0000	0,5521	1,1747	91,0000	0,5587	1,2013
30	0,5362	1,1124	61,0000	0,5524	1,1759	92,0000	0,5589	1,2020
31	0,5371	1,1159	62,0000	0,5527	1,1770	93,0000	0,5591	1,2026
32	0,5380	1,1193	63,0000	0,5530	1,1782	94,0000	0,5592	1,2032
33	0,5388	1,1226	64,0000	0,5533	1,1793	95,0000	0,5593	1,2038
34	0,5396	1,1255	65,0000	0,5535	1,1803	96,0000	0,5595	1,2044
35	0,5403	1,1285	66,0000	0,5538	1,1814	97,0000	0,5596	1,2049
36	0,5410	1,1313	67,0000	0,5540	1,1824	98,0000	0,5598	1,2055
37	0,5418	1,1339	68,0000	0,5543	1,1834	99,0000	0,5599	1,2060
38	0,5424	1,1363	69,0000	0,5545	1,1844	100,0000	0,5600	1,2065

2.11 Landasan / Elastomer

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

a. 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 < kapasitas beban per unit elastomer.

b. *Lateral stop*

Dianggap sebagai konsul pendek, dengan syarat konsul pendek $\frac{a}{b} < 1$

c. Penulangan *lateral stop*

Tulangan A_{vf} yang dibulatkan untuk menahan gaya geser :

$$V_u = \phi V_n \dots \dots \dots (2.52)$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots \dots \dots (2.53)$$

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

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y} \dots \dots \dots (2.54)$$

Tulangan A_r yang dibutuhkan untuk menahan gaya momen M_u , adalah :

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

$$K = \frac{M_u}{bd^2} \dots \dots \dots (2.55)$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \dots \dots \dots (2.56)$$

$$A_f = \rho b d \dots \dots \dots (2.55)$$

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

$$N_{uc} = \phi A_n \cdot f_y \dots \dots \dots (2.56)$$

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u \dots \dots \dots (2.57)$$

$$A_n = \frac{N_u}{f_y} \dots \dots \dots (2.58)$$

Tulangan utama adalah A_g , nilai terbesar dari :

$$A_g = A_f + A_n \dots \dots \dots (2.59)$$

$$A_g = \left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n \right) \dots \dots \dots (2.60)$$

$$A_{gmin} = \rho \frac{bd}{min} \dots \dots \dots (2.61)$$

Tulangan sengkang,

$$A_h = \frac{2Avf}{3} \dots \dots \dots (2.62)$$

a. Penentuan Elastromer

Untuk satu abutmen terdapat 5 balok induk, maka jumlah elastromer $n = 5$.

$$\text{Gaya vertikal 1 elastromer} = \frac{V_{total}}{n} = \frac{1378,142}{10} = 137,8142 \text{ kN}$$

Berdasarkan Tabel 2. 23 (b) Perencanaan Perletakan dan Hubungan Lantai BMS.

Ukuran denah 230 mm x 200 mm									
Tebal pelat baja 5		Tebal selimut sisi 6				Tebal selimut atas dan bawah 4			
Jumlah lapis karet dalam	Tinggi keseluruhan mm	Kekakuan tekan terhitung pada geser nol 10^3 kN/m	Kekakuan geser rata-rata 10^3 kN/m	Kekakuan perputaran terhitung kNm/rad	Kapasitas lendutan geser mm	Beban ternilai pada perputaran nol		Beban ternilai pada perputaran maksimum	
						pada geser maksimum kN	pada geser nol maksimum kN	pada geser maksimum kN	pada geser nol maksimum kN
Tebal karet dalam 6									
2	35	505	1.59	527	14.0	539	615	227	302
4	57	327	0.99	340	21.2	525	615	231	308
6	79	242	0.72	251	25.2	531	615	239	311
9	112	174	0.51	180	31.0	402	481	243	313
Tebal karet dalam 9									
1	27	206	1.40	97	11.9	221	312	123	167
2	41	125	0.92	59	16.5	219	312	120	161
4	69	70	0.54	33	22.0	171	204	120	156
6	97	48	0.38	23	27.6	116	145	116	145

Untuk satu abutmen terdapat 10 balok induk, maka jumlah elastromer $n = 10$

$$\text{Gaya vertikal 1 elastromer} = \frac{H_{total}}{n} = \frac{513,253}{10} = 51,325 \text{ kN}$$

Berdasarkan Tabel 2. 24 (a) Perencanaan Perletakan dan Hubungan Lantai (BMS Bridge Design Manual) Vol. 1.

Dengan nilai $V = 51,325 \text{ kN}$, maka didapat elastromer.

Ukuran denah 230 mm x 150 mm									
Tebal pelat baja 5		Tebal selimut sisi 6				Tebal selimut atas dan bawah 4			
Jumlah lapis karet dalam	Tinggi keseluruhan mm	Kekakuan tekan terhitung pada geser nol 10^3 kN/m	Kekakuan geser rata-rata 10^3 kN/m	Kekakuan perputaran terhitung kNm/rad	Kapasitas lendutan geser mm	Beban ternilai pada perputaran nol		Beban ternilai pada perputaran maksimum	
						pada geser maksimum kN	pada geser nol maksimum kN	pada geser maksimum kN	pada geser nol maksimum kN
Tebal karet dalam 6									
2	35	268	1.19	128	13.9	323	451	151	204
4	57	173	0.74	83	18.4	327	420	158	208
6	79	128	0.54	61	22.0	257	306	162	209
8	101	101	0.43	48	27.6	192	240	159	210
Tebal karet dalam 9									
1	27	206	1.40	97	11.9	221	312	123	167
2	41	125	0.92	59	16.5	219	312	120	161
4	69	70	0.54	33	22.0	171	204	120	156
6	97	48	0.38	23	27.6	116	145	116	145

2.12 Pelat Injak

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

a. 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 di dapat q_{total} .

b. Penulangan pelat injak

$$M_{Umax} = \frac{1}{8} \cdot q_{total} \cdot L^2 \dots \dots \dots (2.63)$$

$$A_s = \frac{1,0}{f_y} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2.64)$$

2.13 Dinding Sayap

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

a. Pembebanan dinding sayap

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

b. Penulangan dinding sayap

$$A_{Smin} = \frac{f_c'}{4f_y} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2.63)$$

$$A_{Smin} = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \dots \dots \dots (2.63)$$

2.14 Abutment

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

Kontrol stabilitas pembebanan :

a. Kontrol terhadap bahaya guling

$$F_{GL} = \frac{MT}{MGL} < 1,5 \dots \dots \dots (2.64)$$

b. Kontrol terhadap bahaya geser

$$F_{GS} = \frac{V}{M} < 1,5 \dots \dots \dots (2.65)$$

c. Kontrol terhadap kelongsoran daya dukung

$$F_{GL} = \frac{q_{ult}}{q_{ada}} < 2,0 \dots \dots \dots (2.66)$$

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

2.15 Pondasi

2.15.1 Pengertian pondasi tiang pancang

Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi pada suatu bangunan apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan serta bebannya, dan letaknya sangat dalam.

Pondasi tiang pancang ini berfungsi untuk memindahkan atau metranferkan beban-beban dari konstruksi diatasnya (*super structure*) ke lapisan tanah yang lebih dalam, tetapi apabila diperlukan untuk dapat menahan gaya-gaya horizontal maka tiang pancang akan dipancangkan miring (*batter pile*), (Ir. Sardjono HS, 1998).

2.15.2 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 penyidikan tanah.

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

Pada sepertiga (minimum 2,5 m) tiang yang dicor ditempat harus dipasang tulangan longitudinal 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 pengengkangan 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 ditempat.

2.15.3 Daya dukung tanah

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

Besarnya beban ini disebut beban longsor dan tegangan yang bekerja disebut sebagai daya dukung batas (*ultimate bearing capacity*) dari tanah pondasi tersebut. Pada kondisi ini, penurunan akan terus berlanjut meskipun beban tidak ditambah lagi.

Tanah akan meningkat kepadatannya dan kekuatan gesernya apabila mendapat tekanan. Bila beban yang bekerja pada tanah pondasi telah melampaui daya dukung batasnya, maka tegangan geser yang terjadi pun telah melampaui kekuatan geser tanah pondasi.

Akibatnya terjadi keruntuhan geser tanah pondasi tersebut dalam keadaan seperti ini, 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 ke samping ini dapat terjadi ke dua arah atau ke satu arah.

Jenis dan besar kecilnya ukuran pondasi sangat ditentukan oleh kekuatan / daya dukung tanah 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, misalnya, pondasi sumuran bahkan digunakan tiang pancang.

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

1. Peraturan bangunan setempat yang dikeluarkan oleh lembaga terkait.
2. Pengalaman tentang pembuatan pondasi yang sudah ada, atau keterangan yang berkaitan dengan pondasi disekitarnya.
3. Hasil pemeriksaan/penguji 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 ini :

Kuat tekan beton (f_c')

$$\text{Tegangan ijin beton (fc)} = 0,3 \times f_c \times 1000 \dots \dots \dots (2.67)$$

$$\text{Luas penampang tiang pancang (A)} = \frac{1}{4} \times D^2 \dots \dots \dots (2.68)$$

Panjang tiang pancang (L)

$$\text{Berat tiang pancang (W)} = A \times L \times Wc \dots \dots \dots (2.69)$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang pancang (Pijin)} = A \times f_c \times W \dots \dots \dots (2.70)$$

- b. Daya dukung pondasi berdasarkan nilai SPT

SPT (*Standart Penetration Test*) sering kali digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung dari 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 memasukkan tabung sample sedalam 305 mm dinyatakan sebagai nilai N.

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

Nilai SPT hasil pengujian (N)

Daya dukung tiang pancang :

$$\text{Pasir halus } (Q_{ult}) = 40 \times N \times L/B, \text{ dan } \dots\dots\dots(2.71)$$

$$(Q_{ult}) = 400 \times N' \dots\dots\dots(2.72)$$

$$\text{Pasir kasar } (Q_{ult}) = 40 \times N \times L/B, \text{ dan } \dots\dots\dots(2.73)$$

$$(Q_{ult}) = 300 \times N' \dots\dots\dots(2.74)$$

Daya dukung tiang bor :

$$\text{Pasir halus } (Q_{ult}) = 12 \times N \times L/B, \text{ dan } \dots\dots\dots(2.75)$$

$$(Q_{ult}) = 130 \times N' \dots\dots\dots(2.76)$$

$$\text{Luas penampang tiang pancang } (A) = \frac{1}{4} \times D^2 \dots\dots\dots(2.77)$$

$$\text{Angka Aman } (Sf) = 3$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang pancang } (P_{ijin}) = (A \times q_{ult}) / Sf \dots\dots\dots(2.78)$$

2.16 Rencana Kerja dan Syarat (RKS)

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

2.17 Estimasi Biaya dan Manajemen Proyek

2.17.1 Daftar harga satuan dan upah

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

2.17.2 Analisa satuan harga pekerjaan

Analisa satuan harga pekerjaan adalah perhitungan-perhitungan biaya yang berhubungan dengan pekerjaan-pekerjaan yang ada dalam satu proyek (asyanto,2008). Guna dari harga ini agar kita dapat mengetahui harga-harga satuan dari tiap-tiap pekerjaan yang ada.

2.17.3 Hitungan volume pekerjaan

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

2.17.4 Kuantitas pekerjaan

Perhitungan kuantitas pekerjaan merupakan hal yang sangat penting dalam suatu pembangunan konstruksi, guna untuk mengetahui berapa banyak bahan, tenaga kerja dan alat berat atau kendaraan yang dibutuhkan. Biasanya perhitungan kuantitas pekerjaan dibuat dalam 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 dilakukannya 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 satuan 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, pertambangan dan pekerjaan tanah dalam skala besar hampir tak dapat dielakkan. Bahkan alat-alat tersebut merupakan faktor dominan yang menentukan keberhasilan suatu pekerjaan, agar tepat waktu dan sesuai dengan yang diisyaratkan.

2.17.5 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya adalah suatu daftar yang memuat jenis pekerjaan, volume pekerjaan dan harga satuan pekerjaan. Pada rencana anggaran biaya ini menyajikan analisa-analisa untuk setiap item pekerjaan jembatan dan akan diketahui seluruh biaya konstruksi. Pada proyek jembatan ini pekerjaan dilakukan mulai dan persiapan dan pembersihan sampai akhir pekerjaan administrasi.

2.17.6 Manajemen Proyek

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

2.17.7 *Network Planning*

Network planning adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan (*variables*) yang digambarkan/divisualisasikan dalam diagram *network*.

Dengan demikian diketahui bagian – bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan, bila perlu dilembur (tambah biaya) pekerjaan mana yang menunggu selesainya pekerjaan yang lain, pekerjaan mana yang tidak perlu tergesa-gesa sehingga alat dan orang dapat digeser ke tempat lain demi efisiensi.

Macam – macam *network planning* :

- a. CMD : *Chart Method Diagram*
- b. NMT : *Network Management Technique*
- c. PEP : *Program Evaluation Procedure*
- d. CPA : *Critical Path Analysis*
- e. CPM : *Critical Path Method*
- f. PERT : *Program Evaluation and Review Technique*

Bahasa /simbol–simbol *Diagram Network*,

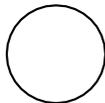
Pada perkembangannya yang terakhir dikenal 2 simbol :

- a. *Event on the Node*, peristiwa digambarkan dalam lingkaran.
- b. *Activity on the Node*, kegiatan digambarkan dalam lingkaran.

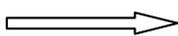
Penggunaan bahasa / simbol–simbol

1) 

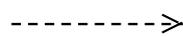
Arrow, bentuknya merupakan anak panah yang artinya aktivitas / kegiatan: adalah suatu pekerjaan atau tugas dimana penyelesaiannya membutuhkan “*duration*” (jangka waktu tertentu) dan “*resources*” (tenaga, equipment, material dan biaya) tertentu.

2) 

Node/event bentuknya merupakan lingkaran bulat yang artinya saat, peristiwa atau kejadian : adalah permulaan atau akhir dari satu atau lebih kegiatan– kegiatan.

3) 

Double arrow, anak panah sejajar, merupakan kegiatan di Lintasan Kritis (*Critical Path*).

4) 

Dummy bentuknya merupakan anak panah terputus-putus yang artinya kegiatan semu atau aktivitas semu : adalah bukan kegiatan/aktivitas tetapi dianggap kegiatan/aktivitas, hanya saja tidak membutuhkan *duration* dan *resources* tertentu.

Jalur kritis adalah jalur yang memiliki rangkaian komponen–komponen kegiatan, dengan total jumlah waktu terlama dan menunjukkan kurun waktu penyelesaian proyek tercepat. Jalur kritis terdiri dari rangkaian kegiatan kritis, dimulai dari kegiatan pertama sampai kegiatan terakhir. Pada jalur ini terletak kegiatan – kegiatan yang bila pelaksanaannya terlambat, akan menyebabkan keterlambatan penyelesaian keseluruhan proyek

Sebelum menggambarkan diagram Network perlu diingat:

- 1) Panjang, pendek maupun kemiringan anak panah sama sekali tidak mempunyai arti, dalam pengertian letak pekerjaan, banyaknya *duration* maupun *resources* yang dibutuhkan.
- 2) Aktivitas-aktivitas apa yang mendahului dan aktivitas-aktivitas apa yang mengikuti.
- 3) Aktivitas-aktivitas apa yang dapat bersama-sama.
- 4) Aktivitas-aktivitas itu dibatasi saat mulai dan saat selesai.
- 5) Waktu, biaya dan *resources* yang dibutuhkan dari aktivitas-aktivitas itu.
- 6) Kepala anak panah menjadi pedoman arah dari tiap kegiatan.
- 7) Besar kecilnya juga tidak mempunyai arti, dalam pengertian penting tidaknya suatu peristiwa.

Anak panah selalu menghubungkan dua buah *nodes*, arah dari anak panah menunjukkan urutan waktu.

2.17.8 Barchart

Dari NWP dapat dibuat suatu barchart, Apabila didalam NWP banyak diketahui kapan mulainya dan berakhirnya suatu pekerjaan maka dalam barchart akan diketahui pula jumlah pekerjaan atau tenaga kerja yang dipekerjakan dalam proyek minggu atau bulan. Jadi jumlah pekerjaan harus benar-benar disesuaikan dengan kebutuhan dan pemakaian selama pekerjaan proyek tersebut Proses penyusunan diagram batang dilakukan dengan langkah sebagai berikut (Wulfram I. Efrianto, 162:2005) :

- a. Daftar item kegiatan, yang berisi seluruh jenis kegiatan pekerjaan yang ada dalam rencana pelaksanaan pembangunan.
- b. Urutan pekerjaan, dari daftar item kegiatan tersebut di atas, disusun urutan pelaksanaan pekerjaan berdasarkan prioritas item kegiatan yang akan dilaksanakan lebih dahulu dan item kegiatan yang akan dilaksanakan kemudian, dan tidak mengesampingkan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan secara bersamaan.
- c. Waktu pelaksanaan pekerjaan, adalah jangka waktu pelaksanaan dari seluruh kegiatan yang dihitung dari permulaan kegiatan sampai

seluruh kegiatan berakhir. Waktu pelaksanaan pekerjaan diperoleh dari penjumlahan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap item kegiatan.

2.17.9 Kurva S

Kurva “S” erat kaitannya dengan Network Planning, Kurva “S” dibuat berdasarkan nilai dan pekerjaan berupa persentase yang didapat dan perbandingan dan biaya keseluruhan yang ada, kemudian dikalikan 100 %. Dengan penjadwalan waktu penyelesaian pekerjaan dan penentuan bobot dan tiap-tiap pekerjaan dapat dibuat kurva yang menyerupai huruf “S”.

Kegunaan Kurva “S” adalah untuk mengontrol pekerjaan yang dilaksanakan apakah sesuai dengan kalender kerja sehingga pekerjaan dapat dilaksanakan sesuai dengan target waktu dan dana yang disediakan. Dan kurva “S” dapat dilihat apakah pekerjaan yang dilaksanakan lebih cepat dengan yang direncanakan atau mengalami keterlambatan dalam waktu pelaksanaannya.