

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Umum

Struyk dan Veen, (1984) jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya berupa jurang, lembah, jalanan, rel, sungai, badan air, atau rintangan fisik lainnya.

Menurut Supriyadi (1997) jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Secara umum bentuk dan bagian – bagian suatu struktur jembatan dapat dibagi dalam 4 bagian utama, yaitu struktur atas, struktur bawah, bangunan pelengkap dan pengamanan jembatan, serta trotoar.

2.2 Bagian Konstruksi Jembatan

2.2.1 Struktur Atas (*Superstructures*)

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu-lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki, dll.

Struktur atas jembatan umumnya meliputi :

- 1) Trotoar :
 - a) Sandaran dan tiang sandaran,
 - b) Peninggian trotoar (*Kerb*),
 - c) Slab lantai trotoar.
- 2) Slab lantai kendaraan,
- 3) Gelagar (*Girder*),
- 4) Balok diafragma,
- 5) Ikatan pengaku (ikatan angin, ikatan melintang),
- 6) Tumpuan (*Bearing*)

2.2.2 Struktur Bawah (*Substructures*)

Struktur bawah jembatan berfungsi memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air dan hanyutan, tumbukan, gesekan pada tumpuan dsb. untuk kemudian disalurkan ke pondasi. Selanjutnya beban-beban tersebut disalurkan oleh fondasi ke tanah dasar.

Struktur bawah jembatan umumnya meliputi :

- 1) Pangkal jembatan (*Abutment*),
 - a) Dinding belakang (*Back wall*),
 - b) Dinding penahan (*Breast wall*),
 - c) Dinding sayap (*Wing wall*),
 - d) Oprit, plat injak (*Approach slab*)
 - e) Konsol pendek untuk *jacking* (*Corbel*),
 - f) Tumpuan (*Bearing*).
- 2) Pilar jembatan (*Pier*),
 - a) Kepala pilar (*Pier Head*),
 - b) Pilar (*Pier*), yg berupa dinding, kolom, atau portal,
 - c) Konsol pendek untuk *jacking* (*Corbel*),
 - d) Tumpuan (*Bearing*).
- 3) Pondasi
 - a) Pondasi telapak (*spread footing*)
 - b) Pondasi sumuran (*caisson*)
 - c) Pondasi tiang (*pile foundation*)

2.3 Acuan Standar Perencanaan Jembatan Yang Digunakan

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

- 1) SNI 1725-2016 tentang Standar Pembebanan untuk Jembatan.
- 2) SNI 03-3967-2008 tentang Spesifikasi Perletakan Elastomer Jembatan Tipe Polos dan Tipe Laminasi.
- 3) SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.

- 4) SNI 2847-2013 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung
- 5) RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.

2.4 Pembebanan Pada Jembatan

2.4.1 Aksi dan beban tetap

- 1) Berat sendiri

Berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ^s_{MS})		Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{MS})	
	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: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

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

- 2) Beban mati tambahan / ultimit

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Dalam hal tertentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan 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. Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan dapat dilihat pada tabel 2.3.

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 (cast iron)	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 MPa	22,0-25,0	2320
	35 < f'c < 105 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: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

Tabel 2.3 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan

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

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

2.4.2 Beban lalu lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan

kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur "D" yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

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

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

Lajur lalu lintas Rencana harus mempunyai lebar 2,75 m. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan bisa dilihat dalam Tabel dibawah ini. Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan. Jumlah lajur lalu lintas rencana dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Jalur Kendaraan (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: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725-2016)

1) Beban lajur "D"

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

Tabel 2.5 Faktor Beban Akibat Beban Lajur "D"

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

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

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

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

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left[0,5 + \frac{15}{L} \right] \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.2)$$

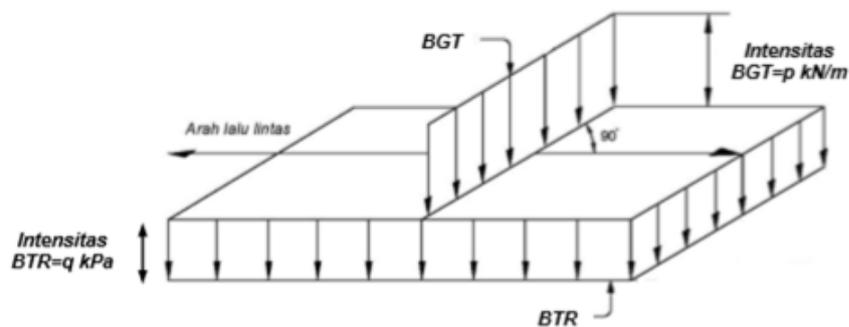
dengan pengertian :

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

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter)

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

Untuk beban lajur "D" dapat dilihat pada gambar 2.1



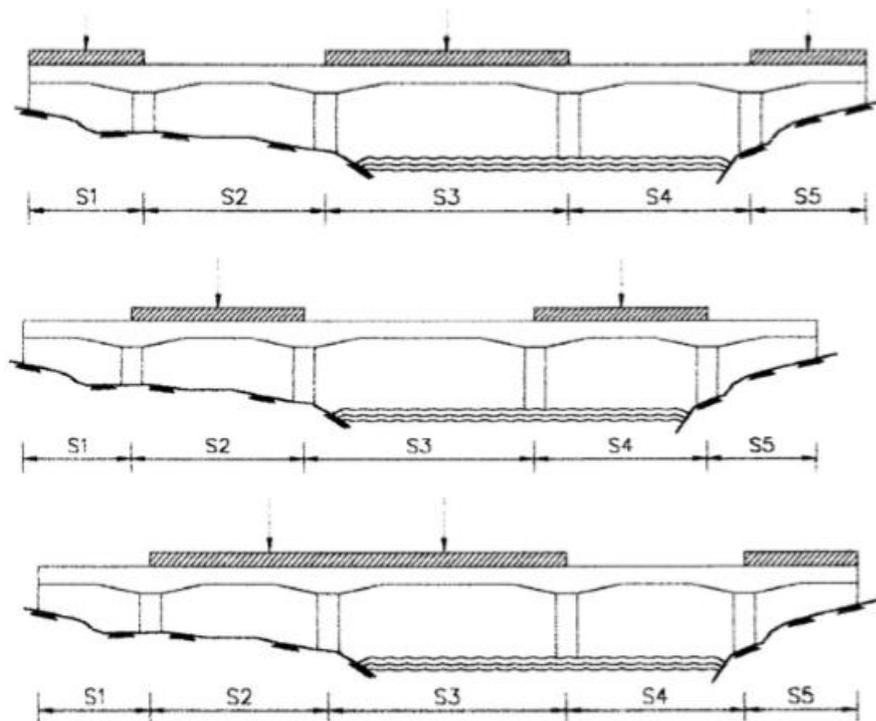
Gambar 2.1 Beban Lajur "D"

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

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. Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Alternatif penempatan beban "D" dalam arah memanjang
(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

a. Momen Lentur Positif – Bentang 1,3,5

Untuk momen lentur maksimum di bentang 1:

Tempatkan BGT di bentang 1 (bentang 5 serupa) ambil $L =$ pengaruh terburuk dari S_1 ; atau $S_1 + S_3$; atau $S_1 + S_3 + S_5$

Untuk momen lentur maksimum di bentang 3:

Tempatkan BGT di bentang 3 ambil

$L =$ Pengaruh terburuk dari S_3 : $S_1 + S_3$ atau $S_3 + S_5$

b. Momen Lentur Positif – Bentang 2,4

Untuk momen lentur maksimum di bentang 2:

Tempatkan BGT di bentang 2 ambil

$L =$ pengaruh terburuk dari S_2 ; atau $S_2 + S_4$

Untuk momen lentur maksimum di bentang 4:

Tempatkan BGT di bentang 4 ambil

$L =$ Pengaruh terburuk dari S_2 : atau $S_2 + S_4$

c. Momen Lentur Negatif Pada Pilar

Untuk momen lentur maksimum di pilar 2:

Tempatkan BGT di bentang 2 dan 3; ambil

$L =$ pengaruh terburuk dari $S_2 + S_3$ atau $S_2 + S_3 + S_5$

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.

2) Beban “T”

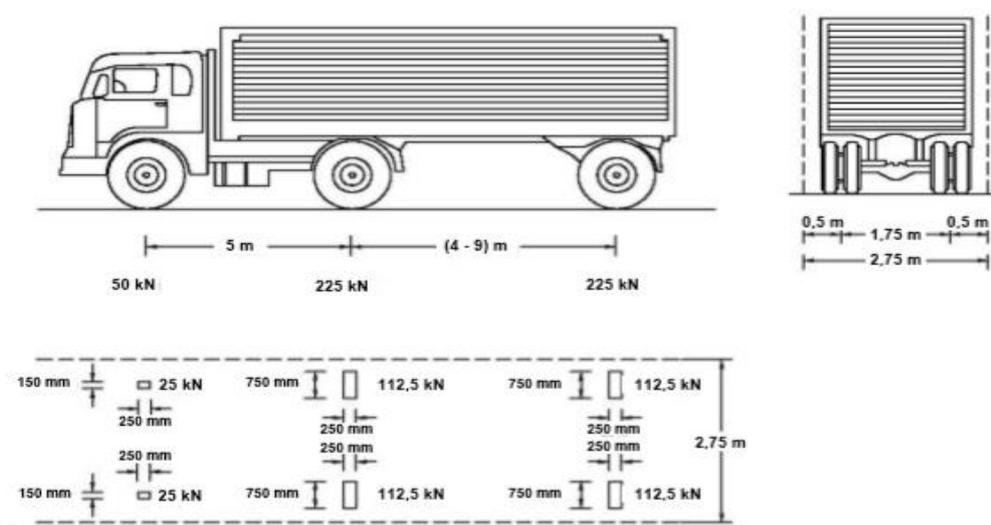
Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Faktor beban akibat beban *truck* T bisa dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Faktor Beban Akibat Beban *Truck* "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TT})	
		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: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725-2016)

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

**Gambar 2.4** Pembebanan Truk

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

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

3) Gaya rem

Bekerjanya gaya-gaya diarah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus ditinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25% dari berat gandar truk desain atau, 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR.

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan Pasal 8.2 (*SNI 1725-2016*) dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan pada Pasal 8.4.3 (*SNI 1725-2016*) berlaku untuk menghitung gaya rem.

4) Gaya sentrifugal

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

$$C = f \frac{v^2}{gRl} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

v = kecepatan rencana jalan raya (m/detik)

f = faktor dengan nilai 4/3 untuk kombinasi beban selain keadaan batas fatik dan 1,0 untuk keadaan batas fatik

g = percepatan gravitasi: 9.8 (m/detik²)

Rl = jari-jari kelengkungan lajur lalu lintas (m)

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

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.

5) Beban pejalan kaki

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

2.4.3 Aksi lingkungan

Aksi lingkungan memasukkan pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab penyebab alamiah lainnya.

Besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat. Perencana mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus memperhitungkannya dalam perencanaan.

1) Penurunan

Tabel 2.7 Faktor Beban Akibat Penurunan

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{ES})	
	Keadaan Batas Layan (γ^S_{ES})	Keadaan Batas Ultimit (γ^U_{ES})
Permanen	1,0	N/A

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

Jembatan harus direncanakan untuk bisa menahan terjadinya penurunan yang diperkirakan, termasuk perbedaan penurunan, sebagai aksi daya layan.

Pengaruh penurunan dapat dikurangi dengan adanya rangkai dan interaksi pada struktur tanah. Faktor beban untuk penurunan dapat digunakan sesuai dengan Tabel 2.9.

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

2) Gaya akibat deformasi

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

a) Temperatur merata

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini. Prosedur ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.10. Perbedaan antara temperatur minimum atau temperatur maksimum dengan temperatur nominal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 2.10 harus digunakan sebagai $T_{min\ design}$ dan $T_{max\ design}$.

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

$$\Delta_T = \alpha L (T_{max\ design} - T_{min\ design}) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

L adalah panjang komponen jembatan (mm)

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

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

Tabel 2.8 Temperatur Jembatan Rata-Rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton.	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja.	15°C	45°C

CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.

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

Tabel 2.9 Sifat Bahan Rata-Rata Akibat Pengaruh Temperatur

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

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

b) Pengaruh susut dan rangkak

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

Tabel 2.10 Faktor Beban Akibat Susut Dan Rangkak

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

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

c) Pengaruh Prategang

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

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

Tabel 2.11 Faktor Beban Akibat Prategang

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

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

3) Beban Angin

Tekanan angin yang ditentukan pada pasal ini diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (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.

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

$$TEW = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

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

C_w = koefisien seret.

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

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

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana,

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

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \frac{Z}{Z_0} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

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

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

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

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

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

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

V_{10} dapat diperoleh dari:

a) grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,

- b) survei angin pada lokasi jembatan, dan
- c) jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam

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

Tabel 2.12 Nilai V_0 Dan Z_0 Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

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

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

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 dalam Pasal 9.6.3. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{VDZ}{V_B} \right)^2 \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

P_B = tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.15 (MPa)

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

Tabel 2.13 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: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725-2016)

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

Kecuali jika ditentukan di dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka tekanan angin dasar P_B untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.16 dan harus dikerjakan pada titik berat dari area yang terkena beban angin. Arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah longitudinal. Arah angin untuk perencanaan harus yang menghasilkan pengaruh yang terburuk pada komponen jembatan yang ditinjau. Tekanan angin melintang dan memanjang harus diterapkan secara bersamaan dalam perencanaan.

Gaya melintang dan longitudinal yang harus dikerjakan secara langsung pada bangunan bawah harus dihitung berdasarkan tekanan tekanan angin dasar sebesar 0,0019 MPa. Untuk angin dengan sudut serang tidak tegak lurus terhadap bangunan bawah, gaya ini harus diuraikan menjadi komponen yang bekerja tegak lurus terhadap bidang tepi dan bidang muka dari bangunan bawah. Komponen-komponen ini bekerja tegak lurus terhadap pada masing-masing permukaan yang mengalami tekanan dan perencana harus menerapkan gaya-gaya tersebut bersamaan dengan beban angin yang bekerja pada struktur atas.

Tabel 2.14 Tekanan Angin Dasar (P_B) Untuk Berbagai Sudut Serang

Sudut serang	Rangka, kolom, dan pelengkung		Gelagar	
	Beban lateral	Beban longitudinal	Beban lateral	Beban longitudinal
Derajat	MPa	Mpa	Mpa	Mpa
0	0,0036	0,0000	0,0024	0,0000
15	0,0034	0,0006	0,0021	0,0003
30	0,0031	0,0013	0,0021	0,0006
45	0,0023	0,0020	0,0016	0,0008
60	0,0011	0,0024	0,0008	0,0009

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

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 2.15 Komponen Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan

Sudut	Komponen tegak lurus	Komponen sejajar
Derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,2	0,35
45	0,96	0,47
60	0,5	0,55

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

4) Beban Gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut :

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

Keterangan :

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = koefisien respons gempa elastis

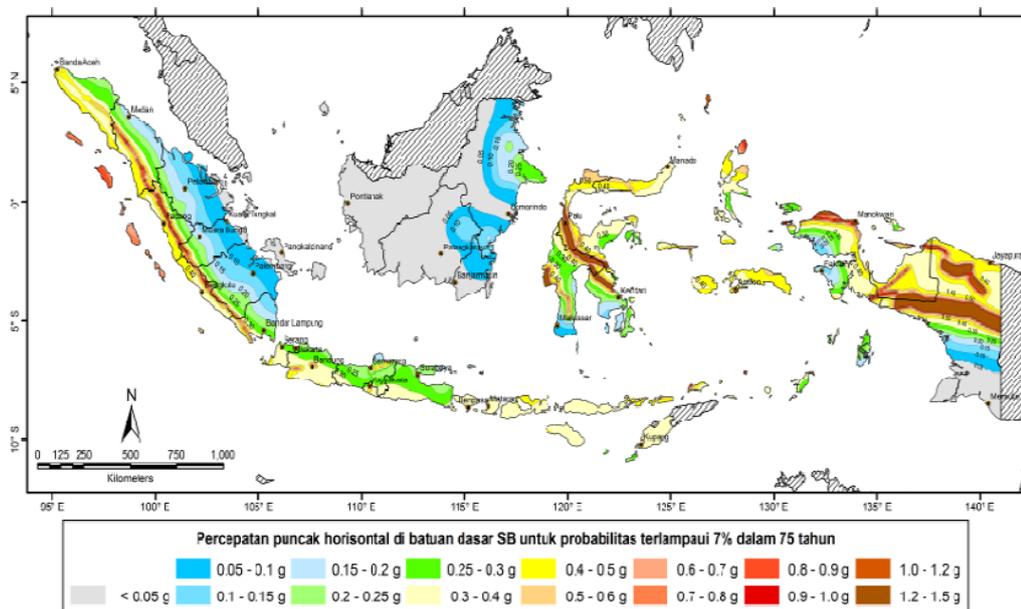
R_d = faktor modifikasi respons

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

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

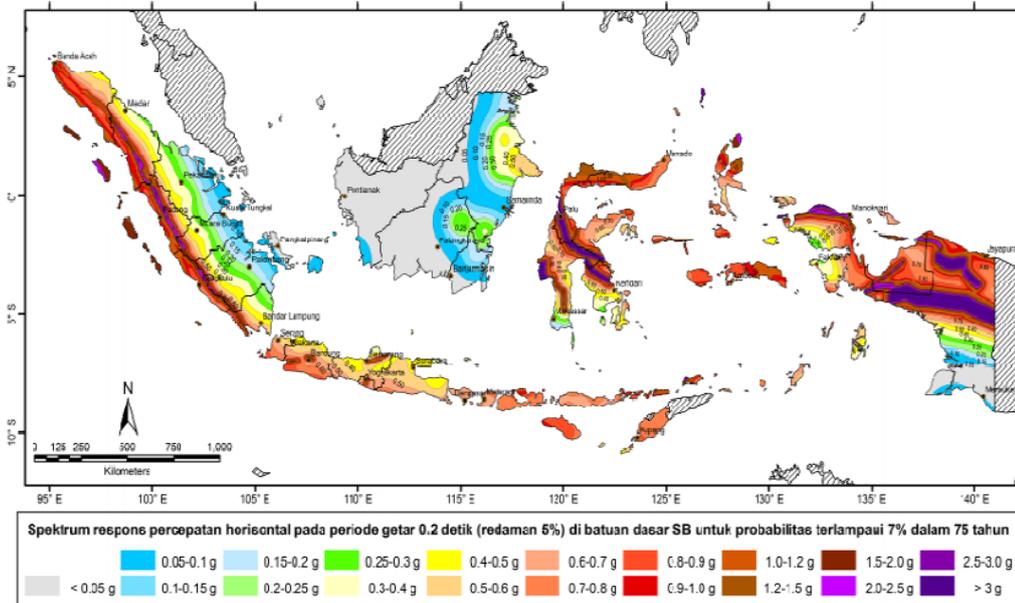
Koefisien respons elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman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

Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2016 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan.

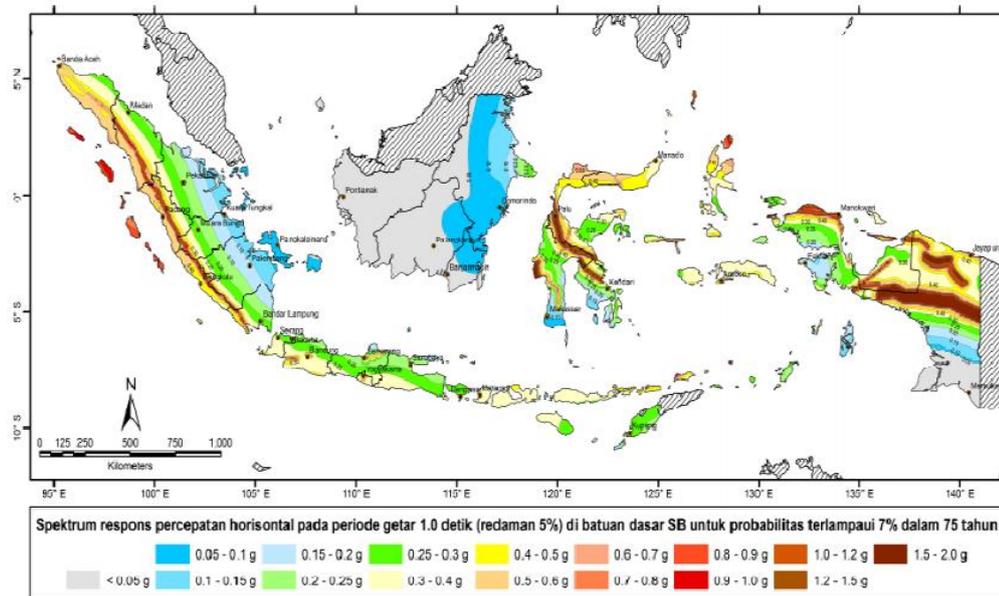


Gambar 2.5 Peta Percepatan Puncak Di Batuan Dasar (PGA) Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun

(Sumber: Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833-2016)



Gambar 2.6 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun
(Sumber: Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833-2016)



Gambar 3 - Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

Gambar 2.7 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun
(Sumber: Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833-2016)

Tabel 2.16 Faktor Amplifikasi Untuk PGA Dan 0,2 Detik (FPGA/Fa)

Kelas Situs	PGA \leq 0,1 Ss \leq 0,25	PGA = 0,2 Ss = 0,5	PGA = 0,3 Ss = 0,75	PGA = 0,4 Ss = 1,0	PGA > 0,5 Ss \geq 1,25
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber: Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833-2016)

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Keterangan:

PGA = percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Ss = parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek (T=0,2 detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

SS = lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

Tabel 2.17 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (Fv)

Kelas Situs	S1 \leq 0,1	S1 = 0,2	S1 = 0,3	S1 = 0,4	Ss \geq 0,5
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber: Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa SNI 2833-2016)

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Keterangan:

S1 = parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

SS = lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

2.4.4 Aksi lainnya

1) Gesekan pada perletakan

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

Tabel 2.18 Faktor Beban Akibat Gesekan Pada Perletakan

Jangka Waktu	Faktor beban		
	γ_{BF}^S	γ_{BF}^U	
		Biasa	Terkurangi
Transien	1,0	1,3	0,8
CATATAN (1) Gaya akibat gesekan pada perletakan terjadi selama adanya pergerakan pada bangunan atas, tetapi gaya sisa mungkin terjadi setelah pergerakan berhenti. Dalam hal ini gesekan pada perletakan harus memperhitungkan adanya pengaruh tetap yang cukup besar.			

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

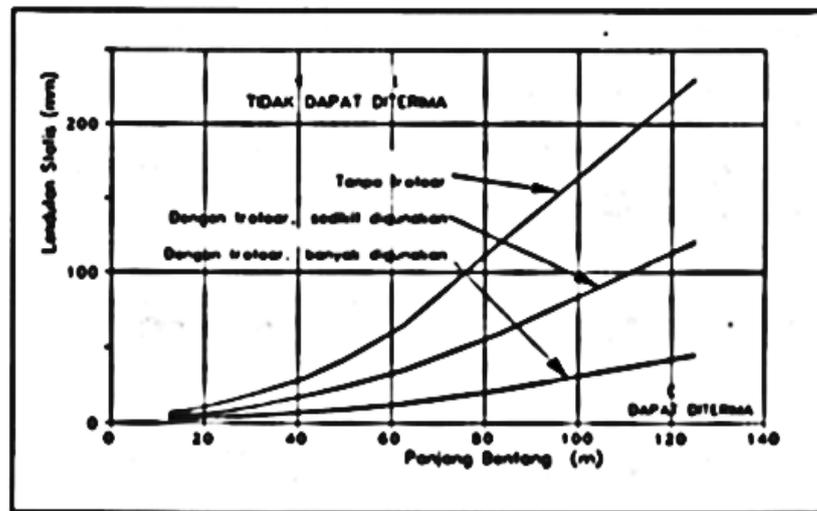
2) Pengaruh getaran

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

Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan "beban lajur D", dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada jembatan. Walaupun pasal ini mengizinkan terjadinya lendutan statis yang relatif besar akibat beban hidup, perencana harus menjamin bahwa syarat-syarat untuk kelelahan bahan dipenuhi.

Getaran pada bangunan atas untuk jembatan penyeberangan harus diselidiki pada keadaan batas daya layan.

Perilaku dinamis dari jembatan penyeberangan harus diselidiki secara khusus. Penyelidikan yang khusus ini tidak diperlukan untuk jembatan penyeberangan apabila memenuhi batasan-batasan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Lendutan akibat getaran jembatan
(Sumber: Standar Pembebanan Untuk Jembatan SNI 1725:2016)

- a) Perbandingan antara bentang dengan ketebalan dari bangunan atas kurang dari 30. Untuk jembatan menerus, bentang harus diukur sebagai jarak antara titik-titik lawan lendut untuk beban mati.
 - b) Frekuensi dasar yang dihitung untuk getaran pada bangunan atas jembatan yang terlentur harus lebih besar dari 3 hz. Apabila frekuensi yang lebih rendah tidak bisa dihindari, ketentuan dari butir c berikut bisa digunakan.
 - c) Apabila getaran jembatan terlentur mempunyai frekuensi dasar yang dihitung kurang dari 3 hz, lendutan statis maksimum jembatan dengan beban 1,0 kn harus kurang dari 2 mm.
- 3) **Beban Pelaksanaan**
- Beban pelaksanaan terdiri atas:
- a) beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri dan;
 - b) aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

2.4.5 Kombinasi beban

Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan penurunan fondasi juga harus memperhitungkan kondisi bila penurunan tidak terjadi. 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 2.19 Kombinasi Beban Dan Faktor Beban

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

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

2.5 Peraturan Beton Jembatan

2.5.1 Syarat umum perencanaan struktur beton

Umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun. Namun untuk jembatan penting dan/atau berbentang panjang, atau yang bersifat khusus, disyaratkan umur rencana 100 tahun.

1) Beton

Bila tidak disebutkan lain dalam spesifikasi teknik, kuat tekan harus diartikan sebagai kuat tekan beton pada umur 28 hari. Dalam segala hal, beton dengan kuat tekan (benda uji silinder) yang kurang dari 20 MPa tidak dibenarkan untuk digunakan dalam pekerjaan struktur beton untuk jembatan, kecuali untuk pembetonan yang tidak dituntut persyaratan kekuatan. Dalam hal

komponen struktur beton prategang, sehubungan dengan pengaruh gaya prategang pada tegangan dan regangan beton, baik dalam jangka waktu pendek maupun jangka panjang, maka kuat tekan beton disyaratkan untuk tidak lebih rendah dari 30 MPa.

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

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

Kuat tarik lentur beton, f_{cf} , bisa diambil sebesar :

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

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

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

2) Tulangan baja non-prategang

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

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

- a) Tulangan dengan $f_y = 300$ MPa, tidak boleh diambil melebihi 140 Mpa.
- b) Tulangan dengan $f_y = 400$ MPa, atau lebih, dan anyaman kawat las (polos atau ulir), tidak boleh diambil melebihi 170 MPa.

c) 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 :

a) Diambil sama dengan 200.000 MPa.

b) Ditentukan dari hasil pengujian.

3) Tulangan baja prategang

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

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

a) untuk kawat baja prategang

$$0,75 f_{pu} \dots \dots \dots (2.9)$$

b) untuk semua kelas *strand* dan tendon baja bulat

$$0,85 f_{pu} \dots \dots \dots (2.10)$$

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

a) Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar : $0,70 f_{pu} \dots \dots \dots (2.11)$

b) dan untuk kondisi layan, sebesar : $0,60 f_{pu} \dots \dots \dots (2.12)$

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

a) Akibat gaya penjangkaran tendon, sebesar $0,94 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,85 f_{pu}$ atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabrikator pembuat tendon prategang atau jangkar.

b) Sesaat setelah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar $0,82 f_{py}$, tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$.

Modulus elastisitas baja prategang, E_p , bisa diambil sebesar:

a) untuk kawat tegang-lepas :

$$200 \times 103 \text{ Mpa} \dots \dots \dots (2.13)$$

b) untuk *strand* tegang-lepas

$$195 \times 103 \text{ Mpa} \dots \dots \dots (2.14)$$

c) untuk baja ditarik dingin dengan kuat tarik tinggi

$$170 \times 103 \text{ MPa} \dots \dots \dots (2.15)$$

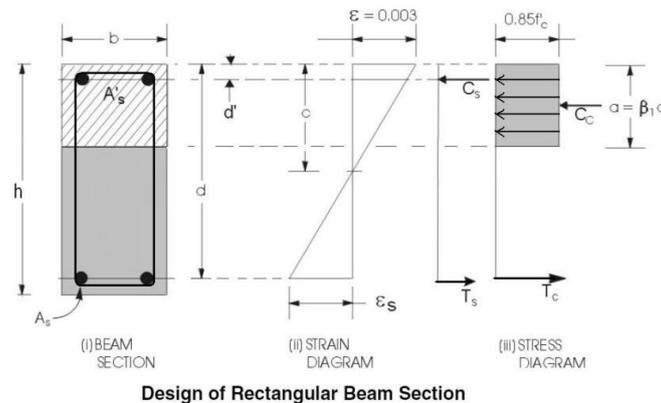
2.5.2 Perencanaan kekuatan struktur beton bertulang

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

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

Walaupun demikian, hubungan distribusi tegangan tekan beton dan regangan dapat dianggap dipenuhi oleh distribusi tegangan beton persegi ekuivalen, yang diasumsikan bahwa regangan beton $= 0,85 f_c'$ terdistribusi merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi tertekan terluar dari penampang dan suatu garis yang sejajar dengan sumbu netral sejarak $a = \beta_1 c$ dari tepi tertekan terluar tersebut.

Jarak c dari tepi dengan regangan tekan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus sumbu tersebut. Regangan dan tegangan pada penampang beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.9 Regangan dan Tegangan Pada Penampang Beton Bertulang

Faktor β_1 harus diambil sebesar:

$$\beta_1 = 0,85 \text{ untuk } f'_c < 30 \text{ MPa (5.1-1)} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$\beta_1 = 0,85 - 0,008 (f'_c - 30) \text{ untuk } f'_c > 30 \text{ MPa (5.1-2)} \dots \dots \dots (2.17)$$

tetapi β_1 pada persamaan 5.1-2 tidak boleh diambil kurang dari 0,65.

Jarak tulangan harus cukup memadai untuk penempatan penggetar dan memungkinkan ukuran terbesar dari agregat kasar dapat bergerak saat digetarkan.

Jarak bersih minimum antara tulangan sejajar, seikat tulangan dan sejenisnya tidak boleh kurang dari:

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

Jarak bersih antara tulangan yang sejajar dalam lapisan tidak boleh kurang dari 1,5 kali diameter tulangan atau 1,5 kali diameter seikat tulangan.

Tulangan geser dapat terdiri dari sengkang segi empat yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, jaring kawat baja las dengan kawat-kawat yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur.

Tulangan bengkok keatas tidak diizinkan karena kesulitan dalam pengangkutan dan kemungkinan terjadi *splitting* beton pada bidang yang dibengkokan.

Batas jarak antar tulangan geser yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur tidak boleh melebihi $d/2$ atau 600 mm.

2.6 Gelagar Beton Prategang

2.6.1 Beton Prategang

Beton 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 (Edward G. Nawy, 2001)

Beton prategang merupakan suatu jenis beton dimana tulangan bajanya ditarik/ditegangkan terhadap betonnya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Karena beton cukup kuat dan daktil terhadap tekanan dan sebaliknya lemah serta rapuh terhadap tarikan maka kemampuan menahan beban dapat ditingkatkan dengan pemberian pratekanan (Collins & Mitchell, 1991).

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

2.6.2 Konsep Dasar Prategang

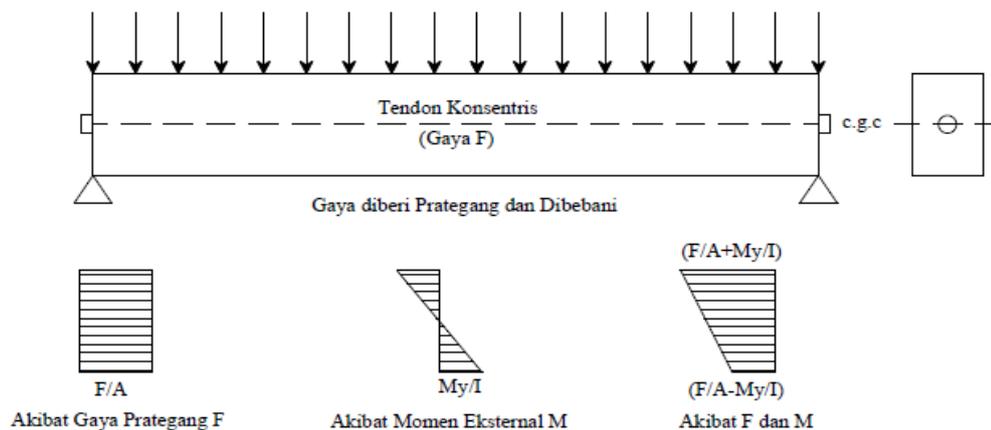
Terdapat tiga konsep yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang. Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut:

- 1) 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 atau (pratekan) pada bahan tersebut.

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

Distribusi tegangan sepanjang penampang beton prategang konsentris dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Distribusi Tegangan Sepanjang Penampang Beton Prategang Konsentris

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

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

2) Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton.

Pada konsep ini beton prategang dianggap sebagai kombinasi dari baja mutu tinggi dan beton mutu tinggi, seperti halnya beton bertulang, dimana tulangan

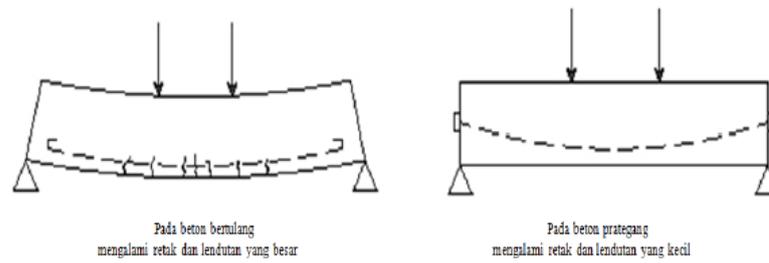
baja menahan tarik dan beton menahan tekan. Dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal. Pada beton prategang, baja mutu tinggi dipakai dengan cara menarik sebelum kekuatannya dimanfaatkan sepenuhnya. Jika beton mutu tinggi ditanamkan pada beton, seperti pada beton biasa, beton disekitarnya akan mengalami retak sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Untuk momen penahan internal pada balok beton prategang dan bertulang dapat dilihat pada gambar 2.11.

Gambar 2.11 Momen penahan internal pada balok beton prategang dan bertulang

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

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

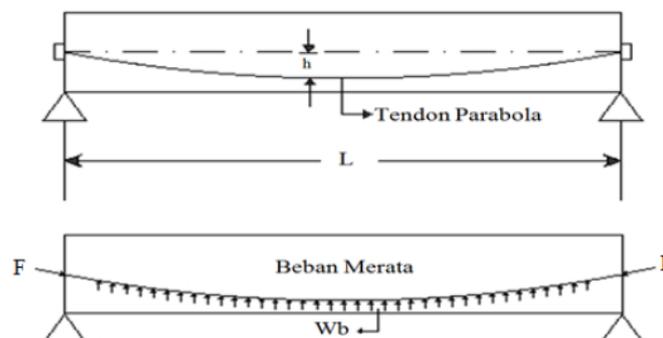
Dengan menarik dan menjangkarkan baja ke tendon, dihasilkan tegangan dan regangan yang diinginkan pada kedua bahan, tegangan dan regangan pada beton tekan, dan regangan tarik pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja hanya ditanamkan di dalam beton seperti pada beton bertulang biasa. Balok beton menggunakan baja mutu tinggi dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Balok Beton Menggunakan Baja Mutu Tinggi
(Sumber: Desain struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

3) Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban.

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang. Pada keseluruhan desain struktur beton prategang, pengaruh dari prategang dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti plat, balok, dan gelagar tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisa struktur yang rumit. Penerapan dari konsep ini menganggap diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada beton sepanjang bentang. Balok prategang dengan tendon parabola dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Balok Prategang Dengan Tendon Parabola
(Sumber: Desain struktur Beton prategang, T Y Lin & Ned H Burns)

2.6.3 Penggunaan Baja Prategang

Karena tingginya kehilangan rangkai dan susut pada beton, maka prategang efektif dapat dicapai dengan menggunakan baja dengan mutu yang sangat tinggi hingga 270.000 psi atau lebih (1862 Mpa atau lebih tinggi lagi). Baja bermutu tinggi seperti itu dapat mengimbangi kehilangan di beton sekitarnya dan mempunyai taraf tegangan sisa yang dapat menahan gaya prategang yang dibutuhkan. Besarnya kehilangan prategang normal dapat diperkirakan di dalam selang 35.000 sampai 60.000 psi (241 sampai 413 Mpa). Karena itu, prategang awal harus sangat tinggi, sekitar 180.000 sampai 220.000 psi (1241 sampai 1571 Mpa). Dari besarnya kehilangan prategang yang disebutkan diatas, dapat disimpulkan bahwa baja normal dengan kuat leleh $f_y = 60.000$ psi (414 Mpa) hanya akan mempunyai sedikit tegangan prategang sesudah semua kehilangan prategang terjadi yang memperjelas kebutuhan penggunaan baja mutu tinggi untuk komponen struktur beton prategang.

Baja prategang dapat berbentuk kawat-kawat tunggal, *strands* yang terdiri atas beberapa kawat yang dipuntir membentuk elemen tunggal dan batang-batang bermutu tinggi. Tiga jenis yang umum digunakan di Amerika Serikat adalah:

1. Kawat-kawat relaksasi rendah atau *stress relieved* tak berlapisan.
2. *Strands* relaksasi rendah atau *stress relieved strands* tak berlapisan.
3. Batang-batang baja mutu tinggi tak berlapisan.

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

Pelepasan tegangan ini dilakukan dengan memanaskan batang tersebut hingga temperatur yang layak, biasanya di bawah 500°C. Meskipun proses pelepasan tegangan untuk batang dan *strand* pada dasarnya sama, kuat tarik batang prategang harus sedikitnya 150.000 psi (1034 MPa), dengan kuat leleh minimum sebesar 85 persen dari kuat ultimit untuk batang polos dan 80 persen untuk batang ulir. Untuk memaksimalkan luas baja *strand* 7 kawat untuk suatu diameter

nominal, kawat standar dapat dibentuk menjadi *strand* yang dipadatkan seperti terlihat dalam gambar 2.8 (b) ini berbeda dengan *strand* 7 kawat standar yang terlihat dalam gambar 2.8 (a).



(a) Penampang strand standar (b) Penampang strand yang dipadatkan

Gambar 2.14 Jenis-jenis Baja yang Dipakai Untuk Beton Prategang
(Sumber: *Beton Prategang*, Edward G.Nawi)

2.6.4 Sistem Prategang dan Pengangkuran

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

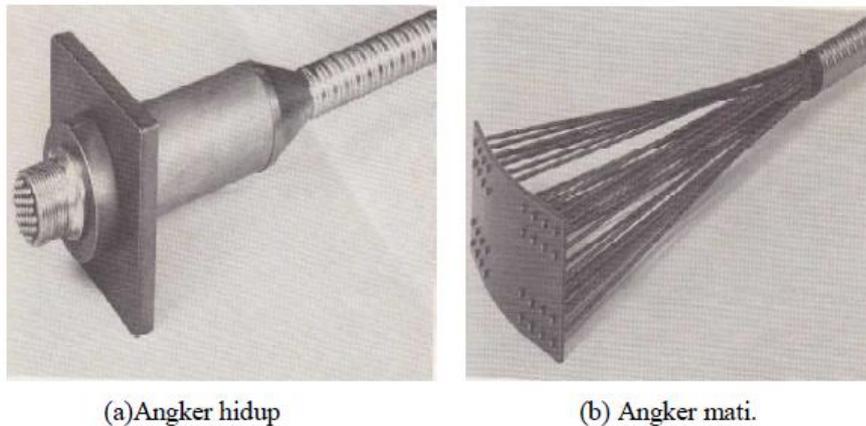
Berbagai metode dengan nama pratekanan (*pre-compression*) diberikan pada beton dapat dilakukan sebagai berikut:

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

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

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

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, untuk mengetahui jenis pengangkeran dapat dilihat pada gambar 2.14.



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

- 1) Sistem Pratarik (*Pre-tensioning*)

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

Metode ini digunakan untuk beton-beton pra-cetak dan biasanya digunakan untuk konstruksi-konstruksi kecil. Beton-beton pra-cetak biasanya ditemukan

pada konstruksi-konstruksi bangunankolom-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 pra-tarik bersandar pada rekatan yang timbul antara baja dan tendon sekelilingnya. hal itu penting bahwa setiap tendon harus merekat sepanjang seluruh badan. Setelah beton mengeras, tendon dilepaskan dan alas prapenarikan dan gaya prategang ditransfer ke beton.

2) Sistem Pascatarik (*Post-tensioning*)

Kebanyakan pelaksanaan *pre-stress* di lapangan 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 dimasukan 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 angkur hidup dan kabel tendon ditarik hingga mencapai tegangan atau gayayang direncanakan. Untuk mencegah kabel tendon kehilangan tegangan akibat slip pada ujung angkur terdapat baji. Gaya tarik akan berpindah pada beton sebagai gaya tekan internal akibat reaksi angkur.

3) Prategang Thermo-Listrik

Metode prategang dengan tendon yang dipanaskan, yang dicapai dengan melewati aliran listrik pada kawat yang bermutu tinggi, umumnya disebut sebagai "Prategang Thermo-Listrik". Prosesnya terdiri atas pemanasan batang dengan arus listrik sampai *temperature* 300-400 c selama 3 -5 menit.

4) Prategang Secara Kimia

Reaksi kimia dalam semen ekspansif dapat menegangkan baja yang ditanam yang kemudian menekan beton. Hal ini sering disebut dengan penegangan sendiri (*self-stressing*) atau disebut juga prategang kimiawi.

Bila semen ini digunakan untuk membuat beton dengan baja yang tertanam. Maka baja akan mengalami pertambahan panjang sejalan dengan pengembangan beton tersebut. Oleh karena pengembangan beton dikekang oleh kawat baja bermutu tinggi, maka timbul tegangan tekan pada beton dan kawat baja mengalami tegangan tarik.

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

2.6.5 Analisis Prategang

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

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

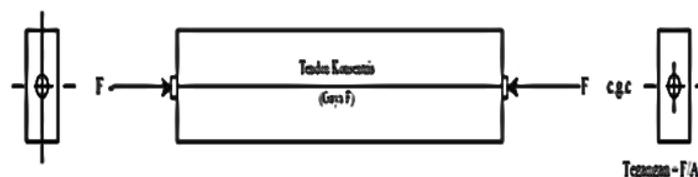
- 1) Beton prategang adalah suatu material yang elastis.
- 2) Didalam batas-batas tegangan kerja, baik beton maupun baja berperilaku elastis. tidak dapat menahan rangkakan yang kecil yang terjadi pada kedua material tersebut pada pembebanan terus-menerus.
- 3) Suatu potongan datar sebelum melentur dianggap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

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

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

- 1) Tendon Konsentris

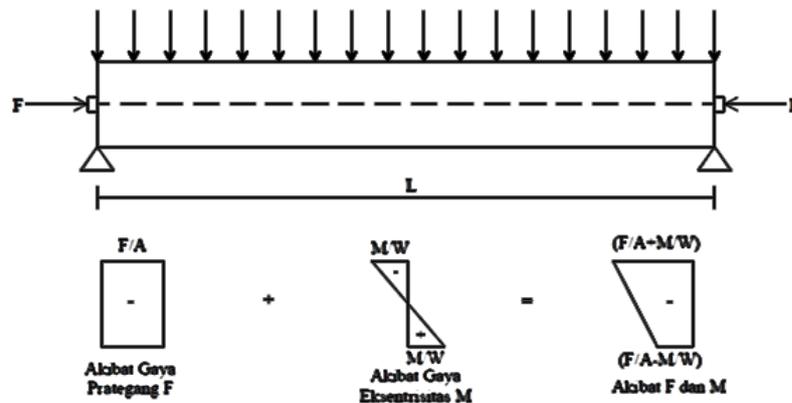
Balok beton prategang dengan satu tendon konsentris yang ditunjukkan dalam gambar 2.15.



Gambar 2.16 Prategang Konsentris
(Sumber: *Beton Pratekan*, N Krishna Raju)

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

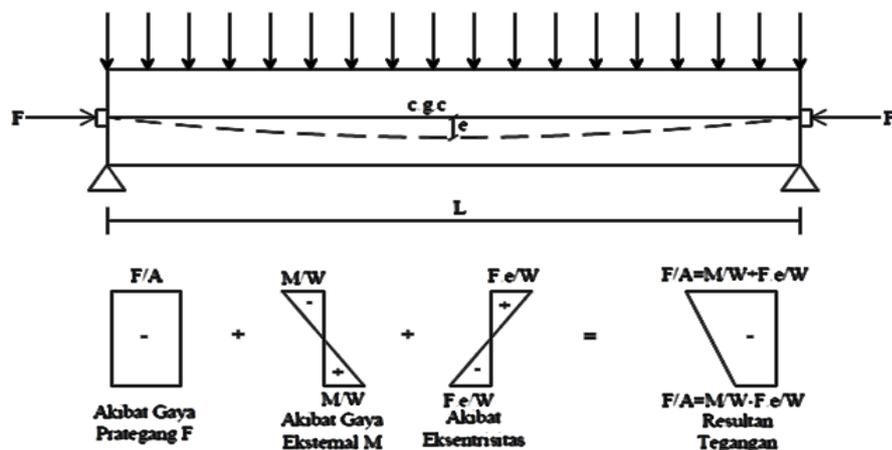
lebih efektif dengan memakai tendon. Distribusi tegangan tendon konsentris dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.17 Distribusi Tegangan Tendon Konsentris
(Sumber: Beton Pratekan. N Krishna Raju)

2) Tendon *Exsentr*is

Sebuah balok yang mengalami suatu gaya prategang eksentris sebesar P yang ditempatkan dengan eksentrisitas e . Tendon ditempatkan secara eksentris terhadap titik berat penampang beton. Eksentrisitas tendon akan menambah kemampuan untuk memikul beban eksternal yang dapat dilihat pada gambar 2.17.

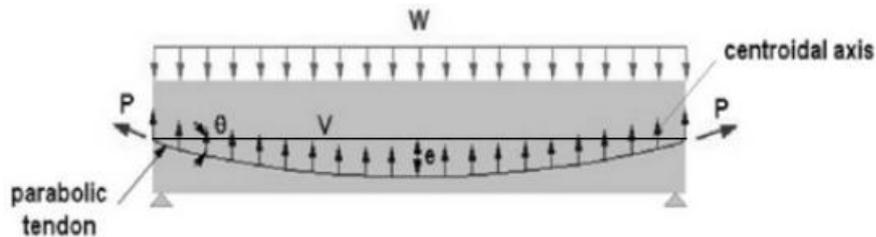


Gambar 2.18 Distribusi Tegangan Tendon Eksentris
(Sumber: Beton Pratekan. N Krishna Raju)

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

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

Untuk gaya-gaya penyeimbang beban pada tendon parabola yang dapat dilihat pada gambar 2.18.

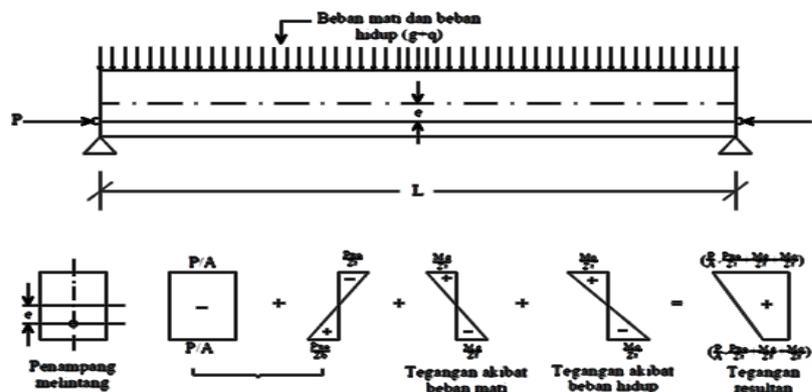


Gambar 2.19 Gaya-gaya Penyeimbang Beban Pada Tendon Parabola
(Sumber: Beton Pratekan, N Krishna Raju)

3) Tegangan Resultan Pada Suatu Penampang

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

Tegangan resultan pada suatu penampang beton diperoleh dengan superposisi pengaruh prategang dan tegangan-tegangan lentur yang ditimbulkan oleh beban-beban tersebut. Jika M_q dan M_g merupakan momen akibat beban hidup dan beban mati pada penampang di tengah bentang yang dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.20 Distribusi Tegangan Balok Prategang dengan Tendon Eksentris
Beban mati dan Beban Hidup
(Sumber: Beton Pratekan, N. Krishna Raju)

2.6.6 Kehilangan Prategang

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

Kehilangan pada saat transfer berupa:

- 1) Relaksasi kabel tendon
- 2) Dudukan angkur pada saat penyaluran gaya (slip)
- 3) Friksi akibat kelengkungan tendon pada post-tensioning

Kehilangan pada saat *service* berupa :

- 1) Perpendekan elastis beton
- 2) Rangkak beton
- 3) Susut beton

2.6.7 Desain Penampang Beton Prategang Terhadap Lentur

Pada waktu pendesainan penampang beton prategang pada dasarnya dilakukan dengan cara coba-coba (*trial & error*). Ada kerangka struktur yang harus dipilih sebagai permulaan dan mungkin dimodifikasi pada waktu proses desain berlangsung. Ada berat sendiri komponen struktur yang mempengaruhi desain, tetapi harus diasumsikan sebelum melakukan perhitungan momen. Ada bentuk perkiraan penampang beton yang ditentukan oleh pertimbangan-pertimbangan praktis dan teoritis yang harus diasumsikan untuk percobaan. Karena adanya variabel-variabel ini, disimpulkan bahwa prosedur yang terbaik adalah suatu caracoba-coba yang berpedoman pada hubungan-hubungan yang diketahui sehingga memungkinkan diperolehnya basil akhir yang lebih cepat.

2.8.8 Modulus Penampang Minimum

Untuk mendesain dan memilih penampang, penentuan modulus penampang minimum yang dibutuhkan. S_b dan S_t harus dilakukan terlebih dahulu. Jika,
 f_{ci} = Tegangan tekan izin maksimum di beton segera sesudah transfer dan sebelum terjadi kehilangan.

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

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

1) Pada Saat Transfer

$$\text{Serat atas} \quad f_t = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e c_t}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^t} \leq f_{ti} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e c_{tb}}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^b} \leq f_{ci} \dots\dots\dots (2.19)$$

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

2) Tegangan Efektif Sesudah Kehilangan

$$\text{Serat atas} \quad f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e c_t}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^t} \leq f_t \dots\dots\dots (2.20)$$

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e c_{tb}}{r^2}\right) - \frac{M_D}{S^b} \leq f_c \dots\dots\dots (2.21)$$

3) Tegangan Akhir pada Kondisi Beban Kerja

$$\text{Serat atas} \quad f_t = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e c_t}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S^t} \leq f_c \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\text{Serat bawah} \quad f_b = -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e c_{tb}}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S^b} \leq f_t \dots\dots\dots (2.23)$$

dimana:

- M_T = momen total
 M_D = momen akibat berat sendiri
 M_{SD} = momen akibat beban mati tambahan seperti lantai
 M_L = momen akibat beban hidup termasuk beban kejut dan gempa
 P_i = prategang awal
 P_e = prategang efektif sesudah kehilangan menunjukkan serat atas dan b menunjukkan serat bawah
 e = eksentrisitas tendon dari pusat berat penampang beton.cgc
 C_t & C_b = jarak dari pusat berat penampang (garis cgc) ke serat atas dan serat bawah
 r^2 = kuadrat dan jari-jari girasi
 S_t & S_b = modulus penampang atas & modulus penampang bawah beton

2.8.9 Balok dengan eksentrisitas tendon bervariasi

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

$$P_e = \gamma P_i \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana γ adalah rasio prategang residual, maka kehilangan prategang adalah

$$P_i - P_e = (1 - \gamma) P_i \dots\dots\dots(2.25)$$

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

$$\Delta f'_t = (1 - \gamma) \left[f_{ti} + \frac{M_D}{S_t} \right] \dots\dots\dots(2.26)$$

$$\Delta f'_b = (1 - \gamma) \left[-f_{ci} + \frac{M_D}{S_b} \right] \dots\dots\dots(2.27)$$

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

$$f'_n = f_{ti} - \Delta f'_t - f_c \dots\dots\dots(2.28)$$

atau

$$f'n = \gamma f_{ti} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S^t} - f_c \dots\dots\dots(2.29)$$

Tegangan netto di serat bawah adalah

$$f'_{bn} = f_t - f_{ci} - \Delta f_b \dots\dots\dots(2.30)$$

atau

$$f_{bn} = f_t - \gamma f_{ci} - (1 - \gamma) \frac{M_D}{S_b} \dots\dots\dots(2.31)$$

Penampang yang telah dipilih harus mempunyai modulus penampang

$$S^t \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} + M_L}{\gamma f_{ti} - f_c} \dots\dots\dots(2.32)$$

dan

$$S_b \geq \frac{(1-\gamma)M_D + M_{SD} + M_L}{\gamma f_t - f_{ci}} \dots\dots\dots(2.33)$$

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

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

Dan ditumpuan adalah

$$e_c = (f_{ti} - \bar{f}_{ci}) \frac{S^t}{P_i} \dots\dots\dots(2.35)$$

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

$$P_i = \bar{f}_{ci} A_c \dots\dots\dots(2.36)$$

Jadi,

$$\bar{f}_{ci} = f_{ti} - \frac{c_t}{h} (f_{ti} - f_{ci}) \dots\dots\dots(2.37)$$

2.8.10 Selubung untuk meletakkan tendon

Tegangan tendon di serat beton ekstrim pada kondisi beban kerja tidak dapat melebihi nilai izin maksimumnya berdasarkan standar-standar seperti ACI, PCI, AASHTO, atau CEB — FIB. Dengan demikian, zona yang membatasi di

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

$$f' = 0 = \frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{ec_t}{r^2} \right) \dots\dots\dots (2.38)$$

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

$$k_b = \frac{r^2}{c_t} \dots\dots\dots (2.39)$$

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

$$k_t = \frac{r^2}{c_b} \dots\dots\dots (2.40)$$

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

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

2.8.11 Selubung eksentrisitas yang membatasi

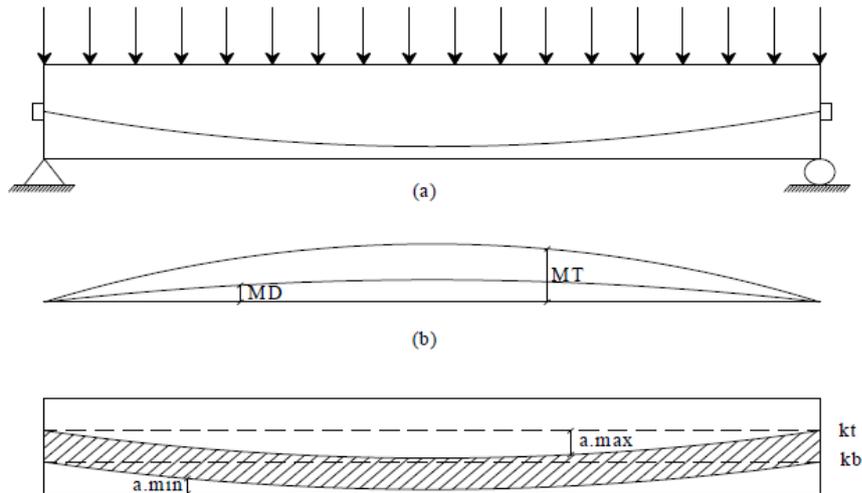
Eksentrisitas tendon yang didesain di sepanjang bentang diharapkan sedemikian hingga tarik yang terjadi di serat ekstrim balok hanya terbatas atau tidak ada sama sekali di penampang yang menentukan dalam desain. Jika tarik tidak dikehendaki sama sekali di sepanjang bentang balok dengan tendon berbentuk *draped*. maka eksentrisitasnya harus ditentukan di penampang-penampang berikut disepanjang bentang.

Jika M_D adalah momen akibat beban mati dan M_T adalah momen total akibat semua beban transversal. maka lengan dan kopel antara garis tekan pusat (garis C) dan pusat dari garis tendon prategang (garis cgs) akibat M_D dan M_T masing-masing adalah a_{\min} dan a_{\max} , seperti terlihat pada gambar dibawah ini.

Selubung egs bawah, lengan minimum dari kopel tendon adalah

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

Untuk menentukan selubung cgs dapat dilihat pada gambar 2.21.



Gambar 2.21 Penentuan Selubung cgs (a) Lokasi satu tendon (b) Gambar Bidang momen. (c) Batas-batas selubung cgs

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

2.7 Perhitungan Struktur Bangunan Atas

Adapun perhitungan struktur bangunan atas jembatan terdiri dai perhitungan lantai kendaraan, tiang sandaran dan pipa sandaran, trotoar, balok diafragma, dan perhitungan girder prategang.

2.7.1 Perhitungan lantai kendaraan

Lantai kendaraan adalah bagian tengah dari plat jembatan yang berfungsi sebagai perlintasan kendaraan. Lebar jalur kendaraan dibuat cukup untuk persimpangan dua buah kendaraan yang lebih besar sehingga kendaraan yang besar dapat melaluinya dengan leluasa.

Perhitungan beban yang terjadi pada lantai kendaraan ialah beban mati dan beban hidup. Beban mati terdiri dari berat sendiri plat, berat aspal dan berat air hujan, sedangkan beban hidup terdiri dari beban kendaraan.

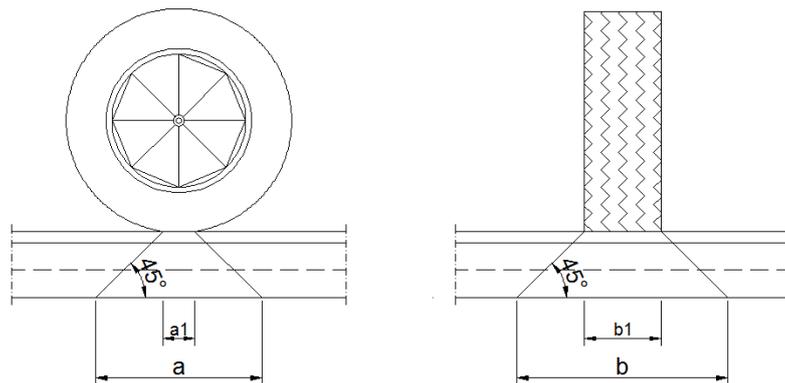
a. Beban sendiri = tebal beton x γ beton x koef. beton.....(2.41)

b. Beban air hujan = tebal air x γ air x koef. air(2.42)

c. Beban aspal = tebal aspal x γ aspal x koef. aspal(2.43)

Dari pembebanan diatas diperoleh nilai $q_{Dult} = kN/m$

Dalam perhitungan plat lantai kendaraan, plat lantai kendaraan dianggap sebagai plat satu arah. Beban hidup pada lantai kendaraan terdiri dari beban kendaraan bergerak (muatan T) yang ditinjau berdasarkan keadaan roda pada saat melewati jembatan yang terdiri dari dua kondisi.



Gambar 2.22 Penyaluran Tegangan dari Roda Akibat Bidang Kontak

Menurut SNI-1725-2016:

$a_1 = 250 \text{ mm}$

$b_1 = 750 \text{ mm}$

$a = a_1 + (2 \times \text{tebal aspal}) + (2 \times 0,5 \times \text{tebal beton})$

$b = b_1 + (2 \times \text{tebal aspal}) + (2 \times 0,5 \times \text{tebal beton})$

Pembebanan oleh truk (T) = 112,5 kN

1. Kondisi 1

Kondisi 1 merupakan kondisi dimana satu kendaraan, dua roda belakang dalam satu bentang.

$$A = \frac{tx}{Lx} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$B = \frac{ty}{Ly} \dots\dots\dots(2.45)$$

Nilai A dan B dimasukkan kedalam tabel Bittner kemudian didapat nilai F_{xm} dan F_{ym} . Sehingga didapat besar momen arah x dan y dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_x = F_{xm} \cdot qu \cdot tx \cdot ty \dots\dots\dots(2.46)$$

$$M_y = F_{ym} \cdot qu \cdot tx \cdot ty \dots\dots\dots(2.47)$$

2. Kondisi 2

Kondisi 2 merupakan kondisi dimana dua kendaraan, roda belakang kendaraan saling berpapasan. Persamaan yang dipakai untuk mencari nilai A dan B ialah persamaan (2.21)-(2.22). Nilai A dan B dimasukkan kedalam tabel Bittner (terlampir) kemudian didapat nilai F_{xm} dan F_{ym} . Sehingga didapat besar momen arah x dan y dengan menggunakan persamaan (2.23)-(2.24).

Dari kedua kondisi tersebut akan didapat nilai momen ultimit maksimum.

Penentuan tebal pelat minimum:

Tebal pelat lantai

$$T_s \geq 200 \text{ mm } (> 200 \text{ mm harus dipasang tulangan ganda }) \dots\dots\dots(2.48)$$

$$T_s \geq (100 + 40.l) \dots\dots\dots(2.49)$$

Keterangan: T_s = Tebal pelat lantai

l = Panjang antar gelagar melintang

(Sumber : RSNI T-12-2004)

Penulangan :

Persamaan yang digunakan untuk penulangan menurut Dipohusodo (1993) ialah:

Jarak tulangan tekan dengan serat terluar (d')

$$d' = h - p - 0,5 \varnothing \text{ tulangan yang dipakai} \dots\dots\dots(2.50)$$

Dimana :

d' = jarak tulangan (mm)

h = tebal pelat (mm)

p = selimut beton (mm)

Rasio tulangan (ρ):

Nilai rasio tulangan (ρ) didapat dari table A-11 Apendiks dengan terlebih dahulu mencari nilai K yang diperlukan. Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai K menurut SNI-2002 ialah:

$$K_{\text{perlu}} = M_u / \phi \cdot b \cdot d^2 \dots\dots\dots(2.51)$$

Dimana :

ρ = rasio tulangan

M_u = momen ultimate (KN.m)

b = lebar per meter tiang (mm)

d' = jarak tulangan (mm)

ϕ = faktor reduksi (0,8)

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

c) Pelat lantai yang ditumpu kolom
$$: \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1,4}{f_y} \dots\dots\dots(2.52)$$

d) Pelat lantai yang ditumpu balok atau dinding
$$: \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1,0}{f_y} \dots\dots\dots(2.53)$$

e) Pelat telapak
$$: \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1,0}{f_y} \dots\dots\dots(2.54)$$

Setelah itu didapat nilai A_s dengan menggunakan persamaan:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2.55)$$

Nilai $A_{s\text{perlu}}$ dan $A_{s\text{min}}$ harus sesuai dengan persamaan menurut RSNI-T-12- 2004.

Hal tersebut untuk mengontrol A_s yang dipakai.

$$A_{s\text{min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y \cdot b \cdot d} \dots\dots\dots(2.56)$$

$A_s > A_{s\text{min}}$ (Aman)

Tulangan sengkang:

Persamaan yang digunakan untuk penulangan sengkang menurut RSNI-T-12-2004 adalah sebagai berikut:

$$A_s = 50\% \cdot b \cdot h \dots\dots\dots(2.57)$$

2.7.2 Perhitungan tiang sandaran dan pipa sandara

2.7.2.1 Pipa sandaran

Pipa Sandaran berfungsi untuk membatasi lebar dari suatu jembatan agar membuat rasa aman bagi lalu lintas kendaraan maupun orang yang melewatinya. Pada jembatan sandaran umumnya dibuat dari pipa galvanis atau semacamnya. Perencanaan tiang sandaran harus diperhitungkan sehingga beban-beban dapat bekerja secara bersamaan dalam arah melintang dan vertikal pada masing-masing sandaran.

Beban-beban yang bekerja pada pipa sandaran adalah berat sendiri dan beban hidup sebesar 0,75 KN/m yang bekerja sebagai beban merata pada plat lantai. Pada pipa sandaran juga terdapat momen-momen yang harus diperhitungkan.

$$\text{Luas penampang pipa: } A = \frac{1}{4} \pi (Dl^2 - Dd^2)$$

Keterangan :

A = Luas penampang (cm)

Dl = Diameter luar pipa sandaran (cm)

Dd = Diameter dalam pipa sandaran (cm)

Perhitungan momen pada tiang sandaran ialah sebagai berikut:

$$M = 1/8 \cdot q \cdot L^2 \dots\dots\dots(2.58)$$

Keterangan:

Mx = Momen penampang (kN.m)

Modulus lentur plastis terhadap sumbu x (Zx)

$$Zx = 1/2 \cdot A \cdot \frac{D}{2} \dots\dots\dots(2.59)$$

Momen nominal penampang (Mn) untuk penampang kompak :

$$Mn = Zx \cdot Fy \dots\dots\dots(2.60)$$

$$\emptyset Mn = 0,9 \times Mn \dots\dots\dots(261)$$

2.7.2.2 Tiang sandaran

Tiang sandaran berfungsi sebagai tempat meletakkan pipa sandaran/pipa railing untuk menjaga keselamatan para pejalan kaki yang melintas diatas jembatan.

Umumnya, tiang sandaran direncanakan dengan tinggi $\pm 0,90 - 1,0$ m dari muka trotoar.

Adapun beban-beban yang terjadi pada tiang sandaran adalah berat pipa sandaran, berat tiang sandaran sendiri, dan gaya horizontal.

1) Perhitungan momen

Momen akibat beban mati (M_d)

$$M_d = \text{besar beban mati} \times \text{jarak (kN.m)} \dots\dots\dots(2.62)$$

Momen akibat beban hidup (M_l)

$$M_l = \text{besar beban hidup} \times \text{jarak (kN.m)} \dots\dots\dots(2.63)$$

Momen ultimit (M_u)

$$M_u = M_d + M_l \text{ (kN.m)} \dots\dots\dots (2.64)$$

2) Penulangan

Persamaan yang digunakan untuk menghitung penulangan pada tiang sandaran adalah persamaan (2.50)-(2.57).

2.7.3 Perhitungan trotoar

Trotoar dianggap sebagai balok menerus pada saat perencanaan.

1) Pembebanan

Beban mati terdiri dari berat trotoar, berat pipa sandaran dan tiang sandaran, serta berat air hujan. Sedangkan beban hidup terdiri dari beban pejalan kaki.

a. Berat pipa = didapat dari perhitungan sebelumnya

b. Berat tiang = didapat dari perhitungan sebelumnya

c. Berat sendiri = tebal beton x γ beton x koef.beton $\dots\dots\dots(2.65)$

d. Berat air hujan = tebal air x γ air x koef.beton $\dots\dots\dots(2.66)$

Dari pembebanan diatas akan diperoleh $q_u = \text{kN/m}$

2) Penulangan trotoar

Persamaan yang digunakan untuk menghitung penulangan trotoar ialah menggunakan persamaan (2.50)-(2.57).

2.7.4 Perhitungan balok diafragma

Balok diafragma berada melintang diantara gelagar utama. Balok diafragma berfungsi sebagai pengaku gelagar utama dan tidak berfungsi sebagai struktur

penahan beban luar apapun, kecuali berat sendiri diafragma. Balok ini menggunakan konstruksi beton bertulang yang hanya menahan berat sendiri balok.

1) Pembebanan

$$\text{Berat sendiri} = \text{Luasan balok} \times \gamma \text{ beton} \dots\dots\dots(2.67)$$

$$q_u = 1,3 \times \text{berat sendiri balok} \dots\dots\dots(2.68)$$

Untuk menghitung M_{mak} tumpuan dapat menggunakan persamaan (2.68), sedangkan untuk menghitung momen lapangan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_{\text{mak lapangan}} = 1/12 \times q_u \times L^2 \dots\dots\dots(2.69)$$

2) Penulangan

Persamaan yang digunakan untuk menghitung penulangan pada balok diafragma ialah menggunakan persamaan (2.50)-(2.57).

Tulangan geser:

$$V_c = 1/6 \times \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \dots\dots\dots(2.70)$$

$\emptyset V_c > V_u$ Tidak diperlukan tulangan sengkang

$\emptyset V_c < V_u$ Diperlukan Tulangan sengkang

$$V_{\text{smaks}} = 2/3 \times \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \dots\dots\dots(2.71)$$

$V_{\text{smaks}} > V_s$ Ok ! Dimensi balok memenuhi persyaratan kuat geser

$$V_c = \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d}{6} \dots\dots\dots(2.72)$$

$V_s \leq 1/3 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$, maka:

$$S_{\text{max}} = d/2 \text{ atau } 600 \text{ mm (ambil nilai yang terkecil)} \dots\dots\dots(2.73)$$

$V_s < 1/3 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot D$, maka:

$$S_{\text{max}} = d/4 \text{ atau } 300 \text{ mm (ambil nilai yang terkecil)} \dots\dots\dots(2.74)$$

Namun dalam segala hal, V_s harus tidak lebih besar dari, $2/3 \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$

Tulangan geser minimum,

$$A_{v\text{min}} = \frac{1/3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot s}{f_y} \dots\dots\dots(2.75)$$

Jarak sengkang :

$$S = \frac{A_v \cdot f_y}{1/3 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b} \dots\dots\dots(2.76)$$

2.7.5 Perhitungan girder prategang

Dalam perhitungan balok memanjang beban yang diperhitungkan adalah beban merata termasuk berat pelat, berat air hujan, dan berat sendiri balok dan ditambah dengan beban terpusat dan muatan bergerak.

Ketetapan beban :

- Berat jenis Aspal = 22 KN /m³
- Berat jenis Beton = 24 KN /m³
- Berat jenis Air hujan = 9,8 KN /m³

Pembebanan :

1. Akibat beban mati
 - a. Beban Merata, terdiri dari beban air hujan, beban aspal, berat lantai kendaraan, berat trotoar, berat tiang sandaran, dan berat sendiri balok.
 - b. Beban terpusat (Pd)

Berat diafragma = Luasan balok x Berat Jenis beton

Gaya Lintang akibat beban mati
 - c. Akibat Beban Hidup, terdiri dari beban garis dan beban merata.

Perhitungan Momen

Dihitung dengan membuat beban garis akibat beban mati dan beban bergerak yang dikombinasikan dalam tabel.

Penulangan

Untuk menghitung penulangan pada girder prategang dapat menggunakan persamaan (2.50)-(2.57).

Tulangan geser dapat dilihat pada persamaan (2.70)-(2.76).

Kontrol Lendutan Balok

Momen Tiap Potongan dari Beban Layan (Beban Tidak terfaktor)

$$\text{Modulus elastic beton } E_c = 4700 \sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2.77)$$

$$\text{Modulus elastic baja, } E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa} \dots\dots\dots(2.78)$$

$$\text{Nilai perbandingan modulus elastisitas, } n = E_s / E_c \dots\dots\dots(2.79)$$

$$\text{Modulus keruntuhan lentur be ton, } f_r = 0,7\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(2.80)$$

Y_t = Jarak dari serat teratas ke garis netral

Y_b = Jarak dari garis netral ke serat paling bawah Inersia bruto penampang balok,

$$I_g = 1/12 \times A \times S^2 \dots\dots\dots(2.81)$$

A = Luas Penampang

S = Jarak dari titik berat ke garis netral Jarak garis netral terhadap sisi atas beton,

$$c_1 = n \times \frac{A_s}{b} \dots\dots\dots(2.82)$$

b = Lebar penampang balok

Inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton, dihitung sebagai berikut:

$$I_{cr} = 1/3 \times b \times c^3 \times n \times A_s \times (d-c)^2 \dots\dots\dots(2.83)$$

d = tinggi efektif

Momen retak ,

$$M_{cr} = \frac{(f_r \times I_g)}{y_t} \dots\dots\dots(2.84)$$

Inersia efektif untuk perhitungan lendutan ,

$$e = [(M_{cr}/MA)^3] \cdot I_g + (1 - [(M_{cr}/MA)^3]) \cdot I_{cr} \dots\dots\dots(2.85)$$

Lendutan elastic seketika akibat beban mati dan beban hidup,

$$\delta e = \frac{5}{34} \times q \times \frac{Ix^4}{(Ec \times Ie)} + \frac{1}{48} \times p \times \left(\frac{Ix^4}{(Ec \times Ie)} \right)^3 \dots\dots\dots(2.86)$$

p = Beban terpusat

q = Beban Merata

Lendutan total pada plat lantai jembatan

$$\delta e = \frac{Ix}{250} \dots\dots\dots(2.87)$$

2.8 Perhitungan Struktur Bangunan Bawah

Perhitungan bangunan jembatan bagian bawah meliputi pelat injak, dinding sayap, abutment dan pondasi. Dalam menghitung bangunan bawah yang sangat diperhatikan adalah data tanah diperoleh dan hasil penyelidikan dilapangan maupun dilokasi dimana bangunan tersebut akan dibangun kemudian di lakukan pengujian di laboratorium.

2.8.1 Perhitungan perletakan

Landasan yang dipakai dalam perencanaan jembatan ini adalah landasan elastomer berupa landasan karet yang dilapisi pelat baja. Elastomer ini terdiri dari

elastomer vertikal yang berfungsi menahan gaya horizontal dan elastomer horizontal berfungsi menahan gaya vertikal. Sedangkan untuk menahan gaya geser yang mungkin terjadi akibat gempa, angin dan rem dipasang *lateral stop* dan elastomer sebagai bantalannya.

1) Pembebanan

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

2) *Lateral stop*, dianggap sebagai konsol pendek.

3) Penulangan *lateral stop*

Tulangan A_{vf} yang dibulatkan untuk menahan gaya geser

$$V_u = \phi V_n \dots\dots\dots(2.88)$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} \dots\dots\dots(2.89)$$

$$\text{Beton dicor monolit, } \mu = 1,4 \dots\dots\dots(2.90)$$

$$A_{vf} = \frac{V_n}{F_y \mu} \dots\dots\dots(2.91)$$

Tulangan A_f yang dibutuhkan untuk menahan momen M_u adalah :

$$M_u = 0,2 \times V_u \times (h-d) + N_{uc} \times (h-d) \dots\dots\dots(2.92)$$

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} \dots\dots\dots(2.93)$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f_c'}} \right) \dots\dots\dots(2.94)$$

$$A_f = \rho b d \dots\dots\dots(2.95)$$

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

$$N_{uc} = \phi A_n \cdot F_y \dots\dots\dots(2.96)$$

$$N_{uc} = 0,2 \cdot V_u \dots\dots\dots(2.97)$$

$$A_n = \frac{N_u}{\phi F_y} \dots\dots\dots(2.98)$$

Tulangan utama adalah total A_g , nilai terbesar dari:

$$A_g = A_f + A_n \dots\dots\dots(2.99)$$

$$A_g = \left(\frac{2A_{vf}}{3} + A_n \right) \dots\dots\dots(2.100)$$

$$A_{gmin} = \rho_{min} b d \dots\dots\dots(2.101)$$

$$\text{Tulangan sengkang, } A_h = \frac{2 A_{vf}}{3} \dots\dots\dots(2.102)$$

2.8.2 Perhitungan pelat Injak

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

- 1) Pembebanan plat injak, pembebanan pelat injak terdiri atas berat lapisan aspal, berat tanah isian, berat sendiri pelat injak, berat lapisan perkerasan dan berat kendaraan. Dari pembebanan akan didapat q_{Utotal}
- 2) Penulangan plat injak
Untuk menghitung penulangan pada plat injak dapat menggunakan persamaan (2.50)-(2.57).

2.8.3 Perhitungan dinding Sayap

Dinding sayap merupakan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan timbunan atau bahan lepas lainnya dan mencegah terjadinya kelongsoran pada permukaan tanah. Selain itu, dinding sayap juga berfungsi untuk melindungi bagian belakang abutmen dari tekanan tanah yang bekerja.

- 1) Pembebanan dinding sayap
Pembebanan terdiri atas berat lapisan tanah, berat lapisan perkerasan, berat sendiri dinding sayap dan berat beban kendaraan.
- 2) Penulangan dinding sayap
Untuk menghitung penulangan pada dinding sayap dapat menggunakan persamaan (2.50)-(2.57).

2.8.4 Perhitungan abutment/pier

Abutment merupakan struktur bawah jembatan yang berfungsi sama dengan pilar (*pier*). Namun pada abutment juga terkait dengan adanya faktor tanah.

Adapun langkah perencanaan abutment adalah sama dengan perencanaan pilar (*pier*), namun pada pembebanannya ditambah dengan tekanantahan timbunan dan ditinjau kestabilan terhadap sliding dan bidang runtuh tanahnya.

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

2.8.5 Perhitungan pondasi

2.8.5.1 Pengertian pondasi tiang

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

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

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

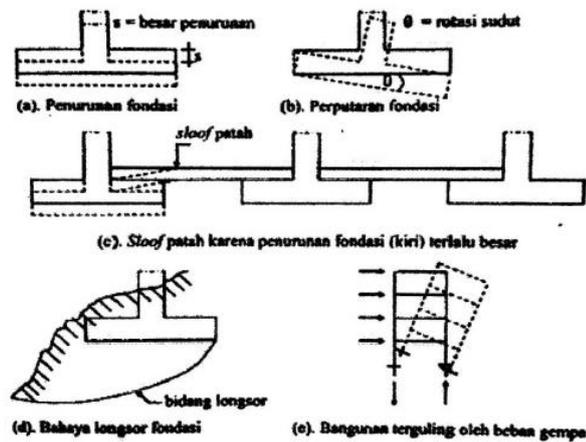
2.8.5.2 Persyaratan pondasi

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

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

4) Cukup aman terhadap bahaya guling (gambar e).

Untuk mengetahui pertimbangan keamanan pondasi dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.23 Pertimbangan Keamanan Pondasi

2.8.5.3 Daya dukung tanah

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 direnankan. Sebaliknya, semakin lemah daya dukung tanah, semakin besar 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/pengujian tanah, baik pengujian di laboratorium maupun pengujian di lapangan.
 - a. Daya dukung tiang pancang berdasarkan kekuatan material

Daya dukung tiang pancang berdasarkan leluatan materialnya merupakan bagian sangat penting dalam perencanaan tiang pancang.

Perhitungan daya dukung berdasarkan kekuatan materialnya bisa terlihat dalam rumus :

Kuat tekan beton (f_c')

Tegangan ijin beton $(f_c) = 0.3 \times f_c \times 1000 \dots \dots \dots (2.103)$

Luas tampang tiang pancang $(A) = \pi / 4 \times D^2 \dots \dots \dots (2.104)$

Panjang tiang pancang (L)

Berat tiang pancang $(W) = A \times L \times W_c \dots \dots \dots (2.105)$

Daya dukung ijin tiang pancang $(P_{ijin}) = A \times f_c - W \dots \dots \dots (2.106)$

b. Daya dukung pondasi berdasarkan nilai SPT (*Standard Penetration Test*)

SPT sering kali digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah secara langsung di lokasi. SPT merupakan tes dinamis yang dilakukan dalam suatu lubang bor dengan memasukan tabung sample berdiameter dalam 35 mm sedalam 305 mm dengan menggunakan massa pendorong (palu) seberat 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Banyaknya pukulan palu tersebut untuk memasukan tabung sample sedalam 305 mm dinyatakan sebagai nilai N.

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

Nilai SPT hasil pengujian (N)

Daya dukung ijin tiang pancang

1) Pasir halus $(Q_{ull}) = 40 \times N \times L/B$

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

2) Pasir Kasar $(Q_{ull}) = 40 \times N \times L/B$, dan

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

Daya dukung ijin tiang bor

1) Pasir halus (Q_{ul}) = $12 \times N \times L/B$, dan

$$(Q_{ul}) = 130 \times N'$$

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

$$\text{Angka aman (} S_f \text{)} = 3$$

$$\text{Daya dukung ijin tiang pancang (P}_{ijin}\text{)} = (A \times Q_{ul})/S_F$$

2.9 Rencana Kerja dan Syarat

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

Rencana Kerja dan Syarat-syarat (RKS) adalah dokumen yang berisi sekumpulan persyaratan baik persyaratan administratif maupun persyaratan teknis yang diberlakukan pada perencanaan bangunan tertentu.

2.10 Estimasi Biaya dan Manajemen

2.10.1 Daftar harga satuan bahan dan upah

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

2.10.2 Analisa satuan harga pekerjaan

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

Dari harga-harga yang terdapat di dalam analisa satuan harga ini nantinya akan didapat harga keseluruhan dari pekerjaan-pekerjaan yang ada yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan rencana anggaran biaya. Adapun yang termasuk didalam analisa satuan harga ini adalah:

- 1) Analisa harga satuan pekerjaan, adalah perhitungan – perhitungan biaya pada setiap pekerjaan yang ada pada suatu proyek. Dalam menghitung analisa satuan pekerjaan, sangatlah erat hubungan dengan daftar harga satuan bahan dan upah.
- 2) Analisa satuan alat berat, perhitungan analisa satuan alat berat dilakukan dengan dua pendekatan yaitu:
 - a. Pendekatan *on the job*, yaitu pendekatan yang dimaksudkan untuk mendapatkan hasil perhitungan produksi berdasarkan data yang diperoleh dari data hasil lapangan dan data ini biasanya didapat dari pengamatan observasi lapangan.
 - b. Pendekatan *off the job*, yaitu pendekatan yang dipakai untuk memperoleh hasil perhitungan berdasarkan standar yang biasanya ditetapkan oleh pabrik pembuat.

2.10.3 Perhitungan volume pekerjaan

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

2.10.4 Rencana anggaran biaya

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tersebut. Anggaran biaya merupakan harga dari bangunan yang dihitung dengan teliti, cermat dan memenuhi syarat. Anggaran biaya pada bangunan yang sama akan berbeda-beda di masing-masing daerah, disebabkan karena perbedaan harga bahan dan upah tenaga kerja.

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

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

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

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

2.10.5 Rekapitulasi biaya

Rekapitulasi biaya adalah biaya total yang diperlukan setelah menghitung dan mengalikannya dengan harga satuan yang ada. Dalam rekapitulasi terlampir pokok-pokok pekerjaan beserta biayanya. Biasanya untuk pekerjaan yang dilaksanakan oleh Instansi Pemerintah dalam rekap tersebut sudah dimasukkan pajak serta keuntungan dari kontraktor.

2.10.6 Manajemen proyek

Manajemen Proyek merupakan penerapan ilmu pengetahuan, keahlian dan keterampilan, cara teknis yang terbaik dan dengan sumber daya yang terbatas, untuk mencapai sasaran dan tujuan yang telah ditentukan agar mendapatkan hasil yang

optimal dalam hal kinerja biaya, mutu dan waktu serta keselamatan kerja (Husein, 2009). 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.

2.10.7 Barchart

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

2.10.8 Kurva S

Kurva S ialah grafik yang menggambarkan perkembangan suatu proyek berdasarkan kegiatan, waktu dan bobot pekerjaan yang di representasikan sebagai persentase kumulatif dari seluruh proses pelaksanaan kegiatan proyek. Fungsi dari kurva S ialah sebagai pengontrol pekerjaan yang dilaksanakan apakah sesuai dengan kalender kerja sehingga pekerjaan dapat dilaksanakan sesuai dengan target waktu dan biaya yang disediakan.

2.10.9 Network Planing

Network planing, adalah hubungan ketergantungan antara bagian-bagian pekerjaan (*variables*) yang digambarkan / divisualisasikan dalam *diagram network*. Dengan demikian diketahui bagian-bagian pekerjaan mana yang harus didahulukan, pekerjaan mana yang menunggu selesainya pekerjaan yang lain, pekerjaan mana yang tidak perlu tergesa-gesa sehingga alat dan orang dapat digeser ke tempat lain demi efisiensi.