BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Guna mendukung pembahasan skripsi ini, peneliti melakukan *study literatur* pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang sesuai dengan isi pembahasan dari skripsi ini. Hal ini menjadikan penelitan sebelumnya sebagai referensi dan pedoman dalam penulisan skripsi ini. Adapun referensi yang berupa jurnal dan buku sebagai berikut :

1. Dwi Harmono, Rully Irawan, Widarto Sutrisno : Analisa Gelagar Prestress Pada Perencanaan Jembatan Akses Pulau Balang I Menggunakan Software SAP 2000 v.14.

   Analisa yang dilakukan yaitu bertujuan untuk mengetahui hasil analisa struktur sesuai ukuran (dimensi) dari fabric pembuat PCI girder. Menggunakan program SAP 2000 v.14. Perhitugan manual balok prategang mengacu pada SNI T-12 2004 betn untuk jembatan, pembebanan jembatan SNI T-02 2005*, Bridge Managemen System* (BMS) dan ACI.

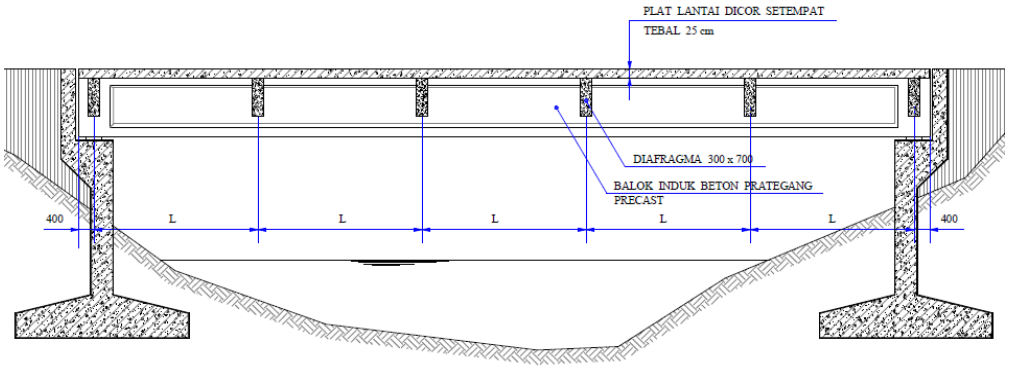
2. Reksi Rinofaldi (2015) : *Mengatasi Masalah Clearance Dengan Redesign Struktur Concrete Box Girder Prestressed Pada Rencana Proyek Fly Over Gejayana Yogyakarta.*

   Membahas mengenai redesain struktur pada proyek fly over gejayan. Yogyakarta. Redesain yang dilakukan yaitu mengurangi dimensi dari penampang box girder yang bertujuan untuk mempermudah pekerjaan dan meminimalisir jumlah yang dikeluarkan proyek. Hasil perhitungan yang didapatkan jenis profil box girder lebih rendah 30 cm dari struktur awal. Gaya prategang efektif sebesar 45585,19 kN , mengalami kehilangan gaya 24%. Untuk desain box menggunakan 22 tendon yang masing – masing terdiri dari 20 kawat jenis uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270.

2.2 Tinjauan Teoritis

2.2.1 Jembatan

Jembatan adalah salah satu infrastruktur yang sangat digunakan untuk menghubungkan satu tempat ketempat lainnya, terpisah oleh berbagai rintangan seperti jurang, sungai, rel kereta, jalan dan lain – lain. Jembatan terdiri dari beberapa komponen – komponen yang membentuknya, antara lain :



Gambar 2.1 Tampak memanjang jembatan
(Sumber:*http://slideplayer.info/slide/2776103/10/images/6/KOMPONEN+STR.+ATAS+PELAT+GELAGAR+DIAFRAGMA.jpg*)

1. *Girder*

   Girder adalah bagian struktur atas yang berfungsi menyalurkan beban berupa beban kendaraan, berat sendiri girder dan beban – beban lainnya yang berada di atas girder tersebut ke bagian struktur bawah yaitu *abutment* atau *pier*.

2. *Abutment*

   Abutment atau kepala jembatan adalah bagaian bangunan pada ujung-ujung jembatan, selain sebagai pendukung bagi bangunan atas abutmen juga berfungsi sebagai penahan tanah.

3. *Railing*

   Railing adalah atau tiang sandaran pada jembatan berfungsi sebagai pembatas dan keperluan keamanan untuk pengguna jembatan.

4. *Slab*

   Slab atau pelat lantai jembatan merupakan bagian dari struktur atas yang berfungsi sebagai landasan bagi kendaraan yang akan melajur diatas jembatan.

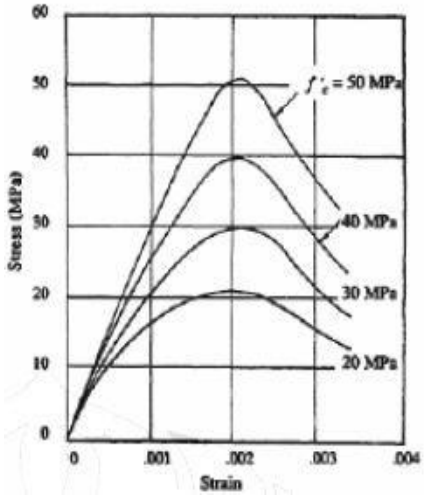
2.2.2 Penggunaan Beton Prategang

Beton merupakan material yang kuat terhadap kondisi tekan, akan tetapi material beton memiliki kelemahan terhadap kondisi tarik. Kuat tarik beton bervariasi mulai dari 8 sampai 14 persen dari kuat tekannya. Rendahnya kapasitas tarik beton menimbulkan tejadinya retak lentur pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan dalam arah longitudinal elemen struktural.

Gaya longitudinal tersebut disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberian prategang pada penampang di sepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal. Gaya prategang ini berupa tendon yang diberikan tegangan awal sebelum memikul beban kerjanya yang berfungsi mengurangi atau menghilangkan tegangan tarik pada saat beton mengalami beban kerja, menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang biasa.

Beton prategang adalah material yang sangat banyak digunakan dalam konstruksi. Beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton dimana tegangan tariknya pada kondisi pembebanan tertentu dihilangkan atau dikurangi sampai batas aman dengan pemberian gaya tekan permanen, dan baja prategang yang digunakan untuk keperluan ini ditarik sebelumbeton mengeras (pratarik) atau setelah beton mengeras (pascatarik).Beton yang digunakan dalam beton prategang adalah beton yang mempunyai kuat tekan yang cukup tinggi dengan nilai f'_c min K- 300, modulus elastis yang tinggi dan mengalami rangkak *ultimate* yang lebih kecil yang menghasilkan kehilangan prategangan yang lebih kecil pada baja.

Kuat tekan yang tinggi ini diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengangkuran tendon, mencegah terjadinya keretakan. Tipikal diagram tegangan – regangan beton dapat dilihat pada **gambar 2.2**



Gambar 2.2 Diagram tegangan – regangan pada beton
(Sumber : *http://konstruksi212.blogspot.co.id/2016/07/kekuatan-dan-deformasi-beton-yang.html*)

2.2.3 Penggunaan Baja Pratekan

Dalam hal penggunaan pada beban layan yang cukup tinggi, penggunaan baja tulangan dan beton mutu tinggi akan lebih efisien. Baja yang memiliki tegangan elastis tinggi yang cocok digunakan pada beton prategang. Penggunaan baja tulangan mutu tinggi bukan saja merupakan suatu keunggulan, melainkan suatu keharusan. Prategang akan menghasilkan elemen yang lebih ringan, bentang yang lebih besar dan lebih ekonomis jika ditinjau dari segi pemasangannya dibandingkan dari beton bertulang biasa.

Berikut adalah jenis – jenis baja yang dipakai untuk beton prategang dalam prakteknya ada tiga macam, yaitu :

a. **Kawat Tunggal (*wires*),** biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik (*pre-tension*)
b. **Kawat Untaian (*strand*),** biasanya digunakan untuk baja

prategang pada beton prategang dengan sistem pasca tarik (*post-tension*)

c. **Kawat Batangan (*bar*),** biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik (*pre-tension*)

Pada **tabel 2.1** dibawah akan ditunjukkan tipikal baja yang biasa digunakan

Tabel 2.1 Tipikal baja prategang

Jenis Material	Diameter (mm)	Luas (mm^2)	Beban Putus (kN)	Tegangan Tarik (Mpa)
Kawat Tunggal (*Wire*)	3	7,1	13,5	1900
	4	12,6	22,1	1750
	5	19,6	31,4	1600
	7	38,5	57,8	1500
	8	50,3	70,4	1400
Untaian Kawat (*Strand*)	9,3	54,7	102	1860
	12,7	100	184	1840
	15,2	143	250	1750
Kawat Batangan (*Bar*)	23	415	450	1080
	26	530	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1080

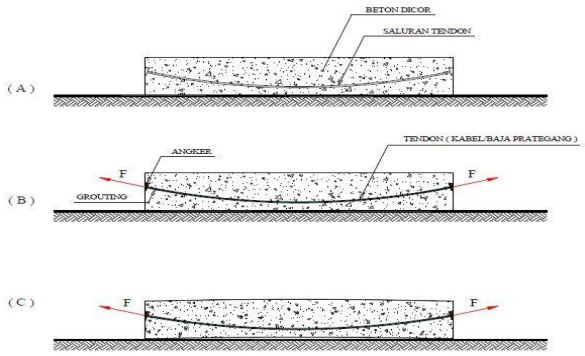
(Sumber:*http://anggasetiawan13.blogspot.co.id/2013/12/perencanaan-balok-prategang-untuk.html*)

2.2.4 Metode Prategang

Ada dua jenis metode pemberian gaya prategang pada beton, yaitu :

a. Metode Pratarik (*Pre-Tension Method*)

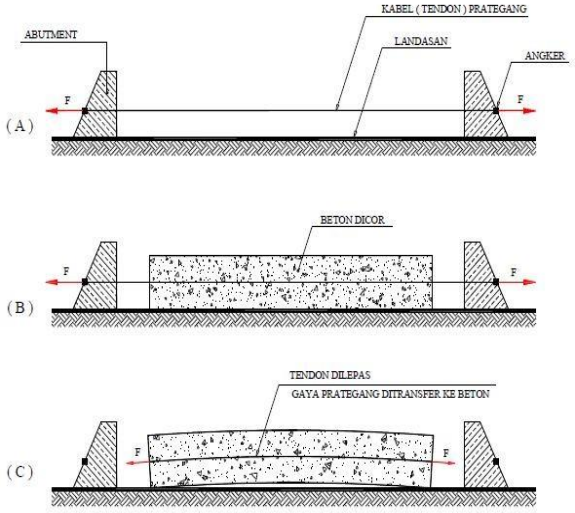
Dimana tendon ditegangkan terlebih dahulu, sebelum beton mengeras dan gaya konsentris dipertahankan sampai beton cukup keras. Pada metode ini baja pra – tegang diberi gaya prategang terlebih dahulu sebelum beton dicor.



Gambar 2.3 Prinsip metode pratarik
(sumber *:*
http://sekilasinfokampus.blogspot.co.id/2017/07/sekilas-tentang-beton-pra-tegang.html)

b. Metode Pascatarik (Post-Tension Method)

Pada metode pascatarik, dimana setelah betonya cukup keras, barulah diberi gaya konsentris dengan menarik kabel tendon.



Gambar 2.4 Prinsip metode pascatarik

(Sumber : *https://docslide.com.br/documents/pengenalan-beton-prategang.html*)

2.2.5 Prinsip Dasar Prategang

Pemberian gaya prategang ditentukan berdasarkan jenis sistem yang dilaksanakan dan panjang bentang serta kelangsingan yang dikehendaki. Gaya prategang yang diberikan secara longitudinal di

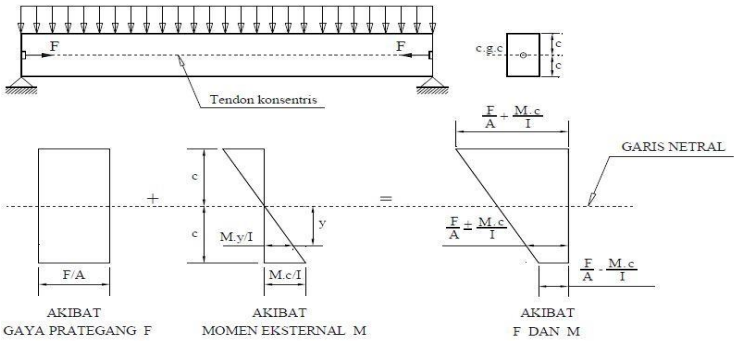
sepanjang atau sejajar dengan sumbu komponen struktur, maka prinsip-prinsip prategang dikenal sebagai pemberian prategang linier.

Pemberian gaya prategang dapat dilakukan sebelum atau sesudah beton dicor. Pemberian prategang yang dilakukan sebelum pengecoran disebut sistem pratarik (*pre-tensioned*), sedangkan pemberian prategang setelah dilakukan pengecoran disebut sistem pascatarik (*post-tensioned*). Pemberian gaya prategang pada beton akan memberikan tegangan tekan pada penampang. Tegangan ini akan menahan beban luar yang bekerja pada penampang.

Beton prategang sendiri dapat mengalami gaya prategang penuh (*fully stressed*) atau gaya prategang sebagian (*partial stressed*). Prategang penuh adalah struktur tidak diizinkan ada tegangan tarik pada penampang baik pada tahap transfer sampai dengan masa layan dan tegangan pada serat bawah dianggap tidak ada. Sedangkan prategang sebagian adalah penampang struktur direncanakan untuk dapat menerima tegangan tarik pada lokasi penampang selama masa transfer sampai masa layan dan tegangan serat bawah tidak sama dengan nol.

Ada tiga konsep berbeda yang dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang :

a. Konsep pertama, sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Ini merupakan buah pemikiran Eugene Freyssinet yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Dari konsep ini lahirlah kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton. Pada umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton. berarti tidak akan terjadi retak, dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi melainkan berubah menjadi bahan yang elastis.

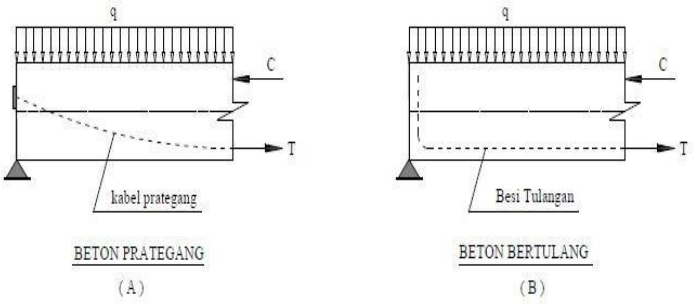


Gambar 2.5 Prinsip metode pascatarik

(Sumber : *https://docslide.com.br/documents/pengenalan-beton-prategang.html*)

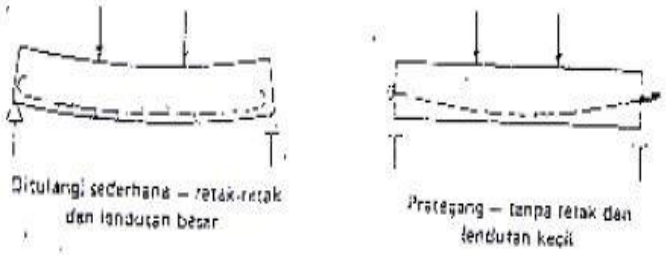
Dalam bentuk yang paling sederhana, ambillah balok persegi panjang yang diberi gaya prategang oleh sebuah tendon sentris. Akibat gaya prategang F, akan timbul tegangan tekan merata. Akibat beban merata (termasuk berat sendiri beton) akan memberikan tegangan tarik di bawah garis netral dan tegangan tekan di atas garis netral. Jadi dengan adanya gaya internal tekan ini, maka beton akan dapat memikul beban Tarik

b. Konsep kedua, sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton. Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal. Pada beton prategang, baja mutu tinggi ditanam pada beton, seperti pada beton bertulang biasa, beton di sekitarnya akan menjadi retak berat sebelum seluruh kekuatan baja digunakan. Oleh karena itu, baja perlu ditarik sebelumnya (pratarik) terhadap beton. Dengan menarik dan menjangkarkan ke beton dihasilkan tegangan dan regangan pada baja. Kombinasi ini memungkinkan pemakaian yang aman dan ekonomis dari kedua bahan dimana hal ini tidak dapat dicapai jika baja hanya ditanamkan dalam bentuk seperti pada beton bertulang biasa.



Gambar 2.6. Momen penahan internal pada balok beton prategang dan balok beton bertulang

(Sumber : *https://docslide.com.br/documents/pengenalan-beton-prategang.html*)



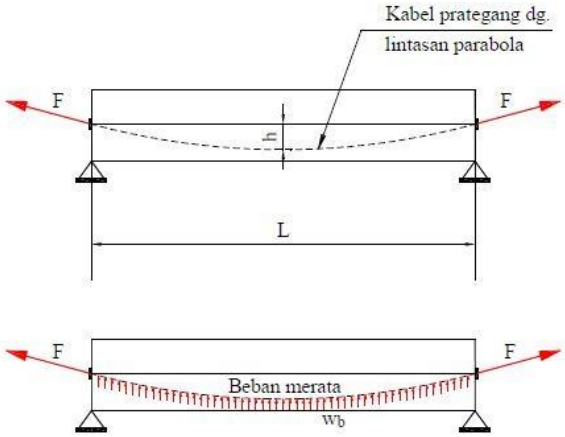
Gambar 2.7. Balok beton menggunakan baja mutu tinggi

(Sumber : *https://docslide.com.br/documents/pengenalan-beton-prategang.html*)

c. Konsep ketiga, sistem prategang untuk mencapai keseiimbangan beban. Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat keseimbangan gaya-gaya pada sebuah balok. Penerapan dari konsep ini menganggap beton diambil sebagai benda bebas dan menggantikan tendon dengan gaya-gaya yang bekerja pada sepanjang beton .

Suatu balok beton di atas dua perletakan (simple beam) yang diberi gaya prategang F melalui suatu kabel prategang dengan lintasan parabola. Beban akibat gaya prategang yang terdistribusi secara merata ke arah atas. Jadi beban merata

akibat beban (mengarah ke bawah) diimbangi oleh gaya merata akibat prategang w_b yang mengarah ke atas.



Gambar 2.8. Balok prategang dengan tendon parabola
(Sumber : *https://docslide.com.br/documents/pengenalan-beton-prategang.html)*

2.3. Klasifikasi Kelas Jalan

Klasifikasi jalan umum di Indonesia menurut Undang Undang Republik Indonesia No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan menjelaskan hubungan kelas jalan, fungsi jalan, ukuran kendaraan dan Muatan Sumbu Terberat (MST) seperti dijelaskan pada **Tabel 2.2.**

Tabel 2.2. *Hubungan Antara Fungsi dan Kelas Jalan Menurut UU No 22 Tahun 2009*

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Ukuran kendaraan bermotor	MST
Kelas I	Jalan Arteri Jalan Kolektor	Lebar ≤ 2.500 mm Panjang ≤ 18.000 mm Tinggi ≤ 4.200 mm	10 Ton
Kelas II	Jalan Arteri Jalan Kolektor Jalan Lokal Jalan Lingkungan	Lebar ≤ 2.500 mm Panjang ≤ 12.000 mm Tinggi ≤ 4.200 mm	8 Ton
Kelas III	Jalan Arteri Jalan Kolektor Jalan Lokal Jalan Lingkungan	Lebar ≤ 2.500 mm Panjang ≤ 9.000 mm Tinggi ≤ 4.200 mm	8 Ton
Kelas Khusus	Jalan Arteri	Lebar ≤ 2.500 mm Panjang ≤ 18.000 mm Tinggi ≤ 4.200 mm	> 10 Ton

(Sumber : UU No 22 Tahun 2009)

2.4. Kombinasi Pembebanan

a. Kombinasi pada Keadaan Batas Daya Layan

Keadaan batas daya layan disyaratkan dalam perencanaan dengan melakukan pembatasan pada tegangan, deformasi, dan lebar retak pada kondisi pembebanan layan agar jembatan mempunyai kinerja yang baik selama umur rencana.

b. Keadaan Batas Fatik dan Fraktur

Keadaan batas fatik disyaratkan agar jembatan tidak mengalami kegagalan akibat fatik selama umur rencana. Untuk tujuan ini, perencana harus membatasi rentang tegangan akibat satu beban truk rencana pada jumlah siklus pembebanan yang dianggap dapat terjadi selama umur rencana jembatan. Keadaan batas fraktur disyaratkan dalam perencanaan dengan menggunakan persyaratan kekuatan material sesuai spesifikasi. Keadaan batas fatik dan fraktur dimaksudkan untuk membatasi penjalaran retak akibat beban siklik yang pada akhirnya akan menyebabkan terjadinya kegagalan fraktur selama umur desain jembatan.

c. Keadaan batas kekuatan

Keadaan batas kekuatan disyaratkan dalam perencanaan untuk memastikan adanya kekuatan dan kestabilan jembatan yang memadai, baik yang sifatnya lokal maupun global, untuk memikul kombinasi pembebanan yang secara statistik mempunyai kemungkinan cukup besar untuk terjadi selama masa layan jembatan. Pada keadaan batas ini, dapat terjadi kelebihan tegangan ataupun kerusakan struktural, tetapi integritas struktur secara keseluruhan masih terjaga.

2.4.1 Pembebanan

1. Beban Hidup

   Semua beban yang berasal dari berat kendaraan – kendaraan bergerak atau lalu lintas dana tau pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan.

2. Beban Khusus

   Beban yang merupakan beban – beban khusus untuk perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan.

3. Beban Lalu lintas

   Seluruh beban hidup, arah vertikal dan horizontal, akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan.

4. Beban Mati

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

Tabel.2.3 Berat isi untuk beban mati

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

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016)*

5. Beban mati primer

   Berat sendiri pelat dan system lainnya yang dipikul oleh tiap – tiap gelagar jembatan.

6. Beban mati sekunder

   Berat tiang sandaran dicor. Beban tersebut dianggap terbagi rata dan diseluruh gelagar.

7. Beban primer

   Beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan.

8. Beban sekunder

   Beban yang merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan.

2.4.2 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 2.4.**

Tabel 2.4 Faktor Beban untuk berat sendiri

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

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

2.4.3 Beban Mati Tambahan / Utilitas (MA)

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

Tabel 2.5 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(1)	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan (1) : Fakt0r beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

2.4.4 Beban Lalu lintas

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

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

Secara umum, beban "D" akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban "T" digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan. Dalam keadaan tertentu beban "D" yang nilainya telah diturunkan atau dinaikkan

2.4.4.1 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 2.6.**

Tabel 2.6 Faktor Beban untuk lajur "D"

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

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

a. *Intensitas Beban "D"*

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

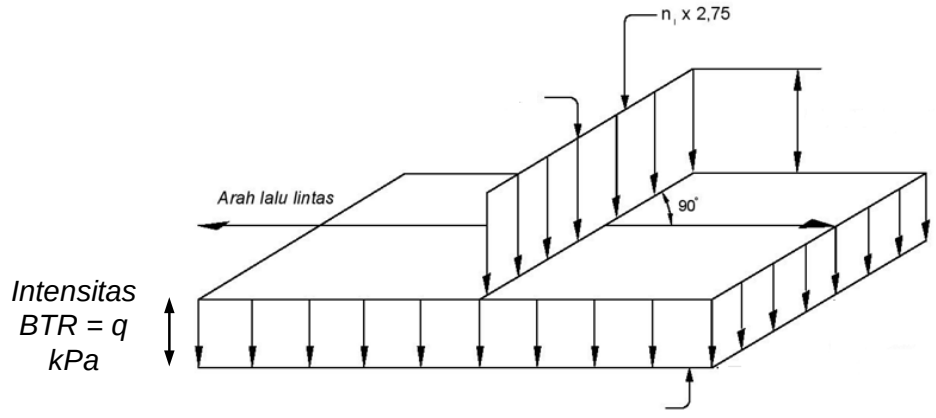
Jika $L \leq 30$ m : $q = 9{,}0$ kPa

Jika $L > 30$ m : $q = 9{,}0\left(0.5 + \frac{15}{L}\right)$ kPa

Keterangan:

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

L = Panjang total jembatan yang dibebani (meter)



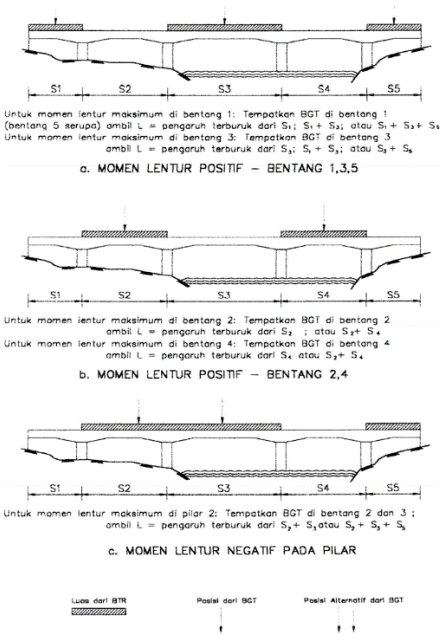
Gambar 2.9 Beban Lajur "D"

(Sumber *: Pembebanan 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.

b. Distribusi Beban "D"

Beban "D" harus disusun pada arah melintang sedemikian rupa sehingga menimbulkan momen maksimum. Penyusunan komponen-komponen BTR dan BGT dari beban "D" secara umum dapat dilihat pada **Gambar 2.9**. Kemudian untuk alternatif penempatan dalam arah memanjang dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Alternatif Penempatan Beban "D" dalam arah memanjang (Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

c. Respons terhadap Beban Lajur "D"

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.

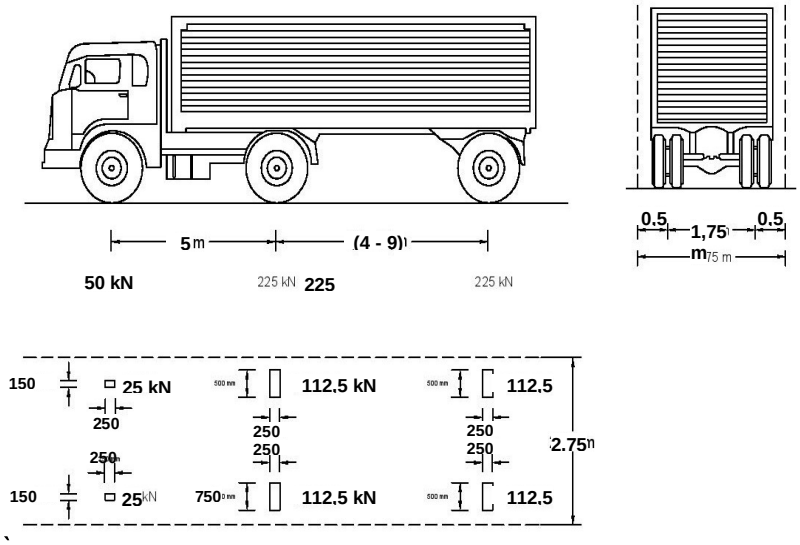
2.4.4.2 Beban Truk T

Selain beban "D", terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk "T". Beban truk "T" tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban "D". Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Adapun faktor beban untuk beban "T" seperti terlihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Faktor Beban untuk Beban "T"

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

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)



Gambar 2.11 Pembebanan Truk T

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar. 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.

2.4.4.3 Gaya Rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

a. 25% dari berat gandar truk desain atau,
b. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara

horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing – masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem.

2.4.5 Beban Angin

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.

Tabel 2.8. Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaaan hulu

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

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

Tabel 2.9. Nilai P_B 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 *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

2.4.6 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 ekivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut :

$$E_Q = \frac{Csm}{Rd} \, x \, W_t$$

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)

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.

Tabel 2.10 Faktor modifikasi respon (Rd) untuk kolom dan hubungan dengan bangunan bawah

	Kolom atau pilar	**Penghubung *(connection)* bangunan atas pada**		
		Kepala jembatan *(b)*	**Kolom, pilar atau tiang *(c)***	**Sambungan dilatasi**
Pilar tipe dinding *(a)*	2 (sumbu kuat) 3 (sumbu	0,8	1,0	0,8
Kolom tunggal	3-4			
Kolom majemuk	5-6			
pile cap beton	2-3			

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

2.4.7. Beban Temperatur

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

$$\Delta T = \alpha L\,(Tmax\ design - Tmin\ design)$$

Keterangan :

L = Panjang komponen jembatan (mm)

α = Koefisien muai temperatur (mm/mm/ºC)

Tabel 2.11 Temperatur jembatan rata-rata nominal

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

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

Tabel 2.12 Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	12 x 10^{-6} per °C	200.000
Beton: Kuat tekan <30 MPa Kuat tekan >30 MPa	 10 x 10^{-6} per °C 11 x 10^{-6} per °C	 4700√fc' 4700√fc'

(Sumber *: Pembebanan Jembatan SNI 1725 – 2016*)

2.4.8. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi Persamaan 1 untuk kombinasi beban – beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut :

Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

Kuat II : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

Kuat III : Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Kuat IV : Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

Kuat V : Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Ekstrem I : Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup γ_{EQ} yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

Ekstrem II : Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup terkurangi dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (*TC*). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal

Layan I : Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong – gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang; dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental.

Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

Layan II : Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.

Layan III : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.

Layan IV : Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.

Fatik : Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

MS = Beban mati komponen struktural dan non structural jembatan

MA = Beban mati perkerasan dan utilitas

PL = Gaya – gaya terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, temasuk semua gaya yang terjadi akibat prubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental.

PR = Prategang

SH = Gaya akibat susut atau rangkak

TA = Gaya horizontal akibat tekanan tanah

TB = Gaya akibat rem

TR = Gaya sentrifugal

TC = Gaya akibat tumbukan kendaraan

TV = Gaya akibat tumbukan kapal

EQ = Gaya gempa

BF = Gaya frikal

TD = Beban lajur “D”

TT = Beban lajur “T”

TP = Beban pejalan kaki

SE = Beban akibat penurunan

ET = Gaya akibat temperature gradien

EUn = Gaya akibat temperature seragam

EF = Gaya apung

EWs = Beban angin pada struktur

EW_L = Beban angin pada kendaraan

EU = Beban arus dan hanyutan