
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Umum

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa). Jika jembatan itu berada di atas jalan lalu lintas biasa maka biasanya dinamakan *viaduct*.

Mengingat fungsi dari jembatan yaitu sebagai penghubung dua ruas jalan yang dilalui rintangan, seperti sungai, lembah, jalan, jurang dan lain sebagainya, maka jembatan dapat dikatakan sebagai bagian dari suatu jalan, baik jalan raya maupun jalan kereta api. Apabila jembatan terputus maka lalu lintas akan terhenti. Jembatan dapat dibagi dalam golongan – golongan seperti Jembatan tetap, Jembatan dapat digerakkan kedua golongan dipergunakan untuk lalu lintas kereta api dan lalu lintas biasa.

2.1.1. Golongan A

- a) Jembatan kayu, digunakan untuk lalu lintas biasa pada bentangan kecil dan untuk jembatan pembantu.
- b) Jembatan baja, terbagi atas :
 1. Jembatan yang sederhana dimana lantai kendaraannya langsung berada di atas gelagar-gelagar. Untuk gelag-gelagar itu dipergunakan gelagar-gelagar yang tidak dapat dipisahkan atau gelagar-gelagar canai.

2. Jembatan gelagar kembar, digunakan untuk lalu lintas kereta api, dengan batang rel diantara balok – balok.
 3. Jembatan dengan pemikul lintang dan pemikul memanjang, gelagar induknya ialah gelagar dinding penuh yang tidak dapat dipisahkan atau gelagar pekerjaan.
 4. Jembatan Pelengkungan.
 5. Jembatan Gantung.
- c) Jembatan dari beton bertulang, dalam golongan ini termasuk juga jembatan- jembatan yan gelagar-gelagarnya di dalam beton.
- d) Jembatan batu, hampir tidak ada kecualinya dipergunakan untuk lalu lintas biasa.

2.1.2. Golongan B

- a) Jembatan yang dapat berputar di atas poros mendatar, Yaitu :
1. Jembatan Angkat.
 2. Jembatan Baskul.
 3. Jembatan lipat Straus.
- b) Jembatan yang dapat berputar di atas poros mendatar juga termasuk poros-poros yang dapat berpindah sejajar dan mendatar, seperti apa yang dinamakan jembatan baskul beroda.
- c) Jembatan yang dapat berputar di atas suatu poros tegak, atau jembatan putar.
- d) Jembatan yang dapat berkisar ke arah tegak lurus atau mendatar, yaitu :
1. Jembatan Angkat.
 2. Jembatan Beroda.

3. Jembatan Gojah atau Ponts Transbordeur.

Untuk jembatan – jembatan dalam golongan ini terutama digunakan konstruksi-konstruksi baja. Dilaksanakan sebagai gelagar dinding penuh atau sebagai pekerjaan vak.

2.1.3. Klasifikasi Jalan

Pada umumnya jembatan dapat diklasifikasikan dalam delapan jenis yaitu :

- a) Klasifikasi menurut tujuan penggunaannya, yaitu :
 1. Jembatan Jalan Raya.
 2. Jembatan Jalan Kereta Api.
 3. Jembatan Air / Pipa dan Saluran.
 4. Jembatan Militer.
 5. Jembatan Pejalan Kaki / Penyeberangan.
- b) Klasifikasi menurut bahan material yang digunakan, yaitu :
 1. Jembatan Kayu.
 2. Jembatan Baja.
 3. Jembatan Beton / Beton Bertulang (RC).
 4. Jembatan Beton Prategang (PC).
 5. Jembatan Batu Bata.
 6. Jembatan Komposit.
- c) Klasifikasi menurut formasi lantai kendaraan, yaitu :
 1. Jembatan Lantai Atas.
 2. Jembatan Lantai Tengah.
 3. Jembatan lantai Bawah.
 4. Jembatan Double Deck.

-
- d) Klasifikasi menurut struktur / konstruksinya, yaitu :
1. Jembatan Gelagar (*Girder Bridge*).
 2. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*).
 3. Jembatan Portal (*Rigid Frame Bridge*).
 4. Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*).
 5. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*).
 6. Jembatan Kabel (*Cable Stayed Bridge*).
- e) Klasifikasi menurut bidang yang dipotongkan, yaitu :
1. Jembatan Tegak Lurus (*Straight Bridge*).
 2. Jembatan Menceng (*Skewed Bridge*).
 3. Jembatan Lengkung (*Curved Bridge*).
- f) Klasifikasi menurut lokasi, yaitu :
1. Jembatan Biasa.
 2. Jembatan Viaduct.
 3. Jembatan Layang (*Overbridge / Roadway Crossing*).
 4. Jembatan Kereta Api.
- g) Klasifikasi menurut keawetan umur, yaitu :
1. Jembatan Darurat.
 2. Jembatan Sementara.
 3. Jembatan Permanen.
- h) Klasifikasi menurut tingkat kemampuan / derajat gerak, yaitu :
1. Jembatan Tetap.
 2. Jembatan Dapat Digerakkan.

2.2. Bagian –Bagian Jembatan

Secara umum konstruksi jembatan rangka baja memiliki dua bagian yaitu bangunan atas (*upper structure*) dan bangunan bawah (*sub structure*). Bangunan atas adalah konstruksi yang berhubungan langsung dengan beban – beban lalu lintas yang bekerja. Sedangkan bangunan bawah adalah konstruksi yang menerima beban – beban dari bangunan atas dan meneruskannya ke lapisan pendukung (tanah keras) di bawahnya.

2.3. Struktur Atas Jembatan

Struktur bangunan atas jembatan (*upper structure*) merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi beban sendiri, beban tambahan, beban lalu lintas, dan beban khusus lainnya. Struktur atas jembatan ini meliputi:

2.4. Dinding Sandaran

Dalam Perencanaan Jembatan komposit diperlukan adanya dinding sandaran. Dinding sandaran berfungsi sebagai pembatas jalan dan sebagai pagar pengaman baik untuk kendaraan maupun pejalan kaki.

2.5. Pelat Lantai Jembatan

Pelat lantai kendaraan merupakan komponen utama jembatan yang berkontak langsung dengan kendaraan pada jembatan jalan raya. Berdasarkan SNI T 12 2004 Ps. 5.5.2, pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan. pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus memenuhi tebal minimum t_s memenuhi dua ketentuan :

$$t_s \geq 200 \text{ mm}$$

$$t_s \geq (100 + 0,04 l) \text{ mm}$$

Dimana l adalah bentang pelat ukuran dari pusat ke pusat tumpuan (dalam meter). Sehingga :

$$t_s \geq 200 \text{ mm}$$

$$t_s \geq (100 + 0,04(1000)) \text{ mm}$$

$$t_s \geq 140 \text{ mm}$$

Dalam hal ini pelat yang dipakai adalah pelat 2 arah. Pelat dua arah di definisikan sebagai pelat yang didukung sepanjang keempat sisi atau perbandingan antara panjang dan lebar pelat tidak lebih dari dua.

Momen pelat akibat beban merata menggunakan metode markus. Metode markus didasarkan pada pendekatan momen dengan menggunakan koefisien-koefisien yang disederhanakan dimana koefisien ini telah dicantumkan dalam sebuah tabel sesuai dengan kondisi perletakan ujung-ujung pelat.

Momen akibat beban hidup yaitu akibat beban "T". Yang merupakan kendaraan truk yang mempunyai roda ganda. Karena lebar lantai jembatan $\geq 5,5$ m, maka di tinjau dari 2 kondisi :

Pada kondisi 1

$$t_x = 0,5 + 2 x \frac{0,16}{tg 45^\circ}$$

$$t_y = 0,2 + 2 x \frac{0,16}{tg 45^\circ}$$

Untuk penyebaran rodanya

$$T = \frac{T}{t_x \times t_y}$$

$$k = T \left(1 + \frac{20}{50 + L} \right)$$

Pada kondisi 2

$$t = \frac{0,16}{\text{tg } 45^\circ}$$

$$2x = 1 - t$$

$$t_x = 2x + 2t$$

$$t_y = 0,2 + 2x \frac{0,16}{1}$$

$$T = \frac{p}{t_y x t_x}$$

Untuk penyebaran rodanya

$$T = \frac{p}{t_y x t_x}$$

$$k = T \left(1 + \frac{20}{20 + L} \right)$$

Penulangan menggunakan rumus

$$\rho_b = \frac{\beta_1 \cdot 0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 + f_y}$$

$$R_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y \left(1 - \frac{0,5 \cdot 0,75 \cdot \rho_b \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c} \right)$$

$$d = t_s - d'$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2}$$

Untuk rasio tulangan yang di perlukan

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

Untuk luas tulangan yang di perlukan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

Untuk jumlah tulangan yang di perlukan

$$n = \frac{A_s}{A}$$

Untuk jarak tulangan yang di perlukan

$$S = \frac{b}{n-1}$$

2.6. Deck Slab Jembatan

Deck slab precast merupakan bagian dari struktur atas yang berguna sebagai lantai kerja untuk pekerjaan plat lantai jembatan dengan pengadaan secara *precast* karena struktur lantai jembatan adalah *cast in place*. Pengaruh Deck Slab terhadap plat lantai adalah menyalurkan beban yang diterima plat lantai ke balok girder, deck yang digunakan *precast*, supaya mempermudah dalam pelaksanaan.

2.7. Diafragma Jembatan

Perencanaan diafragma menggunakan simple beam, yaitu diafragma dianggap beban sendiri sehingga hanya menerima beban berat sendiri. Adapun fungsi sebagai pengunci dan pengaku antar girder agar tidak terjadi guling. Pada Girder baja di beri pengaku samping yang berupa balok diafragma yang berfungsi sebagai pengaku samping yang merupakan dukungan lateral dengan jarak. Sehingga dengan adanya diafragma membantu jembatan menjadi lebih aman.

2.8. Gelagar Jembatan

Gelagar pada jembatan komposit merupakan Gelagar yang menggunakan Baja. Dengan begitu tegangan yang terjadi pada jembatan tidak boleh melebihi

tegangan yang terjadi. Begitupun dengan lendutan yang terjadi pada gelagar jembatan tidak boleh melebihi Batas Elastis yang terjadi.

2.9. Pembebanan Jembatan

Dalam perencanaan struktur jembatan secara umum, khususnya jembatan komposit, hal yang perlu sekali diperhatikan adalah masalah pembebanan yang akan bekerja pada struktur jembatan yang dibuat. Menurut pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya (PPPJJR No 378/1987), menurut RSNI T-02-2005 dan menurut SNI 2016 tentang Standar Pembebanan Untuk Jembatan membagi pengelompokan pembebanan jembatan dalam tiga kelas, yaitu:

2.9.1. Aksi / Beban Tetap

Aksi / Beban tetap ialah masa dari bagian bangunan yang harus dihitung berdasarkan dimensi dan kerapatan masa rata-rata dari bahan yang digunakan. Beban ini bisa juga dikatakan beban primer. Beban primer merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Beban ini terdiri dari berat masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen non struktural. Masing-masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang terintegrasi terhadap waktu menerapkan faktor beban dan yang berkurang. Beban ini terdiri dari :

a. Berat Sendiri

Berat sendiri dari bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen – elemen struktural yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

Tabel 2.1. Faktor Beban untuk Berat Sendiri

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	$K_{S,MS}$		$K_{U,MS}$	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja, aluminium	1,0	1,1	0,9
	Beton pracetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

(sumber : RSNI T-02-2005)

b. Beban mati tambahan / Utilitas

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

Tabel 2.2. Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN			
	$K_{S,MA}$		$K_{U,MA}$	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Keadaan umum	1,0 (1)	2,0	0,7
	Keadaan khusus	1,0	1,4	0,8
CATATAN (1) Faktor beban daya layan 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

(sumber : RSNI T-02-2005)

Tabel 2.3. Berat Isi Untuk Beban Mati dan Beban Tambahan

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi (kN/m ³)	Kerapatan Masa (kg/m ³)
1	Campuran aluminium	26.7	2720
2	Lapisan permukaan beraspal	22.0	2240
3	Besi tuang	71.0	7200
4	Timbunan tanah dipadatkan	17.2	1760
5	Kerikil dipadatkan	18.8-22.7	1920-2320
6	Aspal beton	22.0	2240
7	Beton ringan	12.25-19.6	1250-2000
8	Beton	22.0-25.0	2240-2560
9	Beton prategang	25.0-26.0	2560-2640
10	Beton bertulang	23.5-25.5	2400-2600
11	Timbal	111	11 400
12	Lempung lepas	12.5	1280
13	Batu pasangan	23.5	2400
14	Neoprin	11.3	1150
15	Pasir kering	15.7-17.2	1600-1760
16	Pasir basah	18.0-18.8	1840-1920
17	Lumpur lunak	17.2	1760
18	Baja	77.0	7850
19	Kayu (ringan)	7.8	800
20	Kayu (keras)	11.0	1120
21	Air murni	9.8	1000
22	Air garam	10.0	1025
23	Besi tempa	75.5	7680

(sumber : RSNI T-02-2005)

c. Tekanan Tanah

Tabel 2.4. Faktor beban akibat tekanan tanah

JANGKA WAKTU	DESKRIPSI	FAKTOR BEBAN		
		K_{TA}^S	K_{TA}^U	
			Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan tanah vertikal	1,0	1,25 (1)	0,80
	Tekanan tanah lateral			
	- aktif	1,0	1,25	0,80
	- pasif	1,0	1,40	0,70
	- keadaan diam	1,0	lihat penjelasan	

(sumber : RSNi T-02-2005)

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung sifat-sifat tanah. Sifat –sifat tanah dari hasil pengujian tanah dan pengukuran. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral daya layan dihitung berdasarkan harga nominal dari W_s , c dan ϕ . Harga-harga rencana c dan ϕ diperoleh dari harga nominal dengan menggunakan faktor pengurang K^R . seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.5. sifat-sifat untuk tekanan tanah

Sifat-sifat Bahan untuk Menghitung Tekanan Tanah	Keadaan Batas Ultimit	
	Biasa	Terkurangi
Aktif: $w_s^* =$ (1) $\varphi^* =$ $c^* =$	w_s $\tan^{-1} (K_\phi^R \tan \varphi)$ $K_c^R c$ (3)	w_s $\tan^{-1} [(\tan \varphi) / K_\phi^R]$ c / K_c^R
Pasif: $w_s^* =$ (1) $\varphi^* =$ $c^* =$	w_s $\tan^{-1} [(\tan \varphi) / K_\phi^R]$ c / K_c^R	w_s $\tan^{-1} (K_\phi^R \tan \varphi)$ $K_c^R c$ (3)
Vertikal: $w_s^* =$	w_s	w_s
<p>CATATAN (1) Harga rencana untuk geseran dinding, δ^*, harus dihitung dengan cara yang sama seperti φ^*</p> <p>CATATAN (2) K_ϕ^R dan K_c^R adalah faktor reduksi kekuatan bahan</p> <p>CATATAN (3) Nilai φ^* dan c^* minimum berlaku umum untuk tekanan tanah aktif dan pasif</p>		

(sumber : RSNi T-02-2005)

2.9.2. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah seluruh beban vertikal dan horisontal akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truck “T”.

a. Beban lajur D

Beban lajur “D” adalah beban lajur lalu lintas bagian dari lintai kendaraan yang digunakan oleh suatu rangkaian kendaraan.

Tabel 2.6. Faktor Beban Akibat Beban Lajur “D”

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S;TD}$	$K_{U;TD}$
Transien	1,0	1,8

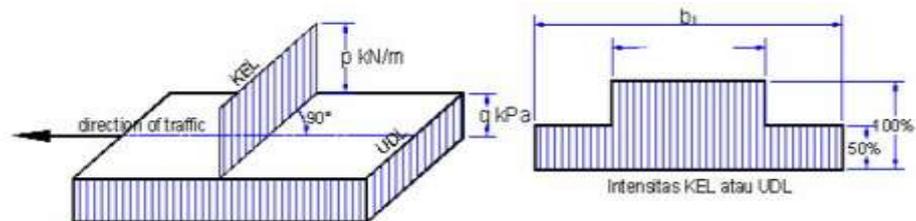
(sumber : RSNI T-02-2005)

Beban Lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR) yang digabungkan dengan Beban Garis (BGT).

Beban tersebar merata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti berikut:

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kpa}$$

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



Gambar 2.1. Beban Lajur “D”

Faktor beban dinamis (Dynamic Load Allowance) untuk

KEL diambil dengan cara berikut :

$$\text{Untuk } L \leq 50 \text{ m} \quad \text{DLA} = 0,4$$

$$\text{Untuk } 50 < L < 90 \text{ m} \quad \text{DLA} = 0,4 - 0,0025 \cdot (L - 50)$$

$$\text{Untuk } L \geq 90 \text{ m} \quad \text{DLA} = 0,3$$

Beban garis (BGT) dengan intensitas p kN/m harus tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49 kN/m.

Lajur lalu lintas rencana harus disusun sejajar dengan sumbu memanjang jembatan. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lembar jembatan bisa dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 2.7. Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

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

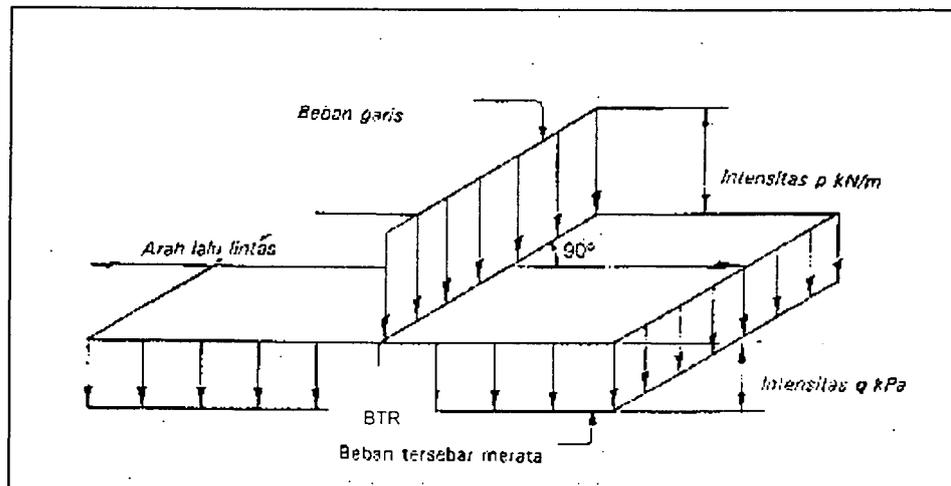
CATATAN (1) Untuk jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh Instansi yang berwenang.

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

CATATAN (3) Lebar minimum yang aman untuk dua-lajur kendaraan adalah 6.0 m. Lebar jembatan antara 5,0 m sampai 6,0 m harus dihindari oleh karena hal ini akan memberikan kesan kepada pengemudi seolah-olah memungkinkan untuk menyiap.

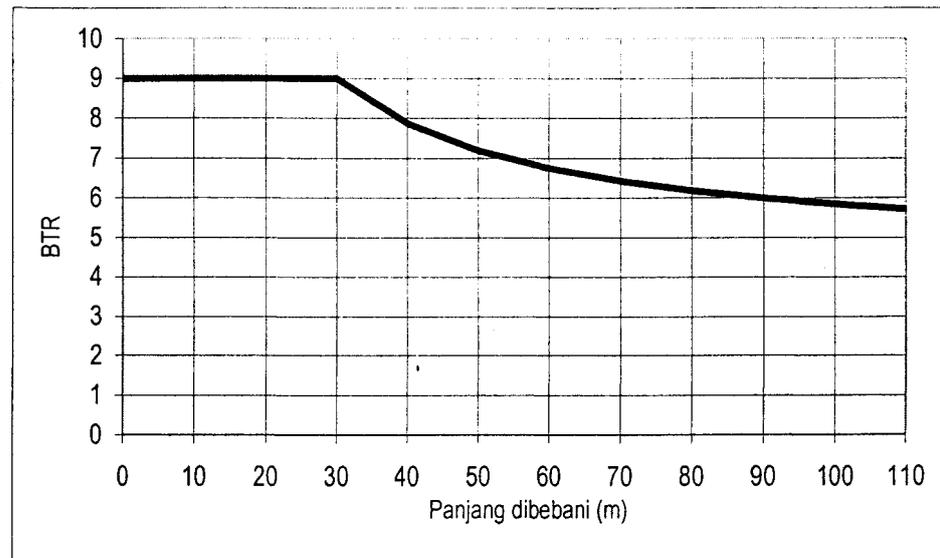
(sumber : RSNI T-02-2005)

Untuk mendapat momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lain. Bisa dilihat dalam gambar berikut.



Gambar 2.2. Detail Beban Lajur “D”

Untuk perhitungan gelagar harus dipergunakan beban “D” atau beban jalur. Beban jalur adalah susunan beban pada setiap jalur lalu lintas yang terdiri dari beban yang terbagi beban rata sebesar “q” ton/m panjang perjalur dan beban garis “p” ton perjalur lalu lintas. Untuk menentukan beban “D” digunakan lebar jalan 7,5 m, maka jumlah jalur lalu lintas sebagai berikut:



Gambar 2.3. Beban “D” : BTR vs panjang yang dibebani

b. Beban Truk “T”

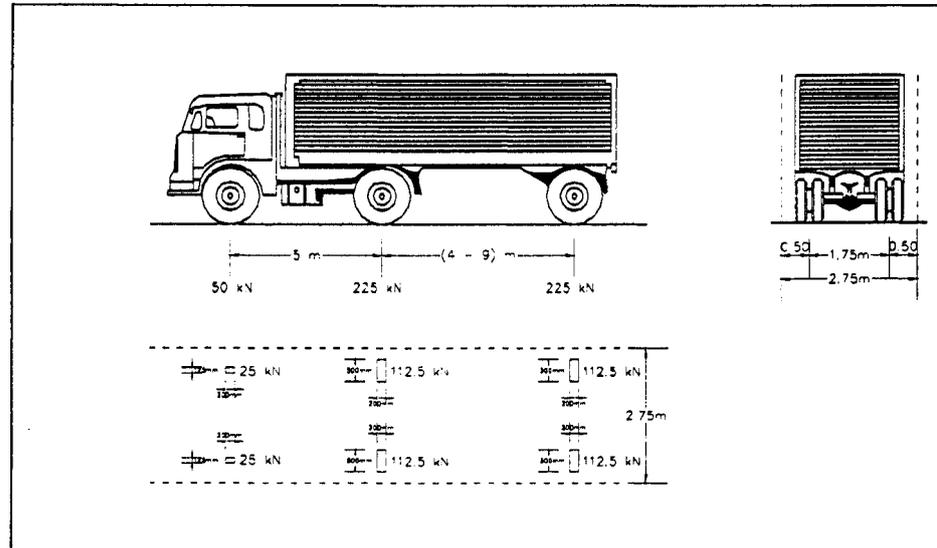
Beban truck “T” adalah Beban seluruh lebar bagian jembatan yang digunakan untuk menerima beban dari lalu lintas kendaraan.

Tabel 2.8. Faktor Beban Akibat Pembebanan Truck “T”

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S;TT}$	$K_{U;TT}$
Transien	1,0	1,8

(sumber : RSNI T-02-2005)

Pembebanan truck “T” terdiri dari kendaraan truck semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti.



Gambar 2.4. Pembebanan Truck “T” (500 kN)

Berat masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak 2 as tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan, yang artinya beban truck “T” perlu dikalikan dengan faktor beban dinamis (FBD) dan faktor distribusi. Untuk pembebanan truck “T” FBD diambil sebesar 30%. Harga FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah.

c. Gaya Rem

Tabel 2.9. Faktor Beban akibat Gaya Rem

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S;TB}$	$K_{U;TB}$
Transien	1,0	1,8

(sumber : RSNI T-02-2005)

Bekerjanya gaya-gaya di arah memanjang jembatan, akibat gaya rem dan traksi, harus di tinjau untuk kedua jurusan lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan senilai dengan gaya rem sebesar 5% dari beban lajur “D” yang di anggap ada pada semua jalur lalu lintas , tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan dalam satu jurusan. Gaya rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan dengan titik tangkap setinggi 1,8 m diatas permukaan lantai kendaraan. Gaya rem hanya menimbulkan momen, sedangkan gaya geser akibat beban rem tidak akan terjadi besarnya momen yang terjadi akibat gaya rem memiliki nilai yang sama pada titik sepanjang bentang jembatan. Besarnya gaya rem tergantung panjang total jembatan sebagai berikut :

Untuk $L \leq 80$ m

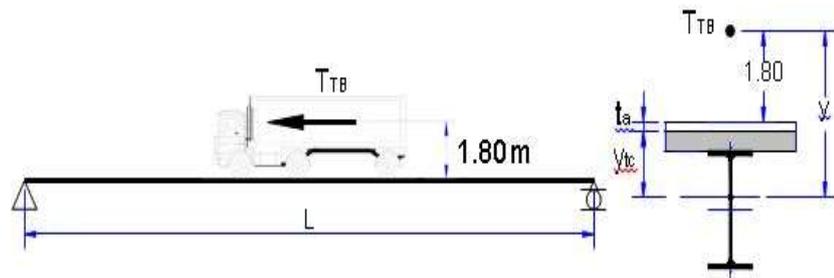
Gaya rem, $T_{TB} = 250$ kN

Untuk $80 < L < 180$ m

Gaya rem, $T_{TB} = 250$ kN + $2,5 \cdot (L - 80)$ kN

Untuk $L \geq 180$

Gaya rem, $T_{TB} = 500$ kN



Gambar 2.5. Beban gaya rem

Lengan terhadap pusat tampang girder

$$Y = Y_{TC} + t_a + 1,8$$

d. Beban Pejalan Kaki

Tabel 2.10. Faktor Beban akibat Pembebanan untuk Pejalan Kaki

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S;TP}$	$K_{U;TP}$
Transien	1,0	1,8

(sumber : RSNI T-02-2005)

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyebrangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa.

Apabila trotoar memungkinkan digunakan untuk kendaraan ringan atau ternak maka trotoar harus direncanakan untuk bisa memikul beban hidup terpusat sebesar 20 kN.

2.9.3. Beban Khusus

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

a. Pengaruh Temperatur / Suhu

Tabel 2.11. Faktor Beban akibat pengaruh temperatur / suhu

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S,ET}$	$K_{U,ET}$
		Biasa Terkurangi
Transien	1,0	1,2 0,8

(sumber : RSNi T-02-2005)

Peninjauan diadakan terhadap timbulnya tegangan –tegangan struktural karena adanya perubahan akibat perbedaan suhu antara bagian-bagian jembatan baik yang menggunakan bahan yang sama ataupun dengan bahan yang berbeda. Perbedaan suhu ditetapkan sesuai dengan data perkembangan suhu setempat.

Tabel 2.12. temperatur jembatan rata-rata nominal

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

(sumber : RSNi T-02-2005)

Untuk perhitungan tegangan-tegangan dan pergerakan pada jembatan / bagian-bagian jembatan / perletakan akibat perbedaan suhu dapat diambil nilai modulus elastisitas young (E) dan koefisien muai panjang (ϵ) sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 2.13. sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur

Bahan	Koefisien Perpanjangan Akibat Suhu	Modulus Elastisitas MPa
Baja	12×10^{-6} per °C	200.000
Beton:		
Kuat tekan <30 MPa	10×10^{-6} per °C	25.000
Kuat tekan >30 MPa	11×10^{-6} per °C	34.000
Aluminium	24×10^{-6} per °C	70.000

(sumber : RSNI T-02-2005) * tergantung dari mutu bahan

b. Beban Angin

Tabel 2.14. Faktor Beban akibat Beban Angin

JANGKA WAKTU	FAKTOR BEBAN	
	$K_{S;EW}$	$K_{U;EW}$
Transien	1,0	1,2

(sumber : RSNI T-02-2005)

Beban angin tanpa kendaraan di atas jembatan. Gaya nominal ultimit dan layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana sebagai berikut :

$$T_{EW} = 0,0006 C_W (V_w)^2 A_b \text{ [kN]}$$

Dengan pengertian

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

C_W adalah koefisien seret

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

Tabel 2.15. Kecepatan Angin Rencana V_w

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

(sumber : RSNI T-02-2005)

Tabel 2.16. Koefisien Seret C_w

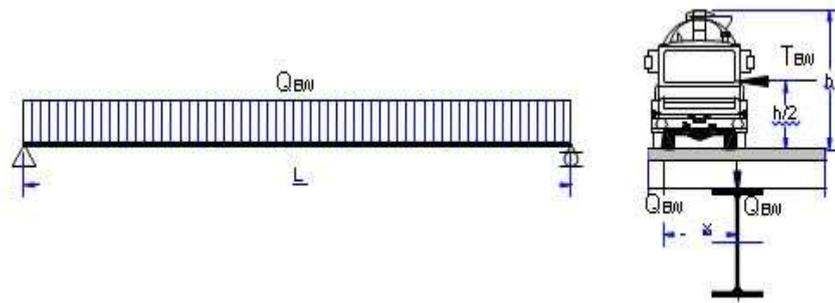
Tipe Jembatan	C_w
Bangunan atas masif: (1), (2)	
$b/d = 1.0$	2.1 (3)
$b/d = 2.0$	1.5 (3)
$b/d \geq 6.0$	1.25 (3)
Bangunan atas rangka	1.2
CATATAN (1) b = lebar keseluruhan jembatan dihitung dari sisi luar sandaran d = tinggi bangunan atas, termasuk tinggi bagian sandaran yang masif	
CATATAN (2) Untuk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

(sumber : RSNI T-02-2005)

Kecepatan angin harus diambil seperti yang diberi dalam tabel 10. Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horisontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

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

Dengan pengertian $C_w = 1.2$



Gambar 2.6. Momen Gaya Angin (Ew)

transfer beban angin ke lantai jembatan yang terjadi adalah

$$Q_{ew} = \frac{1}{2} \frac{x h}{X} x T_{ew}$$

c. Beban Gempa

Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut :

$$T^*_{EQ} = K_h I W_T$$

Dimana

$$K_h = C S$$

Dengan pengertian

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

K_h adalah koefisien beban gempa horison tal

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

I adalah faktor kepentingan

S adalah faktor tipe bangunan

W_T adalah berat total minimum bangunan yang mempengaruhi kecepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN)

d. Tekanan tanah akibat Gempa

Gaya gempa arah lateral akibat tekanan tanah (tekanan tanah dinamis) dihitung dengan menggunakan faktor harga sifat bahan. Koefisien geser dasar C dapat diambil dari tabel berikut

Tabel 2.17. koefisien geser dasar untuk tekanan tanah lateral

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

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

(sumber : RSNI T-02-2005)

Faktor kepentingan I diberikan dalam tabel berikut

Tabel 2.18. Faktor kepentingan Akibat Gempa

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

(sumber : RSNI T-02-2005)

Faktor tipe struktur S untuk Kh harus diambil sama dengan 1,0 pengaruh dari percepatan tanah arah vertikal bisa diabaikan.

e. Tekanan air lateral akibat Gempa

Gaya gempa arah lateral akibat tekanan air ditentukan dalam tabel berikut

Tabel 2.19. Gaya air lateral akibat gempa

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

(sumber : RSNI T-02-2005)

Dengan pengertian :

K_h adalah koefisien pembebanan gempa horisontal ($K_h = C S$)

I adalah faktor kepentingan tabel 2.23

W_o adalah berat isi air, bisa diambil $9,8 \text{ kN/m}^3$

b adalah lebar dinding tegak lurus dari arah gaya (m)

h adalah kedalaman air (m)

2.9.4. Kombinasi Pembebanan

Konstruksi jembatan beserta bagian-bagiannya harus ditinjau dari kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja. Sesuai dengan sifat-sifat serta kemungkinan-kemungkinan pada setiap beban, tegangan yang digunakan dalam kekuatan pemeriksaan konstruksi yang bersangkutan dinaikkan terhadap tegangan yang diizinkan sesuai dengan elastis. Tegangan yang digunakan dinyatakan dalam proses terhadap tegangan yang diizinkan sesuai kombinasi pembebanan dan gaya. Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan cara mengkalikan faktor beban dengan gaya atau beban yang bekerja pada jembatan itu sendiri. Adapun

keadaan kombinasi beban – beban pada setiap keadaan batas sesuai dengan SNI 2016 tentang pembebanan untuk jembatan sebagai berikut :

Kuat 1 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 2 Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

Kuat 3 Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Kuat 4 Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

Kuat 5 Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Sedang menurut pedoman perencanaan pembebanan jembatan jalan raya (PPPJJR 1987) tegangan yang digunakan dinyatakan dalam prosen terhadap tegangan yang diizinkan sesuai kombinasi dan gaya pada tabel berikut :

Tabel 2.20. Kombinasi Pembebanan dan Gaya

Kombinasi Pembebanan dan Gaya	Tegangan yang digunakan dalam prosen terhadap tegangan izin keadaan elastis
I. $M + (H + K) + Ta + Tu$	100%
II. $M + Ta + Ah + Gg + A + SR + Tm$	125%
III. Kombinasi (I) + $Rm + Gg + A + SR + Tm + S$	140%
IV. $M + Gh + Tag + Gg + AHg + Tu$	150%
V. $M + P1$	130%
VI. $M + (H + K) + Ta + S + Tb$	150%

(sumber : PPPJJR 1987)

Dengan pengertian :

A = beban angin

Ah = gaya akibat hanyutan aliran dan hanyutan

AHg = gaya akibat hanyutan aliran dan hanyutan pada waktu gempa

Gg = gaya gesek pada tumpuan bergerak

Gh = gaya horisontal ekivalen akibat gempa

(H+K) = beban hidup dengan beban kejut

M = beban mati

P1 = gaya-gaya pada waktu pelaksanaan

Rm = gaya rem

S = gaya sentrifugal

SR = gaya akibat susutan dan rangkai

Tm = gaya akibat perubahan suhu

Ta = gaya tekanan tanah

Tag	=	gaya tekanan tanah akibat gempa bumi
Tb	=	gaya tumbuk
Tu	=	gaya angkat

Sedang menurut RSNI T 02 2005 tegangan berlebihan yang diberikan dalam tabel berikut sebagai prosentase dari tegangan kerja yang diizinkan.

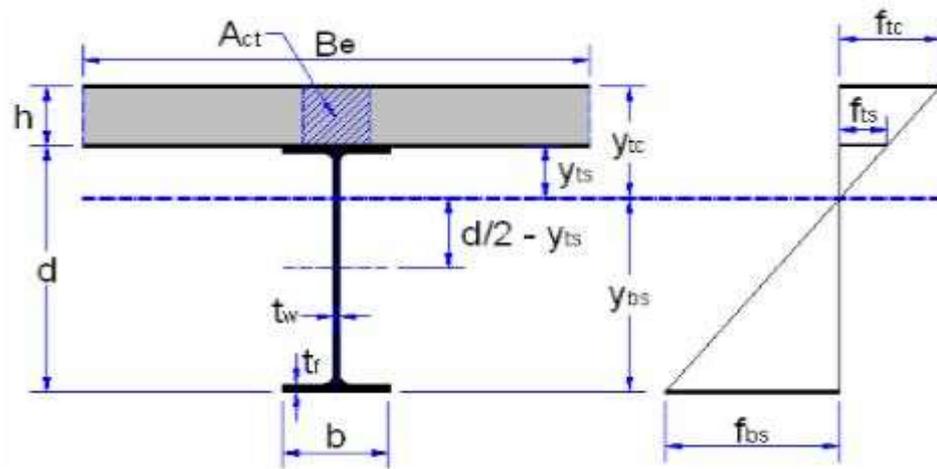
Tabel 2.21. Kombinasi beban untuk perencanaan tegangan kerja

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

(sumber : RSNI T-02-2005)

2.10. Konsep Dasar Jembatan Komposit

Struktur jembatan komposit merupakan gabungan antara dua bahan, yaitu struktur beton (beton bertulang) dan struktur baja. Kedua bahan ini digabungkan menjadi satu kesatuan yang utuh.



Gambar 2.7. Section Komposit

Tegangan pada sisi atas beton

$$F_{tc} = \frac{M \times 10^6}{(n \times W_{tc})}$$

Tegangan pada atas baja

$$F_{ts} = \frac{M \times 10^6}{W_{ts}}$$

Tegangan pada bawah baja

$$F_{ts} = \frac{M \times 10^6}{W_{bs}}$$

Lendutan Maximum akibat

1. Beban Merata Q

$$\delta_{max} = \frac{5}{348} \times Q \times L^4$$

$$Es * I_{com}$$

2. Beban Terpusat P

$$\delta_{max} = \frac{1}{48} \times P \times L^3$$

$$Es * I_{com}$$

3. Beban Momen M

$$\delta_{max} = \frac{1}{72\sqrt{3}} \frac{M x 2}{E_s * I_{com}}$$

Rasio perbandingan modulus elastisitas

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

Luas penampang beton transformasi

$$A_{ct} = B e x \frac{h}{n}$$

Luas penampang komposit

$$A_{com} = A + A_{ct}$$

Momen statis penampang terhadap sisi bawah balok

$$A_{com} * y_{bs} = A * \frac{d}{2} + A_{ct} * (d + \frac{h}{2})$$

Jarak garis netral terhadap sisi bawah

$$y_{bs} = \frac{A * \frac{d}{2} + A_{ct} * (d + \frac{h}{2})}{A_{com}}$$

Jarak sisi atas profil baja terhadap garis netral

$$y_{ts} = d - y_{bs}$$

Jarak sisi atas slab beton terhadap garis netral

$$y_{tc} = h + y_{ts}$$

Momen inersia penampang komposit

$$I_{com} = \frac{1}{12} x B e * \frac{h^3}{n} + A_{ct} x \left(Y_{ct} * \frac{h}{2} \right)^2 + I_x + A x \left(\frac{d}{2} - Y_{ts} \right)^2$$

Tahan momen penampang komposit

Sisi atas beton

$$W_{tc} = \frac{I_{com}}{Y_{tc}}$$

Sisi atas baja

$$W_{ts} = \frac{I_{com}}{Y_{ts}}$$

Sisi bawah baja

$$W_{bs} = \frac{I_{com}}{Y_{bs}}$$

Tegangan Ijin

Tegangan ijin lentur beton

$$F_c = 0,4 \times f'_c$$

Tegangan ijin lentur baja

$$F_s = 0,8 \times f_s$$

2.10.1. Sifat Mekanis Baja

Struktur baja harus dapat memikul beban rancangan secara aman tanpa kelebihan tegangan pada material dan memiliki deformasi yang masih dalam daerah yang diizinkan. Kemampuan struktur baja untuk memikul beban tanpa adanya kelebihan tegangan diperoleh dengan menggunakan faktor keamanan dalam desain elemen struktur. Dengan menentukan jenis dan bentuk elemen struktur baja yang digunakan. Untuk melakukan analisis dan maupun desain elemen struktur perlu ditetapkan kriteria yang dapat digunakan sebagai patokan maupun untuk menentukan apakah suatu struktur rangka baja dapat diterima untuk penggunaan yang sesuai dengan yang diinginkan untuk maksud disain tertentu.

Struktur jembatan rangka baja terdiri dari beberapa jenis maupun bentuk baja yang saling terhubung menjadi suatu rangkaian rangka baja. Sifat mekanis baja struktural yang digunakan harus memenuhi persyaratan minimum yang tercantum pada **RSNI-T-03-2005**, sebagai berikut :

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u [MPa]	Tegangan leleh minimum, f_y [MPa]	Peregangan Minimum
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Tabel 2.22. Sifat Mekanis Baja Struktural

(sumber : RSNI T-03-2005)

Sifat-sifat mekanis baja struktural lainnya untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut :

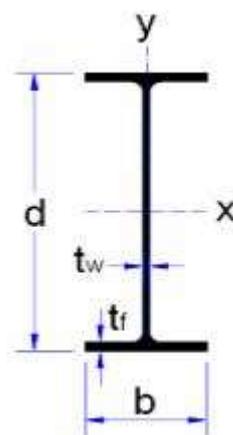
Modulus elastisitas : $E = 200.000$ MPa

Modulus geser : $G = 80.000$ MPa

Angka poisson : $\mu = 0.3$

Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}$

Untuk baja tipe I wf



Gambar 2.8. Section Baja IWF

Kontrol penampang baja syarat yang di gunakan yaitu :

$$\frac{L}{d} > \frac{1,25 \times b}{t}$$

Dimana :

L : Panjang jembatan

b : tinggi baja

d : lebar baja

t : lebar sayap

Untuk tegangan kip nya dihitung dengan rumus :

$$F_{kip} = f_s - \frac{(c_1 - 250)}{(c_2 - 250)} * 0.3 * f_s$$

Dimana :

$$c1 = L1 \cdot \frac{d}{b \cdot tf}$$

$$c1 = 0,63 \cdot \frac{Es}{fs}$$

F_s = Tegang Dasar

E_s = Mod ulus Elastisitas Baja

T_f = lebar sayap baja

Tengangan lentur baja dihitung dengan

$$F = M \frac{x10^6}{W_x}$$

Dimana :

F : Tegangan yang terjadi

M : Momen yang terjadi

W_x : Tahan momen penampang baja

Untuk menghitung lendutan yang terjadi tergantung bagaimana gaya yang terjadi misal :

untuk beban merata menggunakan

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot Qt \cdot L^4$$

$$E \cdot I_x$$

Untuk beban terpusat

$$\delta = \left(\frac{1}{6} \cdot p \cdot a^2 \cdot b^2 \right) \left(\frac{L-x}{a} + 2 \frac{L-x}{b} - \frac{(L-x)^3}{ab^2} \right)$$

Atau

$$\delta = \frac{1}{48} \cdot p \cdot L^3$$

$$E \cdot I_x$$

Dimna :

δ : Lendutan yang terjadi

Qt : Beban Merata yang terjadi pada baja

L : Panjang Bentang

E : Modulus Elastisitas Baja

I_x : Inersia Penampang Baja

P : Beban terpusat yang terjadi pada baja

2.10.2. Perencanaan Batang Tarik

Batang tarik adalah batang yang ditempatkan pada posisi memanjang atau melintang dan menerima beban tarik. Desain batang tarik didasarkan atas ijin tegangan tarik (*allowable tensile stress*) dimana tegangan yang terjadi tidak boleh melampaui tegangan ijin. Dengan membagi *ultimate load* dengan faktor keamanan, diperoleh *working load* (beban bekerja) sebagai berikut :

$$Tu = \sigma_1 \times Anett$$

Keterangan : Tu = *Ultimate capaci*

σ_1 = tegangan leleh

A_{nett} = luas penampang netto

$$Tw = \frac{Tu}{F_s} = \frac{\sigma_1 \cdot A_{nett}}{F_s} = \sigma_1 \cdot A_{nett} \left[\frac{\sigma_1}{F_s} = \sigma \right]$$

Keterangan : F_s = *factor of safety*

σ = tegangan ijin

Tw = *working load*

2.10.3. Kekuatan Batang Tarik

Meskipun stabilitas bukan merupakan suatu kriteria untuk mendesain batang tarik akan tetapi batang tarik harus dibatasi panjang bentangnya untuk menjaga agar batang tidak terlalu fleksibel, batang tarik yang terlalu panjang akan mengalami lendutan yang disebabkan oleh berat batang tarik itu sendiri terlebih lagi batang akan bergetar bila menahan gaya-gaya angin rangka terbuka atau bila harus menahan alat-alat yang bergetar seperti *fans* atau *compressor*. untuk menanggulangi hal tersebut dapat dihitung dengan mencari jari-jari kelembaman $r = \frac{I}{A}$

Untuk batang persegi

$$t > b$$

b = lebar

$$I = \frac{1}{12} b \times t^3$$

$$A = b \times t$$

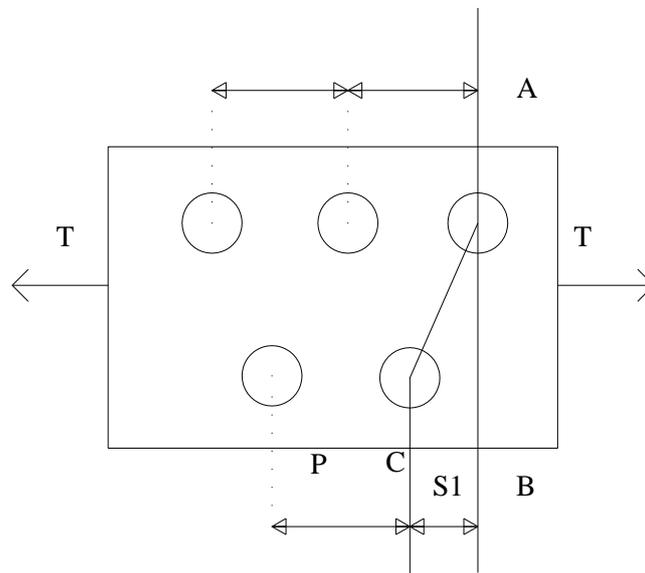
$$r = \frac{I}{A} = \frac{\frac{1}{12} b \times t^3}{b \times t}$$

$$r = \frac{1}{12} t^2 \frac{1}{12} t^2$$

$$r = 0,288 t = r^{min}$$

2.10.4. Pengaruh Lubang

Pada sekitar lubang terjadi konsentrasi tegangan dengan distribusi tegangannya. Dengan penambahan beban pada tiap-tiap serat maka akan terjadi tegangan leleh sehingga tegangannya menjadi F_y yang sifatnya konstan, deformasinya akan bertambah dengan bertambahnya beban hingga semua serat telah mencapai tegangan leleh, keadaan semacam ini disebut keadaan *Ultimate*.



Gambar 2.9. Variasi pemasangan baut atau paku keling
Sumber : Oentoeng, (1999). KONSTRUKSI BAJA

Menurut PPBBI, kondisi seperti ini dihitung dengan rumus :

$$AB = A_n = A - n \cdot d_1 \cdot t$$

$$AC = A - n \cdot d_1 \cdot t + \sum \frac{sz^2 \cdot t}{4 \cdot u} \quad (\text{rumus Cochrane})$$

Dimana :

A = luas penampang bentang utuh

t = tebal penampang

d1 = diameter lubang

- n = banyaknya lubang dalam garis potong
 s_2 = jarak antar sumbu lubang pada arah sejajar sumbu bentang
 u = jarak antar sumbu bentang pada arah tegak lurus sumbu bentang

Catatan : dalam suatu potongan, jumlah luas lubang tidak boleh lebih dari 15% luas penampang. (PPBBI)

2.10.5. Eksentrisitas Sambungan

Biasanya untuk memudahkan pekerjaan sambungan pada suatu konstruksi, batang tarik disambung secara eksentris. Eksentris sambungan pada batang tarik ini akan menimbulkan momen lentur. Tegangan lentur yang terjadi akan memperbesar tegangan tarik yang diakibatkan oleh gaya aksial. Untuk mengatasi hal ini diadakan reduksi penampang batang.

Menurut peraturan Australia dan Inggris adalah sebagai berikut :

$$A_e = A_1 \left(1 + \frac{3 A_2}{3 A_1 + A_2} \right)$$

Dimana :

A_1 = luas bersih penampang kaki yang disambung

A_2 = luas penampang kaki yang bebas: $t(A - \frac{1}{2}t) - d_1 t = t(B - \frac{1}{2}t)$

A_e = luas efektif penampang batang

2.10.6. Alat Sambung

Sambungan dengan baut biasa sebenarnya tidak dapat dianggap kaku (*rigid*). Sambungan dapat dikatakan kaku apabila sambungan tersebut menggunakan alat sambung HSB dan Las. Paku keling sebenarnya dapat

membuat sambungan cukup kaku karena mempunyai *shear resistance*, tetapi pada paku keling ini timbul adanya proses pendinginan pada pemasangan.

2.10.7. Kerusakan Sambungan

Kerusakan sambungan disebabkan oleh dua faktor, yaitu:

- a. Pembebanan terlalu besar pada geseran di bidang geser sehingga paku menjadi patah akibat geseran.
- b. Tekanan terlalu besar pada dinding lubang atau disebut tekanan tumpu, sehingga dinding lubang rusak karena adanya tekanan tumpu (tekanan dinding lubang).

2.10.8. Kemampuan Sambungan

Kemampuan alat sambung didasarkan atas :

- a. Sambungan Paku Keling

Terhadap geser

Untuk yang beririsan tunggal :

$$P = \frac{1}{4} \pi d^2$$

Untuk yang beririsan kembar :

$$P = 2 \times \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$P = \frac{1}{2} \pi d^2$$

Dimana :

d = ϕ paku keling = ϕ lubang dalam cm

= tegangan ijin geser dalam kg/cm²

= 0,8 (PPBBI' 83)

P = beban yang diijinkan yang dipiku oleh paku keling

Terhadap Tumpu (σ_{tu}) Luas lubang yang tertekan sebenarnya bidang cekung + silinder. Tetapi untuk memudahkannya diambil proyeksi sebesar $\delta \times d$ maka beban tumpu yang dapat dipikul oleh lubang tumpu = (dinding lubang dar pelat).

$$P = \delta \cdot d \cdot \sigma_{tu}$$

σ = tebal pelat yang disambung dalam cm

d = ϕ paku kling dalam cm

$$\sigma_{tu} = 2\sigma \text{ untuk } S_1 \geq 2d$$

$$\sigma_{tu} = 1,6\sigma \text{ untuk } 1,5d \leq S_1 < 2d$$

s_1 adalah jarak paku kelig terakhir terhadap ujung batang

b. Sambungan Baut Sekrup

Keuntungan pemasangan sambungan baut adalah lebih mudah pemasangannya, mudah diganti serta mudah dilepas sehingga dapat dipindahkan. Sedangkan kekurangan dari penggunaan alat sambung baut adalah tidak baik digunakan untuk konstruksi yang mengalami beban berulang. Oleh karena itu pada jembatan digunakan paku keling.

Cara perhitungan mencari daya dukung baut sama seperti pada paku keling, perbedaannya hanya terdapat pada tegangan ijinnya.

Untuk sambungan irisan satu

$$P = \frac{1}{4} d^e \tau$$

$$P = \delta d \sigma_{tu}$$

δ diambil harga terkecil dari δ_1 dan δ_2

$$\tau = 0,6 \sigma$$

$$\sigma_{tu} = 1,5 \sigma \text{ untuk } s_1 \geq d$$

$$\sigma_{tu} = 1,2 \sigma \text{ untuk } 1,5 d \leq s_1 < 2 d$$

Siadalah jarak paku keling yang terakhir terhadap ujung batang.

Untuk batang irisa kembar

$$P = \frac{1}{2} d^2 \tau$$

$$P = \delta d \sigma_{tu}$$

δ diambil harga terkecil dari δ_1 dan δ_2

$$\tau = 0,6 \sigma$$

$$\sigma_{tu} = 1,5 \sigma \text{ untuk } s_1 \geq d$$

$$\sigma_{tu} = 1,2 \sigma \text{ untuk } 1,5 d \leq s_1 < 2 d$$

Apabila penampang baut bekerja gaya geser dan gaya aksial bersama-sama, maka terjadi :

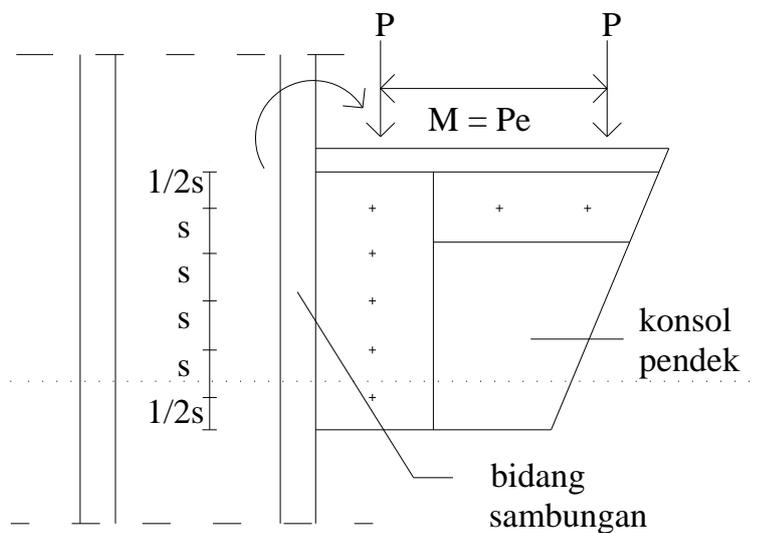
$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \sigma$$

σ_1 = tegangan ideal

Selain itu harus diperhatikan bawa ada ulir pada baut. Pada daerah yang berulir ada 2 macam diameter, yaitu diameter terass dari ulir dan diameter baut.

2.10.9. Sambungan Yang Memikul Momen Tegak Lurus

Sambungan yang memikul momen tegak lurus bidang sambungannya, merupakan sambungan antara dua batang baja yang bersilangan arah. Ada beberapa metode yang digunakan dalam perhitungan sambungan ini, salah satunya dengan menggunakan cara *Transformed Area Method*.



Gambar 2.10. Sambungan Tegak Lurus
Sumber : Oentoeng, (1999). KONSTRUKSI BAJA

Akibat beban P pada sambungan maka terjadi $M = Pe$ dan beban vertikal P , momen P bekerja tegak lurus pada sambungan. Akibat M konsol akan berputar pada garis netral paku atau baut bagian atas garis netral maka akan mengalami tarikan, sedangkan bagian bawah garis netral akan menekan *flange* dari kolom.

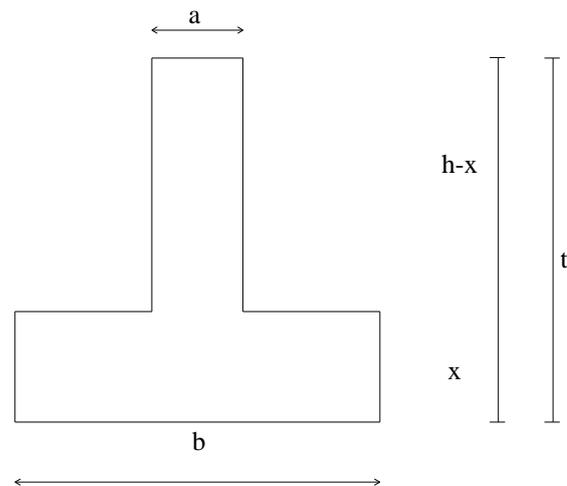
Jika jarak paku atau baut = S , maka luas dari paku atau baut di atas garis netral dapat dinyatakan dengan luas pengganti (luas rata – rata) yang berupa

empat persegi panjang dengan lebar = a (luas penampang pengganti satu baut) = $a \times s$. Luas pengganti paku atau baut ini = luas tampang paku atau baut.

$$\frac{1}{4} \pi d^2 = a \times s$$

$$a = \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{1}{s}$$

bagian dibawah garis netral, baja siku selebar b ditinjau $\frac{1}{2}$ bagian menekan pada dinding kolom, sehingga luas yang di *transformed* dapat dihitung.



Gambar 2.11. Luas Penampang Yang Ditransformed
Sumber : Oentoeng, (1999). KONSTRUKSI BAJA

Dengan persamaan ini dapat dicari x (tempat garis netral dari sisi bawah) :

$$a (h - x) \left(\frac{h-x}{2}\right) = b x \frac{1}{2}x$$

$$(b - a) x^2 + 2a h x - ah^2 = 0$$

Tegangan tarik maksimum pada paku atau baut yang teratas = tegangan maksimum luas pengganti.

$$\sigma = \frac{M(h-x)}{2I_n} \text{ dimana } I_n = \frac{1}{3} a (h-x) + \frac{1}{3} b x^3$$

Selain itu pada bidang sambungan bekerja gaya P vertikal yang didukung juga oleh ke-10 paku atau baut, sehingga paku atau baut teratas memikul beban sebesar $\frac{1}{10} P$ dan terjadi tegangan geser.

$$\tau = \frac{\frac{1}{10} P}{\frac{1}{4} \pi d^2}$$

Maka pada paku dan baut teratas bekerja gaya geser dan gaya aksial secara bersamaan, sehingga terjadi tegangan kombinasi geser dan aksial pada paku dan baut.

Menurut **PPBBI** untuk paku keling P Kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik yang diizinkan:

$$\sigma_{i=} \sqrt{\sigma^2 + 1,56 \tau^2} \leq \bar{\sigma}$$

Untuk baut kombinasi tegangan geser dan tegangan tarik yang diizinkan:

$$\sigma_{i=} \sqrt{\sigma^2 + 3 \tau^2} \leq \bar{\sigma}$$

2.10.10. Sambungan pada ujung

Untuk menghubungkan gelagar dan diafragma pada ujung diafragma di beri *end plat*. Yang selanjutnya antara end plat dengan gelagar dihubungkan dengan cara di las pada badan gelagar.

2.10.11. Metode Statis Tak Tentu

Pada mata kuliah Statika, telah dipelajari analisa struktur yang paling sederhana yaitu “Struktur Statis Tertentu”, dimana reaksi perletakan maupun

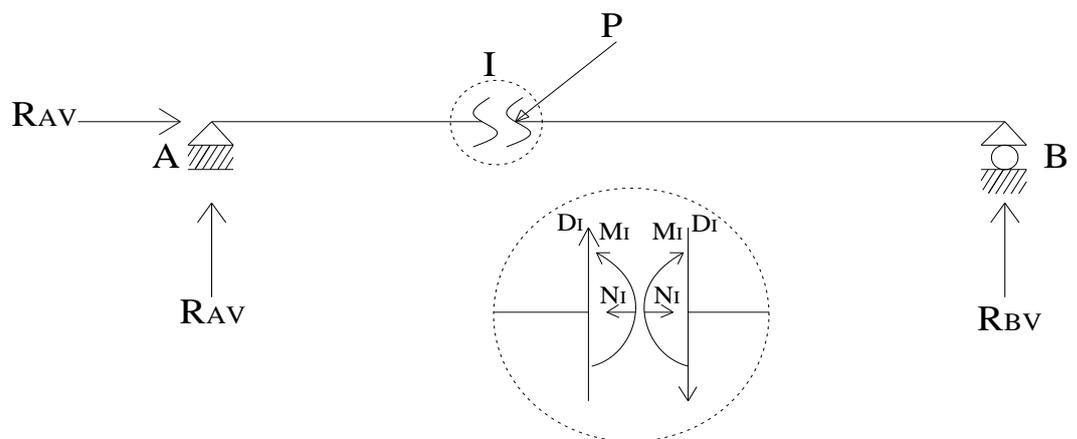
gaya – gaya dalamnya (gaya lintang, gaya normal dan momen) pada struktur tersebut dapat dicari dengan persamaan keseimbangan. Adapun persamaan keseimbangan yang dimaksud ada tiga keseimbangan yaitu :

$$\sum V = 0, \quad (\text{jumlah gaya – gaya vertikal sama dengan nol})$$

$$\sum H = 0, \quad (\text{jumlah gaya – gaya horizontal sama dengan nol})$$

$$\sum M = 0, \quad (\text{jumlah momen sama dengan nol})$$

Contoh Struktur Statis Tertentu

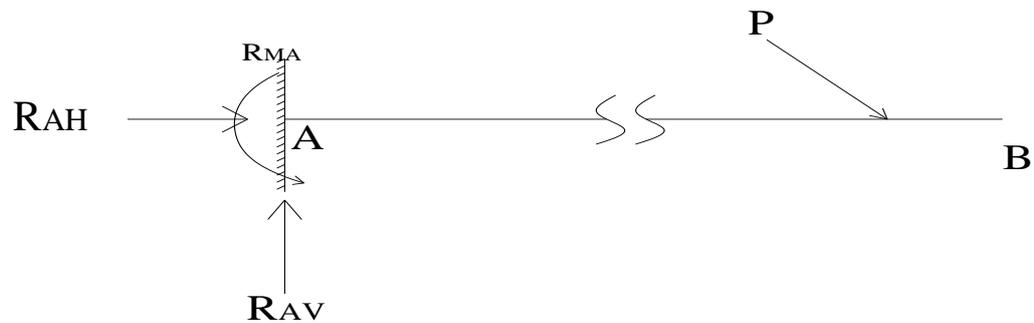


Gambar 2.12. Balok diatas dua tumpuan

Balok diatas dua perletakan dengan beban \$P\$ seperti pada gambar diatas. A perletakan sendi mempunyai dua reaksi perletakan \$R_{HA}\$ dan \$R_{VA}\$ yang tidak diketahui besarnya, B perletakan rol mempunyai sebuah reaksi perletakan \$R_{BV}\$ yang tidak diketahui besarnya.

Jumlah reaksi perletakan yang tidak diketahui besarnya ada 3, maka dapat dicari dengan 3 persamaan keseimbangan. Sedangkan pada sebuah

potongan struktur (I), ada 3 gaya dalam (N, D dan M) yang tidak diketahui besarnya, maka ketiga gaya dalam tersebut dapat dicari dengan 3 persamaan keseimbangan. Dengan demikian struktur diatas termasuk struktur statis tertentu.



Gambar 2.13. Balok Kantilever

Balok kantilever dengan perletakan jepit diberi beban seperti pada gambar diatas.

- Jumlah reaksi perletakan ada 3 (R,R,R)
- Jumlah gaya dalam potongan pada potongan ada 3 (N,D,M)

Masing - masing dapat diselesaikan dengan pertolongan 3 persamaan keseimbangan, maka struktur tersebut adalah struktur statis tertentu. Sedangkan suatu struktur disebut statis tidak tertentu jika tidak bisa diselesaikan dengan hanya pertolongan persamaan keseimbangan. Dalam syarat keseimbangan ada 3 persamaan apabila sebuah struktur yang mempunyai reaksi perletakan lebih dari 3, maka reaksi-reaksi perletakan tersebut tidak bisa dihitung hanya dengan tiga persamaan keseimbangan. Struktur tersebut dikatakan struktur statis tidak tentu.

Dengan demikian metode perhitungan statis tertentu lebih mudah di banding dengan metode stasis tidak tentu. Maka dalam perencanaan struktur jembatan

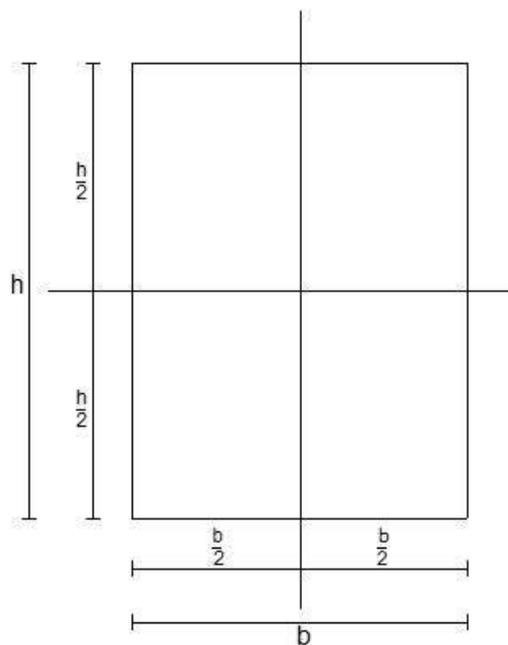
ini menggunakan metode struktur statis tertentu untuk menganalisa gaya-gaya dalam pada struktur atas jembatan.

2.10.12. Besaran Karakteristik Penampang

a. Luas Penampang

- Penampang Persegi

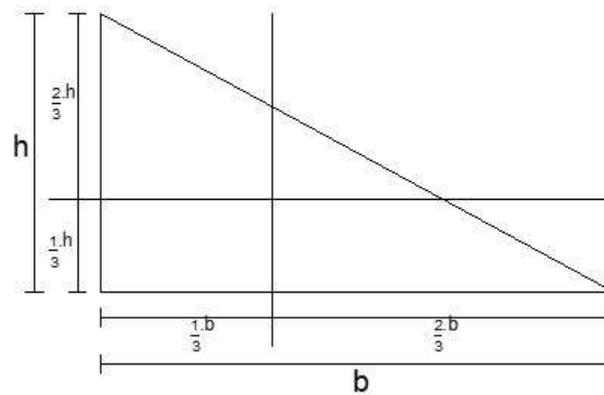
$$A = b \times h$$



Gambar 2.14. Penampang Persegi

- Luas Penampang segitiga

$$A = \frac{1}{2} \times b \times h$$



Gambar 2.15. Penampang Segitiga

b. Titik Berat

Digunakan dalil momen untuk menghitung besarnya titik berat gabungan dari beberapa penampang terhadap garis koordinat sumbu X dan sumbu Y.

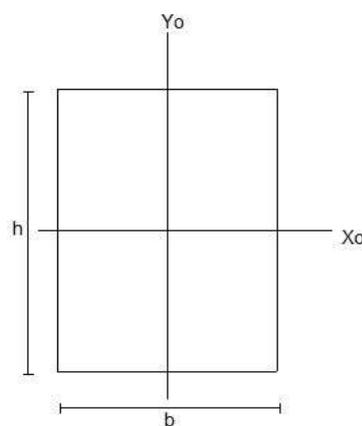
Rumus dalil momen :

$$X = \frac{A_1 \cdot X_1 + A_2 \cdot X_2 + \dots + A_n \cdot X_n}{\sum A}$$

$$Y = \frac{A_1 \cdot Y_1 + A_2 \cdot Y_2 + \dots + A_n \cdot Y_n}{\sum A}$$

c. Momen Inersia

- Persegi

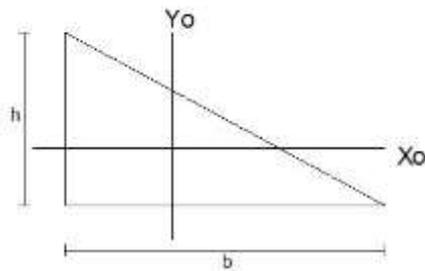


Gambar 2.16. Inersia persegi terhadap sumbu x dan y

$$I_{x_o} = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_{y_o} = \frac{1}{12} \times b^3 \times h$$

- Segitiga



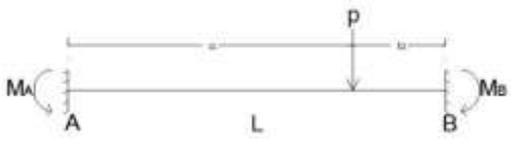
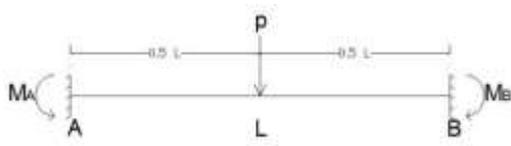
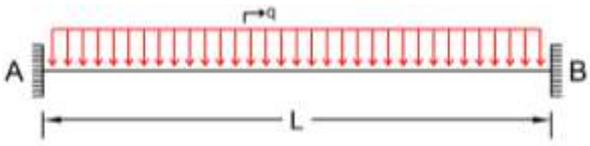
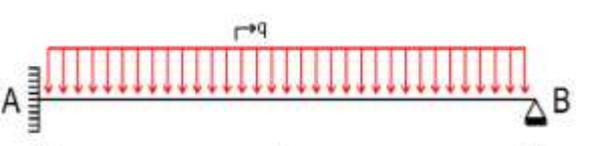
Gambar 2.17. Inersia Segitiga terhadap sumbu x dan y

$$I_{x_o} = \frac{1}{36} \times b \times h^3$$

$$I_{y_o} = \frac{1}{36} \times b^3 \times h$$

d. Kondisi Pembebanan

Tabel 2.23. Tabel Momen Primer

No	Pembebanan	Momen Primer
1		$M_A = -\frac{P \cdot a \cdot b^2}{L^2}$ $M_B = -\frac{P \cdot a^2 \cdot b}{L^2}$
2		$M_B = -M_A = \frac{P \cdot L}{8}$
3		$M_{BA} = \frac{qL^2}{12}$ $M_{AB} = -M_{BA}$
4		$M_{AB} = -\frac{qL^2}{8}$

(Sumber : Slope Deflection Versi Soemono)

2.10.13. Perencanaan Batang Tekan

Batang tekan merupakan batang dari suatu rangka batang. Batang ini di bebani gaya-gaya tekan aksial searah panjang bentangnya. Kolom merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok-balok yang akan melimpahkan semua beban tersebut ke pondasi.

Batang tekan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga terjamin stabilitasnya. Hal ini harus diperhatikan dengan menggunakan persamaan :

$$\omega \frac{N}{A} \leq \sigma$$

dimana :

N = gaya tekan pada batang

A = luas penampang batang

σ = tegangan dasar (tegangan ijin)

ω = Fktor tekuk yang tergantung dari kelangsingan (λ) dan jenis bajanya.

Hara λ dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\lambda_g = \pi \sqrt{\frac{E}{0,7 \sigma_1}}$$

$$\lambda_s = \frac{\lambda}{\lambda_g}$$

Untuk : $\lambda_s \leq 0,163 \rightarrow$ maka $\omega = 1$

Untuk : $0,183 < \lambda_s < 1 \rightarrow$ maka $\omega = \frac{1,41}{1,593 - \lambda_s}$

Untuk : $\lambda \geq 1 \rightarrow$ maka $\omega = 2,281 \lambda_s$

Untuk meninjau kemampuan batang tekan dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

$\frac{\omega N}{A} \leq \sigma$ dimana harga ω dicari dari tabel sesuai dengan kelangsingan λ

$F \frac{N}{A} \leq \sigma_{kn}$ dimana σ_{kn} dibaca dari grafik $\sigma_{kn} - \lambda$ sesuai dengan kelangsingan λ .

Mendimensi batang tekan dikerjakan dengan urutan sebagai berikut :

Profil ditaksir dengan $\lambda \leq 111$ sehingga berlaku rumus *Euler*.

$$I_{min} = \frac{n P L_k^2}{\pi^2 E}$$

P = beban sentris dalam ton

L_k = panjang tekuk dalam m

E = modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ kg/cm²

$$\pi^2 \approx 10$$

2.11. Struktur Bawah Jembatan

Bagian ini terletak pada bagian bawah konstruksi yang fungsinya untuk memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas, yang kemudian disalurkan ke pondasi dan dari pondasi diteruskan ke tanah keras dibawahnya. Struktur bawah ini terdiri dari :

2.11.1 Pondasi

Fondasi menyalurkan beban dari bangunan atas dan bangunan bawah langsung ke tanah pendukung. Maka pemilihan jenis fondasi sangat tergantung dari karakteristik tanah dasar yang dibawahnya yang menentukan besarnya gaya dukung tanah dan penurunan yang terjadi. Fondasi terbagi menjadi :

a) Fondasi dangkal

Fondasi dangkal digunakan bila lapisan tanah pendukung yang keras terletak pada kedalaman maksimum 12m dibawah fondasi. Beberapa jenis fondasi dangkal adalah sebagai berikut

2. Fondasi langsung, bila kedalaman tanah keras < 5 m
3. Fondasi sumuran, bila kedalaman tanah keras 5-12 m

b) Fondasi dalam

Fondasi dalam digunakan bila kedalaman lapisan tanah pendukung yang keras > 12 m di bawah fondasi. Beberapa jenis fondasi dalam adalah sebagai berikut :

1. Fondasi tiang pancang
2. Fondasi tiang bor (*bored pile*)

2.11.2 Abutmen

Abutment atau kepala jembatan adalah salah satu bagian konstruksi jembatan yang terdapat pada ujung-ujung jembatan yang berfungsi sebagai pendukung bagi bangunan yang di atasnya dan sebagai penahan tanah yang timbunan oprit.

Abutment adalah konstruksi beton bertulang dengan meneruskan pasangan batu kali dari pondasi sampai mencapai ketinggian tertentu yang telah direncanakan. Karena dalam hal ini abutment terbuat dari konstruksi beton bertulang.

Gaya – gaya yang bekerja pada abutment :

- Gaya akibat beban mati
- Gaya Horizontal akibat gesekan tumpuan bergerak (Hg) Koefisien gesekan= 0,25

(PPPJRR / 1987 pasal 2.6.2)

Hgesekan = koefisiengesekan .Rvd

RVD =

Gaya akibat muatan hidup

$$R_{qL} = \frac{q}{2,75} \cdot xl$$

$$R_{PL} = \frac{P}{2,75} \cdot xkxl$$

$$\text{Koefisien kejut} = 1 + \frac{20}{50+L}$$

➤ Gaya akibat rem dan traksi

Diperhitungkan 5 % dari beban D tanpa koefisien kejut dengan titik tangkap

1,8 m di atas permukaan lantai kendaraan (PPPJRR / 1987 hal 15). traksi $R_{rt} =$

$$\frac{5\% \cdot (R_{PL} + R_{qL})}{2}$$

➤ Gaya gempa akibat bangunan atas

K = ketetapan (0,07)

$$G_1 = K \cdot R_{vd} \frac{P_{total}}{2}$$

➤ Gaya horisontal tanah

$$K_a = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$K_p = \text{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$P_{a1} = K_a \cdot q \cdot h_1 \cdot b$$

$$P_{a2} = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \square_1 \cdot h^2$$

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot \square_1 \cdot h_2 \cdot b$$

Daya Dukung Tanah

$$\phi = \arctan(Kr \phi \cdot \tan \phi) \text{ menurut SNI 03 - 3446 - 1994}$$

Daya dukung tanah dasar pondasi berdasarkan rumus Tarzhagi untuk pondasi persegi pada kondisi tanah

$$C = 3,1 \text{ t/m}^2$$

$$Q_{ult} = C \cdot N_c + D \cdot \gamma_1 \cdot N_q + 0,5 \cdot B \cdot \gamma_2 \cdot N_\gamma$$

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{SF}$$

Stabilitas Abutmen

- Syarat aman terhadap geser

$$SF = \frac{\sum V \tan^2 - \phi^o + c \cdot B}{\sum H}$$

- Syarat aman terhadap guling

$$SF = \frac{\sum M_x}{\sum M_y}$$

- Syarat aman terhadap eksentrisitas

$$e = \frac{B}{2} \cdot \frac{\sum M_x - \sum M_y}{\sum V} - \frac{B}{6}$$

- Kontrol terhadap tegangan

$$\sigma = \frac{\sum V}{B \cdot L} - \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B} \right)$$

$$\sigma_{maks} = Q_{all} \text{ (OK)}$$

$$\sigma_{min} \leq Q_{all} \text{ (OK)}$$