

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

Studi pustaka adalah sebuah telaah atau pembahasan suatu materi yang didasarkan pada buku referensi yang bertujuan memperkuat materi pembahasan maupun sebagai dasar untuk perhitungan berupa rumus–rumus, ada beberapa aspek yang perlu ditinjau yang nantinya akan mempengaruhi dalam proses perencanaan jembatan, antara lain :

- Aspek Lalu Lintas
- Aspek Hidrologi
- Aspek Tanah
- Aspek Konstruksi Jembatan

2.2 ASPEK LALU LINTAS

Persyaratan transportasi meliputi kelancaran arus lalu lintas kendaraan yang melintasi jembatan tersebut. Dalam hal ini, perencanaan lebar optimum jembatan sangat penting agar didapatkan tingkat pelayanan lalu lintas yang maksimum.

2.2.1 Volume Lalu Lintas (Q)

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang melewati satu titik tertentu dari suatu segmen jalan selama waktu tertentu (Edward, 1978). Dinyatakan dalam satuan kendaraan atau satuan mobil penumpang (smp). Sedangkan volume lalu lintas rencana (VLHR) adalah perkiraan volume lalu lintas harian pada akhir tahun rencana lalu lintas dan dinyatakan dalam smp/hari. Satuan volume lalu lintas yang umum dipergunakan sehubungan dengan penentuan jumlah dan lebar lajur adalah :

2.2.1.1 Lalu Lintas Harian Rata-rata

Lalu lintas harian rata-rata adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari. Dari cara memperoleh data tersebut dikenal 2 jenis lalu lintas harian rata-rata yaitu lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) dan lalu lintas harian rata-rata (LHR). LHRT adalah jumlah lalu lintas kendaraan rata-rata yang melewati satu jalur jalan selama 24 jam dan diperoleh dari data selama satu tahun penuh.

$$\text{LHRT} = \left(\frac{\text{Jumlah lalu lintas dalam satu tahun}}{365 \text{ hari}} \right)$$

Pada umumnya lalu lintas jalan raya terdiri dari campuran kendaraan berat dan kendaraan ringan, cepat atau lambat, motor atau tak bermotor, maka dalam hubungannya dengan kapasitas jalan (jumlah kendaraan maksimum yang melewati 1 titik/1 tempat dalam satuan waktu) mengakibatkan adanya pengaruh dari setiap jenis kendaraan tersebut terhadap keseluruhan arus lalu lintas. Pengaruh ini diperhitungkan dengan mengekivalenkan terhadap kendaraan standart.

2.2.1.2 Volume Jam Rencana

Volume jam perencanaan (VJP) adalah prakiraan volume lalu lintas pada jam sibuk rencana lalu lintas dan dinyatakan dalam smp/jam. Arus rencana bervariasi dari jam ke jam berikut dalam satu hari, oleh karena itu akan sesuai jika volume lalu lintas dalam 1 jam dipergunakan. Volume 1 jam yang dapat digunakan sebagai VJP haruslah sedemikian rupa sehingga :

- ✦ Volume tersebut tidak boleh terlalu sering terdapat pada distribusi arus lalu lintas setiap jam untuk periode satu tahun.
- ✦ Apabila terdapat volume lalu lintas per jam yang melebihi VJP, maka kelebihan tersebut tidak boleh mempunyai nilai yang terlalu besar.
- ✦ Volume tersebut tidak boleh mempunyai nilai yang sangat besar, sehingga akan menyebabkan jalan menjadi lenggang.

VJP dapat di hitung dengan rumus :

$$\text{VJP} = \text{LHRT} \times k$$

Dimana :

LHRT = Lalu lintas harian rata-rata tahunan (kend/hari)

Faktor K = Faktor konversi dari LHRT menjadi arus lalu lintas jam puncak

Tabel 2.1 Penentuan Faktor K

Lingkungan Jalan	Jumlah Penduduk Kota	
	> 1 Juta	≤ 1 Juta
Jalan di daerah komersial dan jalan arteri	0,07 – 0,08	0,08 – 0,10
Jalan di daerah pemukiman	0,08 – 0,09	0,09 – 0,12

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997

2.2.2 Pertumbuhan Lalu Lintas

Perkiraan (*forecasting*) lalu lintas harian rata-rata yang ditinjau dalam waktu 5, 10, 15, atau 20 tahun mendatang. Setelah waktu peninjauan berlalu, maka pertumbuhan lalu lintas ditinjau kembali untuk mendapatkan pertumbuhan lalu lintas yang akan datang. Perkiraan perhitungan pertumbuhan lalu lintas ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung perencanaan kelas jembatan yang ada pada jalan tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Persamaan : } \quad Y' &= a + b X \\ a &= \frac{\sum Y_i * \sum X_i^2 - \sum X_i * \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \\ b &= \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i * \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \end{aligned}$$

dimana:

Y' = subyek dalam variable dependen yang diprediksikan (LHR)

a dan b = konstanta awal energi

X = waktu (tahun)

LHR akhir dapat dihitung dengan rumus :

$$\mathbf{LHR_n = LHR_o * (1+i)^n}$$

Dimana :

LHR_n = Besarnya arus lalu lintas pada tahun rencana (pada tahun ke-n)

LHR_o = Besarnya arus lalu lintas pada awal perencanaan

i = Faktor pertumbuhan lalu lintas

n = Umur rencana

2.2.3 Kapasitas

Kapasitas dapat didefinisikan sebagai tingkat arus maksimum dimana kendaraan dapat diharapkan untuk melalui suatu potongan jalan pada waktu tertentu untuk kondisi lajur/jalan, lalu lintas, pengendalian lalu lintas dan cuaca yang berlaku (Tamin, 1997). Oleh karena itu, kapasitas tidak dapat dihitung dengan formula yang sederhana. Yang penting dalam penilaian kapasitas adalah pemahaman akan kondisi yang berlaku. Kondisi ideal dapat dinyatakan sebagai kondisi yang mana peningkatan jalan lebih lanjut dan perubahan kondisi cuaca tidak akan menghasilkan penambahan nilai kapasitas.

Rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas jalan perkotaan berdasarkan

Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, adalah sebagai berikut :

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS}$$

- Dimana :
- C = kapasitas (smp/jam)
 - C_o = kapasitas dasar (smp/jam)
 - FC_w = faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas
 - FC_{SP} = faktor penyesuaian pemisah arah
 - FC_{SF} = faktor penyesuaian hambatan samping
 - FC_{CS} = faktor penyesuaian ukuran kota.

2.2.3.1 Kapasitas Dasar (C₀)

Menurut buku Standar Desain Geometrik Jalan Perkotaan, yang dikeluarkan Dirjen Bina Marga, kapasitas dasar didefinisikan volume maksimum perjam yang dapat lewat suatu potongan lajur jalan (untuk jalan multi jalur) atau suatu potongan jalan (untuk jalan dua lajur) pada kondisi jalan dan arus lalu lintas ideal.

Kondisi ideal terjadi bila :

- a. Lebar jalan kurang dari 3,5 m.
- b. Kebebasan lateral tidak kurang dari 1,75 m.
- c. Standar geometrik baik.
- d. Hanya kendaraan ringan atau *light vehicle* (LV) yang menggunakan jalan.
- e. Tidak ada batas kecepatan.

Kapasitas jalan tergantung kepada tipe jalan, jumlah lajur dan apakah jalan dipisahkan dengan pemisah fisik atau tidak, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Kapasitas Dasar Jalan Perkotaan

Tipe Jalan Kota	Kapasitas Dasar (C _o) (smp/jam)	Keterangan
Empat lajur terbagi atau Jalan satu arah	1650	Per lajur
Empat lajur tak terbagi	1500	Per lajur
Dua lajur tak terbagi	2900	Total dua arah

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997

2.2.3.2 Faktor Penyesuaian Lebar Jalur Lalu Lintas (FC_w)

Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas adalah seperti pada tabel 2.3 berikut ini :

Tabel 2.3 Faktor Penyesuaian Kapasitas untuk Pengaruh Lebar Jalur Lalu Lintas untuk Jalan Perkotaan (FC_w)

Tipe Jalan	Lebar Lalu Lintas Efektif (W_C) (m)	FC_w
Empat lajur terbagi atau Jalan satu arah	Per lajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
Dua lajur tak terbagi	Total dua arah	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
	11	1,34

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997

2.2.3.3 Faktor Penyesuaian Pemisah Arah (FC_{SP})

Besarnya faktor penyesuaian untuk jalan tanpa pengguna pemisah tergantung pada besarnya *Split* kedua arah sebagai berikut :

Tabel 2.4 Faktor Penyesuaian Kapasitas untuk Pemisah Arah (FC_{SP})

Pemisah Arah SP %-%	50-50	55-45	60-40	65-35	70-30	
FC_{SP}	Dua lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat lajur 4/2	1,00	0,985	0,97	0,955	0,95

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997

2.2.3.4 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping (FC_{SF})

- Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan lebar bahu

Tabel 2.5 Faktor Penyesuaian Kapasitas untuk Pengaruh Hambatan Samping dan Lebar Bahu (FC_{SF}) untuk Jalan Perkotaan dengan Bahu

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping	Faktor Penyesuaian untuk Hambatan Samping dan Lebar Bahu (FC_{SF})			
		Lebar Bahu Efektif W_s			
		≤ 0.5	1.0	1.5	≥ 2.0
4/2 D	VL	0,96	0,98	1,01	1,03
	L	0,94	0,97	1,00	1,02
	M	0,92	0,95	0,98	1,00
	H	0,88	0,92	0,95	0,98
	VH	0,84	0,88	0,92	0,96
4/2 UD	VL	0,96	0,99	1,01	1,03
	L	0,94	0,97	1,00	1,02
	M	0,92	0,95	0,98	1,00
	H	0,87	0,91	0,94	0,98
	VH	0,80	0,86	0,90	0,95
2/2 UD atau jalan satu arah	VL	0,94	0,96	0,99	1,01
	L	0,92	0,94	0,97	1,00
	M	0,89	0,92	0,95	0,89
	H	0,82	0,86	0,90	0,95
	VH	0,73	0,79	0,85	0,91

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997

b. Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan jarak kerb penghalang

Tabel 2.6 Faktor Penyesuaian Kapasitas untuk Pengaruh Hambatan Samping dan Jarak Kerb Penghalang (FC_{SF}) untuk Jalan Perkotaan dengan Kerb

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping	Faktor Penyesuaian untuk Hambatan Samping dan Jarak Kerb Penghalang (FC_{SF})			
		Jarak Kerb Penghalang W_K			
		≤ 0.5	1.0	1.5	≥ 2.0
4/2 D	VL	0,95	0,97	0,99	1,01
	L	0,94	0,96	0,98	1,00
	M	0,91	0,93	0,95	0,98
	H	0,86	0,89	0,92	0,95
	VH	0,81	0,85	0,88	0,92
4/2 UD	VL	0,95	0,97	0,99	1,01
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,90	0,92	0,95	0,97
	H	0,84	0,87	0,90	0,93
	VH	0,78	0,81	0,85	0,90
2/2 UD atau jalan satu arah	VL	0,93	0,95	0,97	0,99
	L	0,90	0,92	0,95	0,97
	M	0,86	0,88	0,91	0,94
	H	0,78	0,81	0,84	0,88
	VH	0,68	0,72	0,77	0,82

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997

2.2.3.5 Faktor Penyesuaian Ukuran kota (FC_{CS})

Faktor penyesuaian ukuran kota adalah seperti pada Tabel 2.7 berikut ini :

Tabel 2.7 Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (FC_{CS}) untuk Jalan Perkotaan

Ukuran Kota (juta penduduk)	Faktor Penyesuaian untuk Ukuran Kota (FC_{CS})
< 0,1	0,86
0,1 – 0,5	0,90
0,5 – 1,0	0,94
1,0 – 3,0	1,00
> 3,0	1,04

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997

2.2.4 Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai arus (Q) terhadap kapasitas (C), yang digunakan sebagai faktor utama untuk menentukan tingkat kinerja dan segmen jalan (MKJI, 1997). Nilai DS menentukan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak.

$$DS = Q/C$$

Bila derajat kejenuhan (DS) yang didapat < 0,75 maka jalan tersebut masih memenuhi (Layak), dan bila derajat kejenuhan (DS) yang didapat > 0,75 maka harus dilakukan pelebaran.

2.3 ASPEK HIDROLOGI

Perhitungan keseluruhan analisa hidrologi dapat didasarkan pada masukan data curah hujan yang jatuh di DAS yang berpengaruh terhadap lokasi studi, disamping hal tersebut tentu saja beberapa kondisi lain yang dapat mempengaruhi aliran permukaan. Data hidrologi diperlukan untuk mencari nilai debit banjir rencana yang kemudian digunakan untuk mencari *clearence* jembatan dari muka air tertinggi, serta dapat pula digunakan dalam penentuan bentang ekonomis jembatan.

2.3.1 Curah Hujan

Dari data curah hujan yang didapat, dihitung curah hujan rencana dengan distribusi *Gumbell*, distribusi Log Pearson III, dan berdasar distribusi Normal. Setelah itu kita uji keselarasan dari hasil ketiga distribusi di atas dengan metode *Plotting Probability* serta

Uji Chi kuadrat Distribusi Normal. Setelah pengujian itu kita bisa mengetahui manakah dari ketiga distribusi curah hujan rencana yang akan digunakan untuk langkah selanjutnya yaitu analisa debit banjir.

Untuk mencari besarnya curah hujan pada periode ulang tertentu digunakan rumus *Gumbel* :

$$X_{Tr} = X + (K_r \times S_x)$$

Dimana :

X_{Tr} = besar curah hujan untuk periode ulang tertentu (mm)

X = curah hujan maksimum rata-rata tahun pengamatan (mm)

$K_r = 0,78 \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right\} - 0,45$; dengan Tr adalah periode ulang (tahun)

S_x = standar deviasi.

2.3.2 Debit Banjir Rencana

Perhitungan banjir rencana akan menggunakan formula *Rational Mononobe*:

$$\text{Kecepatan aliran (V)} = 72 \cdot \left[\frac{H}{L} \right]^{0,6} \dots\dots\dots (\text{km/jam})$$

$$\text{Waktu konsentrasi (Tc)} = \frac{L}{V} \dots\dots\dots (\text{jam})$$

$$\text{Intensitas hujan (I)} = \frac{R}{24} \times \left[\frac{24}{T_c} \right]^{0,67} \dots\dots\dots (\text{mm/jam})$$

$$\text{Debit banjir (Q}_{Tr}) = 0,278 (C \times I \times A) \dots\dots\dots (\text{m}^3/\text{det})$$

Dimana:

H = beda tinggi antara titik terjauh DPS dan titik peninjauan (m)

L = panjang sungai (km)

R = curah hujan (mm)

A = luas daerah pengaliran sungai (km²)

C = koefisien *run off* (0,4 – 0,6)

Berikut ini ditulis berbagai koefisien limpasan (f) oleh Dr. Mononobe.

Tabel 2.8 Koefisien Limpasan Berdasarkan Kondisi Daerah Pengaliran dan Sungai

Kondisi Daerah Pengaliran dan Sungai	Harga dari f
Daerah pegunungan yang curam	0,75 - 0,9
Daerah pegunungan tersier	0,70 - 0,80
Tanah bergelombang dan hutan	0,50 - 0,75
Tanah dataran yang ditanami	0,45 - 0,60
Persawahan yang diairi	0,70 - 0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75 - 0,85
Sungai kecil di dataran	0,45 - 0,75
Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari dataran	0,50 - 0,75

Sumber : Hidrologi Untuk Pengaliran

2.3.3 Kedalaman Penggerusan

Untuk menentukan kedalaman penggerusan digunakan formula *Lacey* :

$$\text{Untuk } L < W \rightarrow d = H \times \left(\frac{L}{W} \right)^{0,6}$$

$$\text{Untuk } L > W \rightarrow d = 0,473 \times \left(\frac{Q}{f} \right)^{0,333}$$

Dimana :

L = bentang jembatan (m)

W = lebar alur sungai (m)

d = kedalaman gerusan normal dari muka air banjir maksimum

H = tinggi banjir rencana

Q = debit maksimum (m³/det)

f = faktor lempung

Tabel faktor *Lacey* yang diambil dari buku pegangan kuliah Mekanika Tanah adalah sebagai berikut :

Tabel 2.9 Faktor Lempung *Lacey* Berdasar Tanah

No.	Jenis Material	Diameter (mm)	Faktor (f)
1.	Lanau sangat halus (<i>very fine silt</i>)	0,052	0,40
2.	Lanau halus (<i>fine silt</i>)	0,120	0,80
3.	Lanau sedang (<i>medium silt</i>)	0,233	0,85
4.	Lanau (<i>standart silt</i>)	0,322	1,00
5.	Pasir (<i>medim sand</i>)	0,505	1,20
6.	Pasir kasar (<i>coarse sand</i>)	0,725	1,50
7.	Kerikil (<i>heavy sand</i>)	0,920	2,00

Sumber : Buku Pegangan Kuliah Mekanika Tanah, Undip

Sedangkan kedalaman penggerusan berdasarkan tabel yang diambil dari Standart Perencanaan Jembatan Bina Marga Provinsi Jawa Tengah adalah sebagai berikut :

Tabel 2.10 Kedalaman Penggerusan

No.	Kondisi Aliran	Penggerusan Maksimal
1.	Aliran Lurus	1,27 d
2.	Aliran Belok	1,50 d
3.	Aliran Belok Kanan	1,75 d
4.	Aliran Sudut Lurus	2,00 d
5.	Hidung Pilar	2,00 d

Sumber : DPU Bina Marga Provinsi Jawa Tengah

2.4 ASPEK TANAH

Aspek tanah sangat menentukan terutama dalam penentuan jenis pondasi yang digunakan, kedalaman serta dimensinya. Selain itu juga untuk menentukan jenis perkuatan tanah dan kestabilan tanah.

Tinjauan aspek tanah pada perencanaan jembatan Tuntang ini meliputi tinjauan terhadap data-data tanah yang ada seperti : sondir , boring, nilai kohesi, sudut geser tanah, γ tanah, nilai *California Bearing Ratio* (CBR), kadar air tanah, dan *void ratio*, agar dapat ditentukan jenis pondasi yang akan digunakan, kedalaman serta dimensinya. Selain itu data-data tanah di atas juga dapat untuk menentukan jenis perkuatan tanah dan kesetabilan lereng (stabilitas tanah) guna mendukung keamanan dari struktur yang akan dibuat.

Pondasi berfungsi untuk menyalurkan beban-beban terpusat dari bangunan bawah ke dalam tanah pendukung dengan cara sedemikian rupa, sehingga hasil tegangan dan gerakan tanah dapat dipikul oleh struktur secara keseluruhan. Evaluasi pondasi dilakukan dengan membandingkan beban-beban yang bekerja terhadap dimensi pondasi dan daya dukung tanah dasar (*Teknik Pondasi 1, 2002*).

❖ Beban-beban yang bekerja pada pondasi meliputi :

- Beban terpusat yang disalurkan dari bangunan bawah.
- Berat merata akibat berat sendiri pondasi.
- Beban momen.

Dalam merencanakan suatu struktur bawah dari konstruksi bangunan dapat digunakan beberapa macam tipe pondasi, pemilihan tipe pondasi didasarkan pada hal-hal sebagai berikut :

- Fungsi bangunan atas.
- Besarnya beban dan berat dari bangunan atas.
- Keadaan tanah dimana bangunan tersebut akan didirikan.
- Jumlah biaya yang dikeluarkan.

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah pada Jembatan Gantung Tugu Soeharto Kelurahan Sukorejo Kecamatan Gunungpati Semarang, jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi sumuran.

❖ **Keuntungan pemakaian pondasi Sumuran, antara lain :**

- Pembangunannya tidak menyebabkan getaran dan penggembungan tanah, seperti pada pemancangan pondasi tiang pancang.
- Penggalian tidak mengganggu tanah di sekitarnya.
- Biaya pelaksanaan umumnya relatif rendah, berhubung alat yang dipakai adalah alat ringan.
- Kondisi-kondisi tanah atau batu pada dasar sumuran sering dapat diperiksa dan diuji secara fisik.
- Alat gali tidak banyak menimbulkan suara.

❖ **Ciri-ciri Pondasi Sumuran :**

- Tekanan konstruksi ke tanah < daya dukung tanah pada dasar sumuran.
- Aman terhadap penurunan yang berlebihan, gerusan air dan longsor tanah.
- Diameter sumuran $\geq 1,50$ meter.
- Cara galian terbuka tidak disarankan.
- Kedalaman dasar pondasi sumuran harus di bawah gerusan maksimum.
- Biasanya digunakan sebagai pengganti pondasi tiang pancang apabila lapisan pasir tebalnya $> 2,00$ m dan lapisan pasirnya cukup padat.

Rumus Terzaghi :

$$Q_{ult} = 1,3 \cdot C_3 \cdot N_c + D \cdot \gamma_2 \cdot N_Q + 0,3 \cdot \emptyset \cdot \gamma_3 \cdot N_\gamma$$

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

dimana :

$$Q_{ult} = \text{daya dukung batas pondasi sumuran (T/m}^2\text{)}$$

$$Q_{all} = \text{daya dukung ijin pondasi sumuran (T/m}^2\text{)}$$

FS = Factor of Safety (3,0)

Df = kedalaman pondasi sumuran (m)

R = jari-jari sumuran (m)

γ = berat jenis tanah (T/m^3)

c = kohesi tanah (T/m^2)

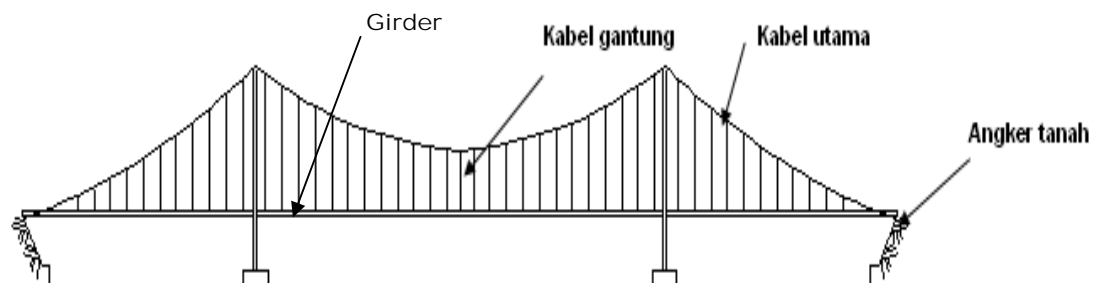
N_c, N_γ, N_q = faktor daya dukung tanah Terzaghi

2.5 ASPEK KONSTRUKSI JEMBATAN

2.5.1 Pengertian Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Jembatan gantung adalah sistem struktur jembatan yang menggunakan kabel sebagai pemikul utama beban lalu lintas di atasnya, pada sistem ini kabel utama (*main cable*) memikul beberapa kabel gantung (*suspension cables*) yang menghubungkan antara kabel utama dengan gelagar jembatan. Kabel utama dihubungkan pada kedua tower jembatan dan memanjang disepanjang jembatan yang berakhir pada pengangkeran pada kedua ujung jembatan untuk menahan pergerakan vertikal dan horisontal akibat beban-beban yang bekerja.

Sistem jembatan ini merupakan sistem yang mampu mengakomodasi bentang terpanjang dari semua sistem struktur jembatan yang ada, sistem ini juga sudah biasa menjadi *landmark* bagi kota-kota besar di dunia yang menggunakan sistem jembatan ini, contoh penggunaan sistem jembatan ini adalah jembatan Golden Gate San Fransisco Amerika Serikat.



Gambar 2.1 Bentuk Sistem Struktur Jembatan Gantung

2.5.2 Komponen Struktur Jembatan

Komponen atau bagian-bagian jembatan meliputi komponen struktur atas, komponen struktur bawah, dan bangunan pelengkap jembatan.

Tabel 2.11 Komponen Struktur Jembatan Gantung

Komponen Struktur Jembatan Gantung		Fungsi
Struktur Bawah	Pondasi	Menerima gaya vertikal dan horisontal dari struktur atas.
	Angkur	Menerima gaya tarik yang diakibatkan gaya pada kabel utama.
	<i>Pylon</i>	Menerima gaya vertikal dari kabel-kabel utama. Menerima gaya horisontal akibat beban luar (angin, gempa, dll).
Struktur Atas	Plat Lantai	Tempat berjalannya kendaraan. Menerima beban vertikal dan horisontal akibat beban lalu lintas.
	<i>Girder</i>	Menerima gaya vertikal dan horisontal dari plat lantai.
	Kabel	Terdapat dua jenis kabel yang digunakan antara lain : <ul style="list-style-type: none"> • Kabel utama (<i>main cable</i>) menerima gaya aksial dari kabel gantung dan disalurkan ke <i>pylon</i>. • Kabel gantung (<i>suspension cable</i>) menerima gaya aksial tarik dari beban lalu lintas dan <i>girder</i>.

Bangunan pelengkap jembatan meliputi :

- Tembok samping dan tembok muka
- Dinding penahan tanah (*retaining wall*)
- Pelindung lereng (*slope protection*)
- Pelindung erosi dan gerusan (*scouring*)
- Drainase jembatan

2.5.3 Pembebanan Struktur

Pedoman pembebanan untuk perencanaan jembatan jalan raya merupakan dasar dalam menentukan beban-beban dan gaya-gaya untuk perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap bagian jembatan jalan raya. Penggunaan pedoman dimaksudkan untuk mencapai perencanaan ekonomis sesuai dengan kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga proses perencanaan menjadi efektif.

Pedoman pembebanan untuk perencanaan jalan raya meliputi data-data beban primer, beban sekunder dan beban khusus serta persyaratan perencanaan untuk penyebaran beban, kombinasi pembebanan, syarat ruang bebas dan penggunaan beban hidup tidak penuh.

Peraturan pembebanan yang digunakan dalam perencanaan Jembatan Gantung Tugu Soeharto ini mengacu pada *Bridge Management System* (BMS - 1992) :

2.5.3.1 Beban Permanen

a. Berat Sendiri

Berat nominal dan nilai terfaktor dari berbagai bahan dapat diambil dari tabel berikut ini :

Tabel 2.12 Berat Bahan Nominal SLS dan ULS

Bahan Jembatan	Berat Sendiri Nominal S.L.S (kN/m)	Berat Sendiri Biasa U.L.S (kN/m ³)	Berat Sendiri Terkurangi U.L.S (kN/ m ³)
Beton Massa	24	31,2	18
Beton Bertulang	25	32,5	18,80
Beton Bertulang Pratekan (Pracetak)	25	30	21,30
Baja	77	84,7	69,30
Kayu, Kayu lunak	7,8	10,9	5,50
Kayu, Kayu keras	11	15,4	7,7

Sumber : *Bridge Management System (BMS - 1992)*

b. Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat semua elemen tidak struktural yang dapat bervariasi selama umur jembatan seperti :

- Peralatan permukaan khusus.
- Pelapisan ulang dianggap sebesar 50 mm aspal beton (hanya digunakan dalam kasus menyimpang dan nominal 22 kN/ m³).
- Sandaran, pagar pengaman, dan penghalang beton.
- Tanda-tanda.
- Perlengkapan umum seperti pipa air dan penyaluran (dianggap kosong atau penuh).

c. Susut dan Rangkak

Susut dan rangkak menyebabkan momen, geser, dan reaksi ke dalam komponen tertahan. Pada ULS (keadaan batas *ultimate*) penyebab gaya-gaya tersebut umumnya diperkecil dengan retakan beton dan baja leleh. Untuk alasan ini beban faktor ULS yang digunakan 1,0. Pengaruh tersebut dapat diabaikan pada ULS sebagai bentuk sendi plastis. Bagaimanapun pengaruh tersebut seharusnya dipertimbangkan pada SLS (keadaan batas kelayanan).

Pengaruh rangkai dan susut bahan beton terhadap konstruksi, harus di tinjau. Besarnya pengaruh tersebut apabila tidak ada ketentuan lain, dapat dianggap senilai dengan gaya yang timbul akibat turunnya suhu sebesar 15° C.

d. Tekanan Tanah

❖ Keadaan aktif

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

$$\sigma_a = \gamma \cdot h \cdot K_a - 2 \cdot C \sqrt{K_a}$$

❖ Keadaan pasif

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

$$\sigma_p = \gamma \cdot h \cdot K_p + 2 \cdot C \sqrt{K_p}$$

2.5.3.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak yang dianggap bekerja pada jembatan.

a. Beban Kendaraan Rencana

- Aksi kendaraan

Beban kendaraan mempunyai tiga komponen :

1. Komponen vertikal
2. Komponen rem
3. Komponen sentrifugal (untuk jembatan melengkung)

- Jenis kendaraan

Beban lalu lintas untuk rencana jembatan jalan raya terdiri dari pembebanan lajur “D” dan pembebanan truk “T”. Pembebanan lajur “D” ditempatkan melintang pada lebar penuh dari jalan kendaraan jembatan dan menghasilkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan rangkaian kendaraan sebenarnya, jumlah total pembebanan lajur “D” yang ditempatkan tergantung pada lebar jalan kendaraan jembatan.

Pembebanan truk “T” adalah berat kendaraan, berat tunggal truk dengan tiga gandar yang ditempat dalam kedudukan sembarang pada lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari dua pembebanan bidang kontak yang dimaksudkan agar mewakili

pengaruh moda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” boleh ditempatkan perlajur lalu lintas rencana.

Umumnya, pembebanan “D” akan menentukan untuk bentang sedang sampai panjang dan pembebanan “T” akan menentukan untuk bentang pendek dan sistem lantai.

b. Beban Lajur “D”

Beban terbagi rata = UDL (*Uniformly Distribute Load*) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani L seperti berikut:

$$q = 8,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots \text{ untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$q = 8,0 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \dots\dots\dots \text{ untuk } L > 30 \text{ m}$$

dimana :

L = panjang (meter), ditentukan oleh tipe konstruksi jembatan

kPa = kilo paskal per jalur

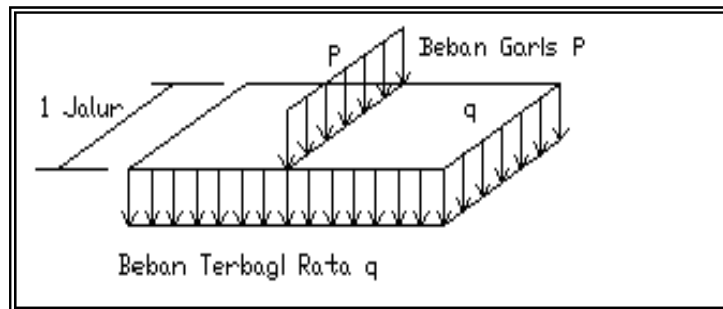
Beban UDL boleh ditempatkan dalam panjang terputus agar terjadi pengaruh maksimum. Dalam hal ini, L adalah jumlah dari panjang masing-masing beban terputus tersebut.

Beban garis (KEL) sebesar P kN/m, ditempatkan dalam kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas.

$$P = 44,0 \text{ kN/m}$$

Pada bentang menerus, KEL ditempatkan dalam kedudukan lateral sama yaitu tegak lurus arah lalu lintas pada 2 bentang agar momen lentur negatif menjadi maksimum.

Beban UDL dan KEL bisa digambarkan seperti pada Gambar 2.2



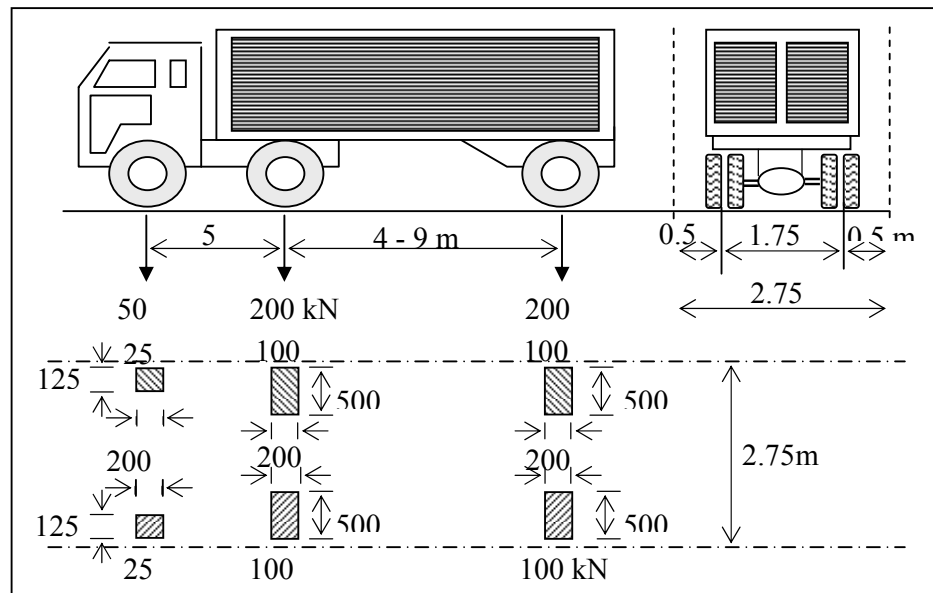
Gambar 2.2 Beban “D”

Ketentuan penggunaan beban “D” dalam arah melintang jembatan adalah sebagai berikut :

- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,50 meter, beban “D” sepenuhnya (100 %) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
- Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan lebih besar dari 5,50 meter, beban “D” sepenuhnya (100 %) dibebankan pada lebar jalur 5,50 meter sedang lebar selebihnya dibebani hanya separuh beban “D” (50 %).

c. Beban Truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat pada Gambar 2.10. Berat dari masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 as tersebut bisa diubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2.3 Pembebanan Truk “T”

Hanya satu truk yang harus ditempatkan dalam tiap lajur lalu lintas rencana untuk panjang penuh dari jembatan. Truk “T” harus ditempatkan ditengah lajur lalu lintas. Jumlah maksimum lajur lalu lintas rencana diberikan dalam tabel berikut :

Tabel 2.13 Jumlah Maksimum Lajur Lalu Lintas Rencana

Jenis Jembatan	Lebar Jalan Kendaraan Jembatan (m)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana
Lajur tunggal	4,0 – 5,0	1
Dua arah tanpa median	5,5 – 8,25	2
	11,25 – 15,0	4
Jalan kendaraan majemuk	10,0 – 12,9	3
	11,25 – 15,0	4
	15,1 – 18,75	5
	18,8 – 22,5	6

Sumber : Bridge Management System (BMS - 1992)

d. Faktor Beban Dinamik

Faktor beban dinamik (DLA) berlaku pada beban “KEL”, beban lajur “D”, dan beban truk “T” untuk simulasi kejutan dari kendaraan bergerak pada struktur jembatan. Faktor beban dinamik adalah untuk SLS dan ULS dan untuk semua bagian struktur sampai pondasi. Untuk beban truk “T” nilai DLA adalah 0,3, untuk beban garis “KEL” nilai DLA diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 2.14 Faktor Beban Dinamik Untuk “KEL” dan lajur “D”

Bentang Ekuivalen L_E (m)	DLA (untuk kedua keadaan batas)
$L_E < 50$	0,4
$50 < L_E < 90$	$0,525 - 0,0025 L_E$
$L_E \geq 90$	0,3

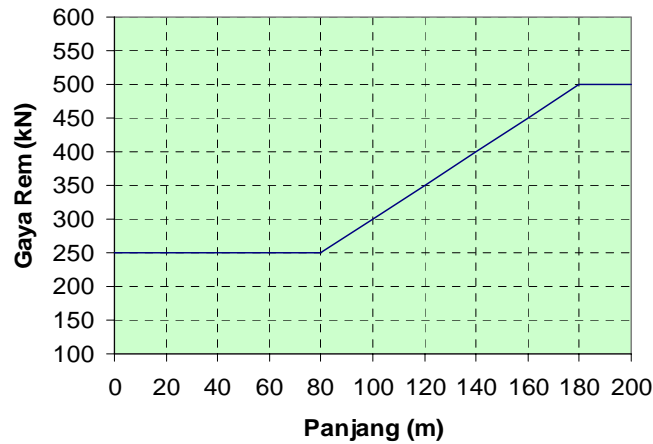
Sumber : Bridge Management System (BMS - 1992)

Catatan:

1. Untuk bentang sederhana $L_E =$ panjang bentang aktual
2. Untuk bentang menerus $L_E = L_{rata-rata} * L_{maksimum}$

e. Gaya Rem

Pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu lintas harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada lantai kendaraan. Adapun besar gaya rem ditetapkan berdasarkan gambar 2.4 yang mana lokasi beban adalah sama persis dengan lokasi beban “T” dan diperhitungkan 1 beban saja untuk 1 lajur.



Gambar 2.4 Gaya Rem

Sumber : Bridge Management System (BMS - 1992)

f. Beban Pejalan Kaki

Lantai dan gelagar yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk 5 kPa. Intensitas beban untuk elemen lain diberikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2.15 Beban Pejalan Kaki untuk Trotoar Jembatan Jalan Raya

Luas terpikul oleh Unsur (m ²)	Beban Pejalan Kaki (kPa)
$A < 10 \text{ m}^2$	5
$10 \text{ m}^2 < A < 100 \text{ m}^2$	$5,33 - \frac{A}{30}$
$A > 100 \text{ m}^2$	2

Sumber : Bridge Management System (BMS - 1992)

2.5.3.3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan adalah beban-beban akibat pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa, dan penyebab-penyebab alamiah lainnya. Besarnya beban rencana yang diberikan dalam tata cara ini didasarkan pada analisa statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat.

a. Penurunan

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

b. Gaya Angin

Tekanan angin rencana diberikan dalam table di bawah ini :

Tabel 2.16 Tekanan Angin pada Bangunan Atas

Jenis Keadaan Batas	Tekanan Angin (kPa)	
	Pantai (<5 km dari pantai)	Luar pantai (>5 km dari pantai)
SLS	0,65	0,45
ULS	1,06	0,78

Sumber : Bridge Management System (BMS - 1992)

Tabel 2.17 Beban Garis Merata Akibat Angin pada Beban Hidup

Jenis Keadaan Batas	Beban Garis Merata (KN/m)	
	Pantai (<5 km dari pantai)	Luar pantai (>5 km dari pantai)
SLS	1,3	0,9
ULS	2,12	1,56

Sumber : Bridge Management System (BMS - 1992)

Bidang vertikal beban hidup ditetapkan sebagai suatu permukaan bidang vertikal yang mempunyai tinggi menerus sebesar 2 meter di atas lantai kendaraan.

c. Gaya Aliran Sungai

Gaya aliran sungai tergantung pada kecepatan rencana aliran sungai pada butir yang ditinjau.

d. Hanyutan

Gaya aliran sungai dinaikkan bila hanyutan dapat terkumpul pada struktur kecuali tersedia keterangan lebih tepat, gaya hanyutan dapat dihitung seperti berikut :

- Keadaan batas ultimate (banjir 50 tahun)

$$P = 0,78 V_s^2 A_D$$

- Keadaan batas ultimate (banjir 100 tahun)

$$P = 1,04 V_s^2 A_D$$

Dimana :

V_s = Kecepatan aliran rata-rata untuk keadaan batas yang ditinjau.

A_D = Luas hanyutan yang bekerja.

e. Gaya Apung

Pengaruh gaya apung harus termasuk pada gaya aliran sungai kecuali diadakan ventilasi udara. Perhitungan berikut harus diperhitungkan bila pengaruh gaya apung diperkirakan :

- Pengaruh gaya apung pada bangunan bawah dan beban mati bangunan atas.
- Pengadaan sistem pengikatan jangkar untuk bangunan atas.
- Pengadaan drainase dari sel dalam.

f. Gaya yang diakibatkan oleh Suhu

Perubahan merata dalam suhu jembatan menghasilkan perpanjangan atau penyusutan seluruh panjang jembatan. Gerakan tersebut umumnya kecil di Indonesia, dan dapat diserap oleh perletakan dengan gaya cukup kecil yang disalurkan ke bangunan bawah oleh bangunan atas dengan bentang 100 m atau kurang.

g. Gaya Gempa

Jembatan yang akan dibangun di daerah rawan gempa bumi harus direncanakan dengan memperhitungkan pengaruh gempa bumi tersebut. Pengaruh gempa bumi pada jembatan diperhitungkan senilai dengan pengaruh horisontal yang bekerja pada titik berat konstruksi atau bagian konstruksi yang ditinjau dalam arah yang paling berbahaya.

Beban gempa yang bekerja pada struktur jembatan dapat berasal dari gaya inersia akibat guncangan tanah, atau dari beban gempa tambahan akibat tanah dan air. Beban gempa horisontal (V) pada jembatan dapat ditentukan dari rumus :

$$V = \frac{C.I.S}{R} W_T$$

dimana :

W_T = Berat nominal total dari bangunan atas termasuk beban mati tambahan dan setengah berat pilar

C = Koefisien geser dasar untuk wilayah gempa, waktu getar struktur, dan kondisi tanah yang sesuai

R = Faktor reduksi gempa, untuk jembatan Tipe A dan Tipe B yang bersifat daktil penuh harga $R = 8,5$, sedangkan untuk jembatan Tipe C yang bersifat elastis harga $R = 1,6$.

S = Faktor tipe struktur jembatan sehubungan dengan kapasitas penyerapan energi atau tingkat daktilitas struktur jembatan (Tabel 2.18)

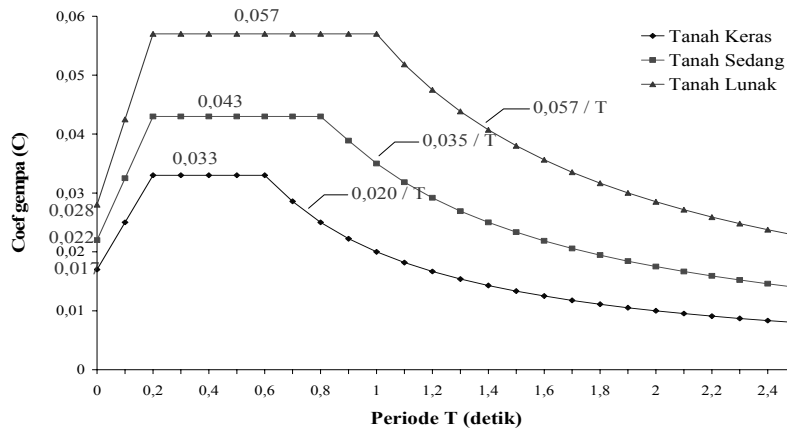
I = Faktor kepentingan jembatan (Tabel 2.19)

Tabel 2.18 Faktor Daktilitas Struktur Jembatan (S)

Jenis Jembatan	Tipe Jembatan	Faktor Daktilitas Struktur Jembatan (S)	Keterangan
Jembatan dari struktur beton bertulang biasa atau dari struktur baja	A	$S = 1,25 - 0,025 n$	struktur dengan daktilitas
	B	$S = 1,25 - 0,025 n$	struktur dengan daktilitas
	C	$S = 3$	struktur tanpa daktilitas/elastis
Jembatan dari struktur beton prategang sebagian (<i>partially prestressed</i>)	A	$S = 1,15 - 0,025 n$	struktur dengan daktilitas
	B	$S = 1,15 - 0,025 n$	struktur dengan daktilitas
	C	$S = 3$	struktur tanpa daktilitas/elastis
Jembatan dari struktur beton prategang penuh (<i>fully prestressed</i>)	A	$S = 1,30 - 0,025 n$	struktur dengan daktilitas
	B	$S = 1,30 - 0,025 n$	struktur dengan daktilitas
	C	$S = 3$	struktur tanpa daktilitas/elastis

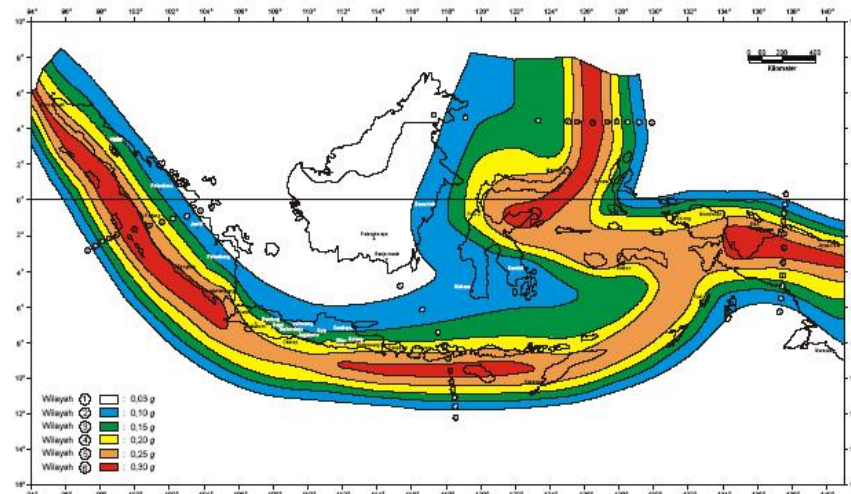
Tabel 2.19 Faktor Kepentingan Struktur Jembatan (I)

No.	Jenis Jembatan	I
1.	Jembatan yang dilewati lebih dari 2000 kendaraan perhari, jembatan pada jalan utama atau jalan arteri, atau jembatan pada jalan dimana tidak terdapat rute alternatif.	1,2
2.	Jembatan-jembatan permanen dan terdapat rute alternatif, atau jembatan yang tidak direncanakan untuk mengurangi beban lalu-lintas.	1,0
3.	Jembatan-jembatan tidak permanen (misalnya Jembatan Bailey) dan jembatan yang direncanakan untuk mengurangi beban lalu-lintas.	0,8



Gambar 2.5 Diagram Spektrum Respon Gempa

Kota Semarang termasuk dalam zona 2 dimana sesuai dengan peta pembagian zona gempa di Indonesia seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.6 Peta Pembagian Zona Gempa di Indonesia

2.5.3.4 Kombinasi Beban Rencana

a. Umum

Aksi rencana ditentukan dari aksi nominal yaitu mengalikan aksi nominal dengan faktor beban yang memadai. Seluruh pengaruh aksi rencana harus mengambil faktor beban yang sama, apakah itu biasa atau berkurang. Di sini keadaan paling berbahaya harus diambil.

b. Pengaruh Umur Rencana

Faktor beban untuk keadaan batas *ultimate* didasarkan kepada umur rencana jembatan 50 tahun. Untuk jembatan dengan umur rencana berbeda, faktor beban *ultimate* harus diubah dengan menggunakan faktor pengali.

c. Kombinasi untuk Aksi Tetap

Seluruh aksi tetap untuk jembatan tertentu diharapkan bekerja bersama-sama. Akan tetapi apabila aksi tetap bekerja mengurangi pengaruh total, kombinasi beban harus diperhitungkan dengan memperhitungkan adanya pemindahan aksi tersebut, apabila pemindahan tersebut bisa diterima.

d. Perubahan Aksi Tetap terhadap Waktu

Beberapa aksi tetap seperti beban mati tambahan, penyusutan dan rangkai, pengaruh tegangan, dan pengaruh penurunan bisa berubah perlahan-lahan berdasarkan pada waktu.

e. Kombinasi pada Keadaan Batas Daya Layan

Terdiri dari jumlah pengaruh aksi tetap dan satu aksi *transient*. Pada keadaan batas daya layan, lebih dari satu aksi *transient* bisa terjadi secara bersamaan.

f. Kombinasi Pada Keadaan Batas *Ultimate*

Terdiri dari jumlah pengaruh aksi tetap dan satu aksi *transient*. Pada keadaan batas *ultimate*, tidak diadakan aksi *transient* lain untuk kombinasi dengan aksi gempa. Hanya satu aksi pada tingkat daya layan yang dimasukkan pada kombinasi pembebanan.

Kombinasi beban yang dipakai bisa bermacam-macam seperti terlihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20 Kombinasi Beban yang Lazim untuk Keadaan Batas

AKSI	Kombinasi Beban											
	Daya Layan						Ultimate					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1. Aksi Tetap: berat sendiri beban mati tambahan penyusutan, rangkai prategang pengaruh pelaksanaan tetap tekanan tanah penurunan	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Aksi <i>Transien</i> : beban lajur “D”, atau beban truk “T”	x	o	o	o	o		x	o	o	o		
3. gaya rem, atau gaya sentrifugal	x	o	o	o	o		x	o	o	o		
4. beban pejalan kaki		x						x				
5. Gesekan pada perletakan	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		o
6. Pengaruh temperatur	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		o
7. Aliran/hanyutan/tumbukan dan hidrostatis/apung	o		o	x	o	o			x	o		o
8. Beban angin			o	o	x	o			o	x		o
9. Aksi lain: gempa												x
10. Beban tumbukan												
11. Pengaruh getaran	x	x										
12. Beban pelaksanaan						x						x

Sumber : Bridge Management System (BMS - 1992)

Keterangan:

x = untuk kombinasi tertentu adalah memasukkan faktor daya layan dan beban *ultimate* secara penuh.

o = memasukkan harga yang sudah diturunkan.

2.5.4 Stabilitas Komponen Jembatan Gantung

2.5.4.1 Sandaran Trotoar

Sandaran berfungsi sebagai pagar pengaman bagi para pengguna jalan. Selain itu sandaran juga berfungsi untuk menambah nilai estetika.

Konstruksi sandaran terdiri dari :

- Tiang sandaran (*Rail Post*), biasanya dibuat dari beton bertulang untuk jembatan girder beton, sedangkan untuk jembatan rangka tiang sandaran menyatu dengan struktur rangka tersebut.
- Sandaran (*Hand Rail*), biasanya dari pipa besi, kayu dan beton bertulang.

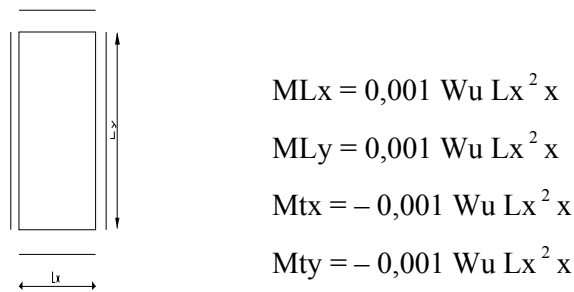
Tiang-tiang sandaran harus diperhitungkan untuk dapat menahan beban horisontal sebesar 100 kg/m, yang bekerja pada tinggi 90 cm dari perkerasan jalan.

2.5.4.2 Pelat Lantai (*Bridge Deck*)

Pelat lantai berfungsi sebagai lapisan penahan perkerasan. Pelat lantai dianggap tertumpu pada dua sisi.

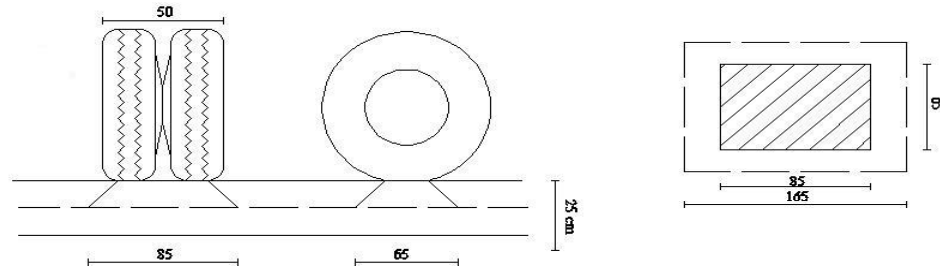
- Pembebanan pada pelat lantai.
- Beban mati (berat sendiri plat, berat perkerasan, berat air hujan).
- Beban hidup (muatan "T").
- Perhitungan momen.
- Penulangan pelat lantai.

Untuk mendapatkan momen desain dari beban mati yaitu beban plat lantai berdasarkan buku Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang (CUR 4) adalah sebagai berikut :

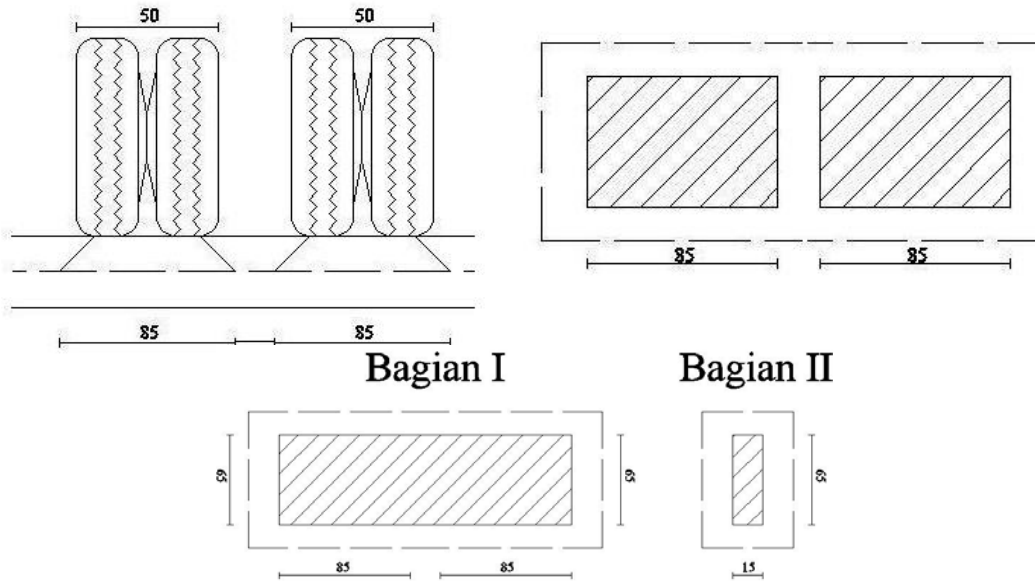


Gambar 2.7 Skema Penyaluran Beban pada Pelat Lantai

Untuk mendapatkan momen desain dari beban hidup lalu-lintas yang diharapkan, maka penyebaran beban "T" harus dikonfigurasi sehingga dapat menghasilkan pengaruh maksimum. Konfigurasi penyebaran beban "T" adalah pada saat satu roda berada di tengah-tengah plat lantai dan pada saat dua roda berada di tengah-tengah plat lantai.

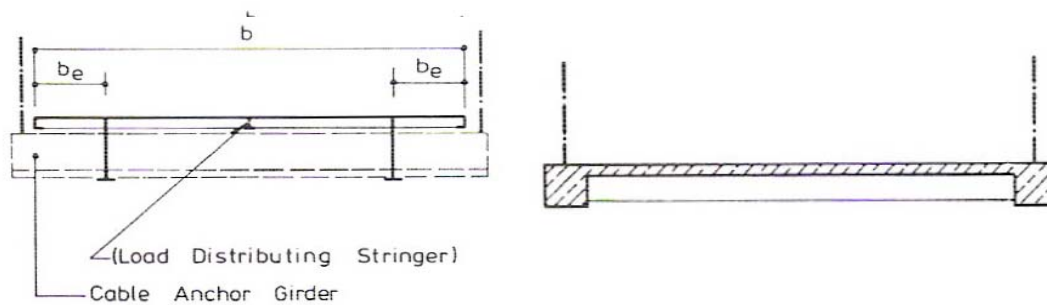


Gambar 2.8 Beban "T" Satu Roda di Tengah Pelat



Gambar 2.9 Beban "T" Dua Roda di Tengah Pelat

Dalam jembatan kabel, pelat lantai jembatan selalu menyatu dengan gelagar untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan. Pelat beton selalu digunakan bersama gelagar baja menjadi gelagar komposit dengan memanfaatkan sifat kuat tekan beton dan kuat tarik baja yang besar. Ketebalan pelat beton pada jembatan jalan raya antara 180 mm sampai 250 mm dan butuh dukungan gelagar pada jarak 3 – 5 meter. Kelebihan penggunaan pelat lantai beton adalah harga yang relatif murah tetapi memiliki berat mati yang besar sehingga membutuhkan ukuran gelagar, kabel, dan *pylon* yang lebih besar.



Gambar 2.10 Penggunaan Pelat Beton sebagai Lantai Jembatan

2.5.4.3 Gelagar Jembatan (*Stiffening Girder*)

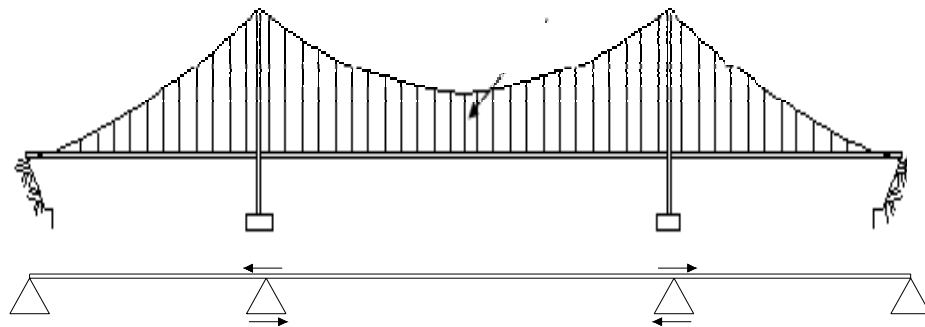
Gelagar jembatan berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang bekerja di atasnya dan menyalurkannya ke bangunan di bawahnya. Pembebanan gelagar meliputi :

- Beban mati berupa berat sendiri gelagar dan beban-beban yang bekerja di atasnya (pelat lantai jembatan, perkerasan dan air hujan).
- Beban hidup berupa beban "D" atau beban lajur.

Gelagar jembatan yang menyatu dengan plat lantai jembatan merupakan bagian elemen struktur utama yang memikul beban luar kemudian disalurkan ke sistem kabel. Secara umum dukungan sistem kabel sangat efisien dalam menerima beban mati tapi kurang efisien untuk menerima beban lalu lintas dan beban angin. Gelagar akan menerima gaya aksial, gaya lintang, momen, dan torsi.

1. Gaya Aksial

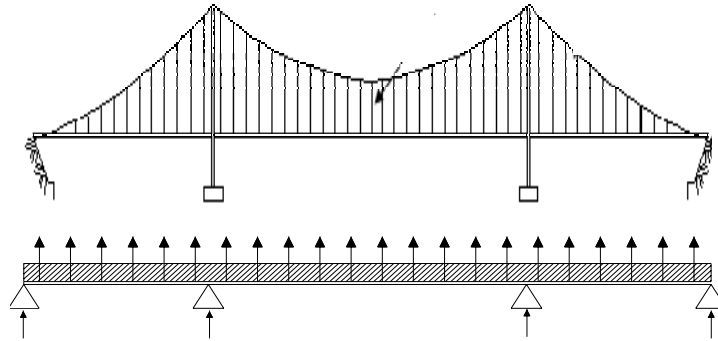
Gaya aksial yang bekerja pada gelagar jembatan ditimbulkan oleh aksi lalu lintas. Gaya aksial pada gelagar disalurkan *pylon* melalui perletakan selagar pada *pylon*.



Gambar 2.11 Gaya Aksial disalurkan ke *Pylon* melalui Perletakan Gelagar pada *Pylon*

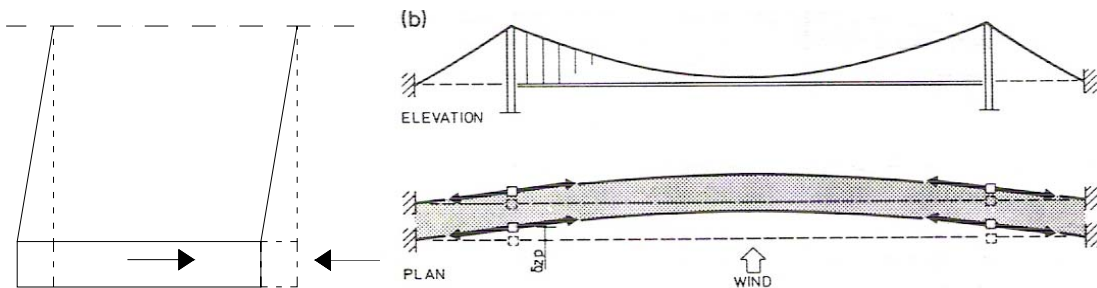
2. Gaya Lintang

Peran gelagar dalam menyalurkan beban vertikal tergantung dari susunan total sistem struktur. Pada jembatan gantung, kemampuan gelagar untuk menyalurkan gaya dengan memanfaatkan dukungan banyak kabel pada gelagar dan dukungan *pylon*. Dengan mendistribusikan gaya diantara sejumlah kabel menyebabkan gaya desain maksimal pada kabel berkurang dan lendutan plat lantai jembatan berkurang akibat beban terpusat.



Gambar 2.12 Distribusi Gaya Lintang pada Gelagar

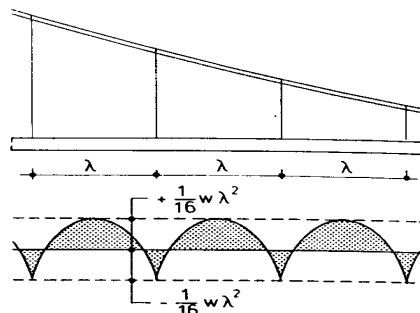
Gaya lintang juga dapat diakibatkan oleh beban luar yang bekerja dalam arah lateral jembatan seperti beban angin dan gempa. Untuk menjaga kestabilan dalam arah lateral diusahakan gelagar harus cukup berat, kaku, dan menerus sehingga deformasi dalam arah lateral berkurang. Agar gelagar cukup kaku maka pada gelagar dapat dipasang *bracing* atau ikatan angin yang saling menyilang seperti pada gambar di bawah ini. Penyaluran gaya lateral akibat angin atau gempa bekerja pada gelagar dan sistem kabel sehingga menghasilkan momen pada gelagar. Sebagai konsekuensi sebagian beban angin disalurkan ke kabel pada gelagar dan sebagian lagi disalurkan ke *pylon*.



Gambar 2.13 Distribusi Gaya pada Gelagar dalam Arah Lateral

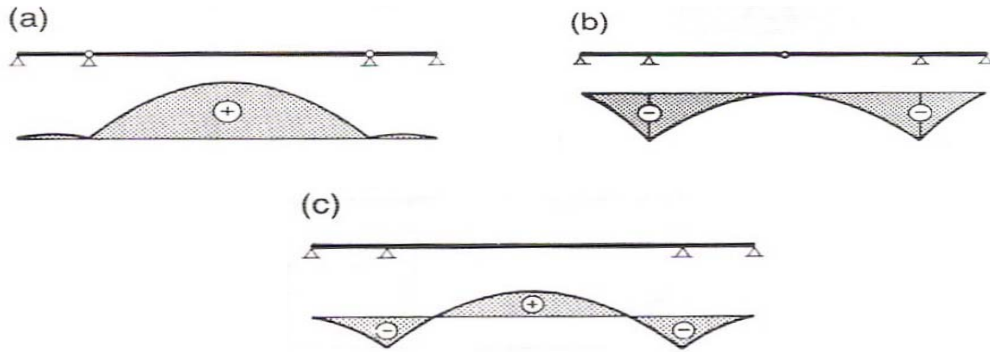
Akibat Beban Angin

3. Momen



Gambar 2.14 Distribusi Momen pada Gelagar akibat Beban Mati

Pada ilustrasi di bawah terdapat tiga sistem struktur gelagar akibat beban vertikal. Pada sistem pertama (a) gelagar tersusun dari 3 balok sederhana sehingga terjadi momen positif pada tengah bentang. Pada sistem kedua (b) pada bagian tengah gelagar terdapat *hinge* atau sendi penghubung sehingga terjadi momen 0 pada tengah bentang dan momen negatif pada *phylon*. Pada sistem ketiga (c) gelagar menerus sehingga terjadi momen positif pada bentang utama dan momen negatif pada *phylon*.

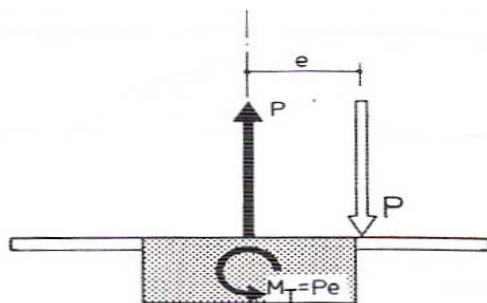


Gambar 2.15 Tiga Sistem Struktur pada Gelagar pada Arah Memanjang

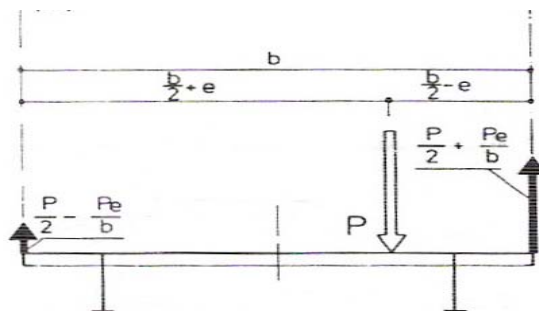
Diagram momen pada gambar di atas terjadi akibat beban luar yang disalurkan dalam bentuk momen pada gelagar. Perubahan dari sistem balok sederhana (a) ke balok menerus (c) akan sangat mengurangi deformasi gelagar pada arah lateral dan longitudinal dan beban yang disalurkan ke sistem kabel akan berkurang. Penggunaan gelagar menerus kurang memberikan pengaruh yang significant pada sistem pengangkutan.

3. Torsi

Perilaku torsi tergantung jumlah sistem kabel. Pada jembatan dengan jenis *two cable plane* pada ujung gelagar torsi tidak terlalu penting tetapi itu sangat menguntungkan dalam distribusi gaya diantara 2 bidang kabel.



Gambar 2.16 Sistem Gelagar yang didukung One Cable Plane sehingga terjadi torsi pada gelagar



Gambar 2.17 Sistem Gelagar yang didukung Two Cable Plane sehingga tidak terjadi torsi pada gelagar

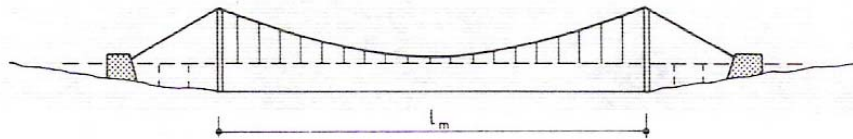
Pada gambar di atas, eksentrisitas gaya (P) didistribusikan ke dua bidang sisi kabel melalui prinsip kesetimbangan gaya sehingga tidak terjadi momen torsi yang terjadi pada gelagar.

2.5.4.4 Sistem Kabel (Cable System)

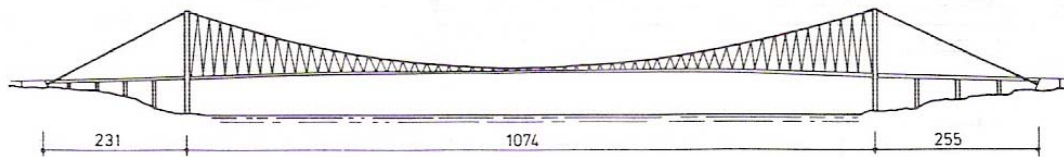
Beberapa hal penting yang harus menjadi perhatian apabila membicarakan kabel pada konstruksi jembatan yaitu sistem suspensi, *properties* kabel, geometri kabel, stabilitas sistem kabel, perilaku deformasi sistem kabel, dan osilasi pada kabel.

1 Sistem Suspensi

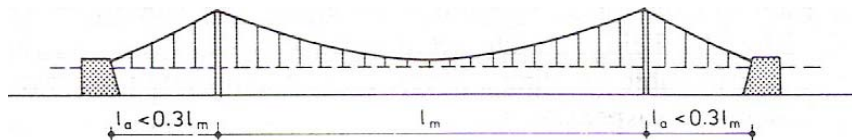
Pada sistem dukungan jembatan gantung, kabel utama didukung 4 titik yaitu 2 titik pada angkur blok dan 2 titik pada *pylon*. Titik dukungan pada angkur blok dapat diasumsikan tetap sedangkan titik dukungan pada ujung atas *pylon* mendukung beban hidup longitudinal. (dikarenakan elastisitas horisontal dari lengan *pylon* yang langsing)



Gambar 2.18 Jembatan Gantung dengan Bentang Pendekat Terpisah di luar Pylon



Gambar 2.19 Jembatan Gantung dengan Hanger Menyilang

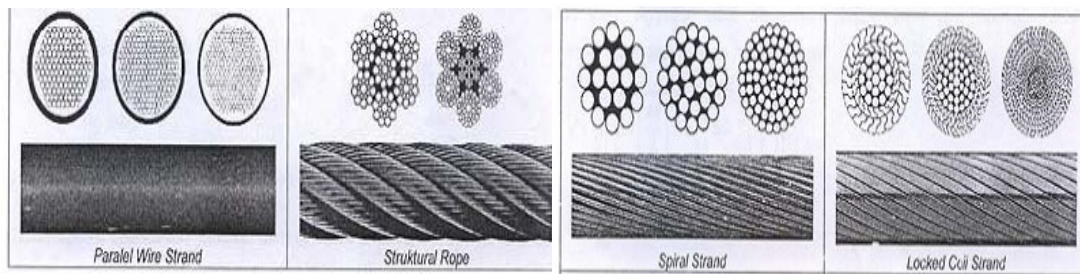


Gambar 2.20 Jembatan Gantung 3 Bentang dengan Bentang Ujung Pendek

2. Spesifikasi Kabel Baja di Pasaran

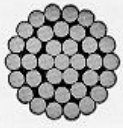
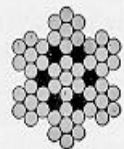
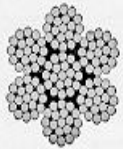
Kabel baja (*steel cable*) merupakan elemen dasar bagi kabel modern yang berfungsi sebagai pendukung jembatan yang lebih kuat dibanding baja struktur biasa. Dilihat dari segi kekuatannya, kawat baja 5 kali lebih kuat dibanding baja struktural lunak (*mild structural steel*) yang umumnya digunakan untuk baja tulangan pada konstruksi beton. Namun daya tahan terhadap perpanjangan saat putus adalah 1/5 kali dibanding baja struktural. Hal ini dikarenakan, kandungan karbon pada kawat baja hampir 5 kali dibanding baja struktural oleh karena itu kabel baja sulit untuk dilas. Umumnya, konstruksi kabel untuk pendukung jembatan adalah dalam bentuk “strand” (untaian kawat). *Strand* paling sederhana yang sering ditemui pada jembatan adalah *strand* dengan 7 buah kawat yang digunakan sebagai tendon pada beton pratekan (*prestressed concrete*). *Strand* yang dibuat dari 7 buah kawat berdiameter 5 mm terdiri dari sebuah inti kawat (*wire core*) yang dikelilingi 6 kawat sebagai lapisan pertama akan membentuk *strand* berdiameter 15,3 mm, konstruksi ini sering disebut dengan *7-wire strand 0,6*”. Tipikal modulus elastisitas nominal dari sebuah kabel *7-wire strand* kira-kira 195.000 MPa, lebih rendah 5 – 6 % dibanding satu buah kawat (*single wire/cable*). Pengurangan dari kekakuan ini akibat puntiran kawat-kawat dalam helical *strand*, dimana kurva perpanjangan *strand* (*curved strand*) tidak seperti pada individual kawat-kawat.

Tipe-tipe kabel yang umumnya ada di pasaran adalah *Spiral Strand*, *Locked Coil Strand*, *Parallel Wire Strand*, dan *Structural Rope*.



Gambar 2.21 Tipe Struktural Kabel

Tabel 2.21 Diameter dan Kekuatan Kabel Baja

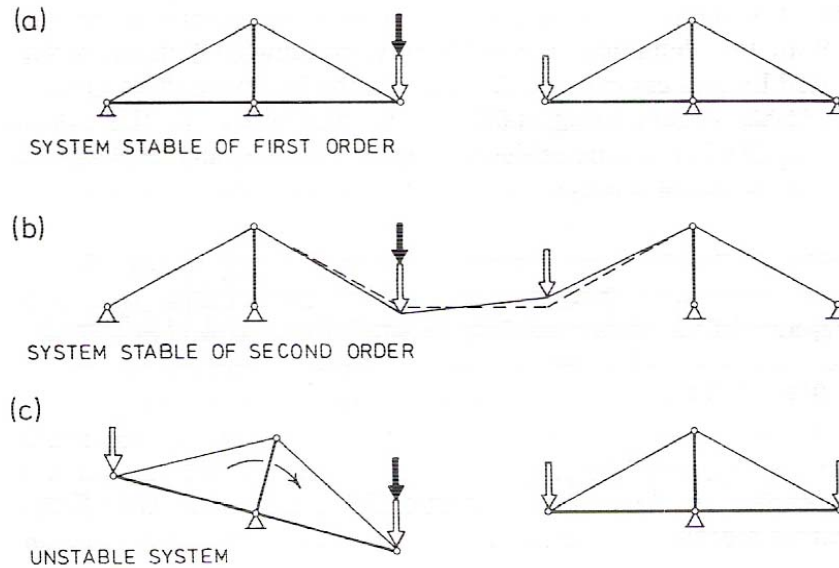
STANDARD GALVANIZED STEEL BRIDGE STRAND				STANDARD GALVANIZED STEEL BRIDGE ROPE			
 <p>Made from Standard Galvanized Bridge Wire</p>				 <p>Made from Standard Galvanized Bridge Wire</p> <p>All Ropes Contain 7 Strands</p> 			
Nominal Strand Diameter*	Approx. Weight Lb./Ft.*	Approx. Gross Metallic Area incl. Galv., Sq. In.*	Min. Breaking Strength in Tons of 2,000 lb.	Nominal Bridge Rope Dia.*	Approx. Weight Lb./Ft.*	Approx. Gross Metallic Area incl. Galv., Sq. In.*	Min. Breaking Strength in Tons of 2,000 lb.
1/2	0.52	.149	15.0	5/8	0.65	.182	18.0
9/16	0.66	.190	19.0	3/4	0.95	.268	26.0
5/8	0.82	.233	24.0	7/8	1.28	.361	35.0
11/16	0.99	.284	29.0	1	1.67	.471	45.7
3/4	1.18	.336	34.0	1 1/8	2.11	.596	57.8
13/16	1.39	.396	40.0	1 1/4	2.64	.745	72.2
7/8	1.61	.467	46.0	1 3/8	3.21	.906	87.8
15/16	1.85	.527	54.0	1 1/2	3.82	1.076	104.0
1	2.00	.577	61.0	1 5/8	4.51	1.27	123.0
1 1/16	2.30	.663	69.0	1 3/4	5.24	1.47	143.0
1 1/8	2.61	.751	78.0	1 7/8	6.03	1.69	164.0
1 1/4	2.92	.843	86.0	2	6.85	1.92	186.0
1 1/2	3.22	.931	96.0	2 1/8	7.73	2.17	210.0
1 5/8	3.58	1.04	106.0	2 1/4	8.66	2.42	235.0
1 3/4	3.89	1.13	116.0	2 3/8	9.61	2.69	261.0
1 7/8	4.29	1.24	126.0	2 1/2	10.60	2.97	288.0
1 5/4	4.70	1.36	138.0	2 5/8	11.62	3.27	317.0
1 9/8	5.11	1.48	150.0	2 3/4	12.74	3.58	347.0
1 7/4	5.52	1.60	162.0	2 7/8	13.90	3.91	379.0
1 11/8	5.98	1.73	176.0	3	15.11	4.25	412.0
1 3/2	6.45	1.87	188.0	3 1/4	18.0	5.04	475.0
1 11/4	6.92	2.00	202.0	3 1/2	21.0	5.83	555.0
1 5/2	7.42	2.14	216.0	3 3/4	24.0	6.72	638.0
1 11/2	7.95	2.29	230.0	4	27.0	7.56	720.0
2	8.48	2.43	245.0				
2 1/16	8.98	2.59	261.0				
2 1/8	9.47	2.72	277.0				
2 1/4	10.13	2.90	293.0				
2 1/2	10.83	3.11	310.0				
2 3/8	11.29	3.25	327.0				
2 1/2	11.81	3.39	344.0				
2 5/8	12.25	3.52	360.0				
2 3/2	13.25	3.81	376.0				
2 7/8	13.80	3.92	392.0				
2 5/4	14.47	4.13	417.0				
2 11/8	15.16	4.33	432.0				
2 3/2	15.88	4.53	452.0				
2 7/4	17.36	4.96	494.0				
3	18.90	5.40	538.0				

3. Stabilitas Sistem Kabel

Syarat kestabilan jembatan kabel dapat dibagi dalam 3 kelompok :

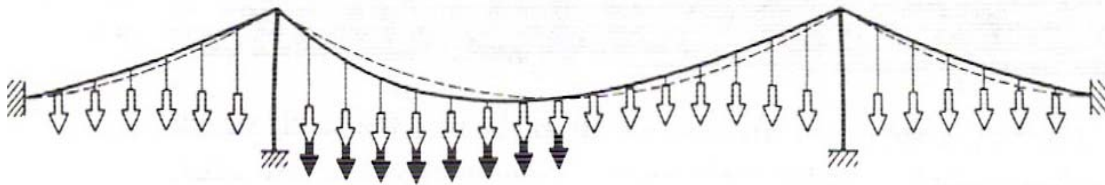
1. Sistem kabel akan stabil bila sistem kesetimbangan tercapai tanpa adanya perpindahan titik manapun pada jembatan (Gambar 2.22 - a).
2. Sistem kabel akan stabil bila sistem kesetimbangan tercapai dengan perpindahan titik akibat beban luar (Gambar 2.22 - b).
3. Sistem kabel akan tidak stabil bila sistem kesetimbangan tidak dapat dicapai hanya oleh sistem kabel itu sendiri (Gambar 2.22 - c).

Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.22 Stabilitas Sistem Kabel pada Jembatan Gantung

Jembatan gantung (*suspension bridge*) adalah contoh sistem kestabilan kelompok kedua. Pada ilustrasi di bawah perpindahan kabel akibat beban luar.

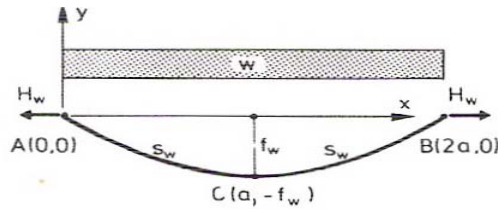


Gambar 2.23 Jembatan Gantung akan Stabil sesuai Model (b)

Beban vertikal pada tiap titik akan meningkatkan gaya tarik pada kabel utama sehingga jembatan gantung akan tetap stabil untuk seluruh beban.

4. Geometri dan Deformasi Sistem Kabel

Geometri kabel ditentukan dengan asumsi bahwa pada gelagar dan *phylon* tidak terjadi momen sehingga bentuk kurva kabel serupa dengan kurva parabola akibat beban mati dan beban lalu lintas seperti terlihat pada gambar 2.24.



Gambar 2.24 Deformasi Kabel akibat Beban Mati

Pada kondisi beban mati seperti gambar di atas, kurva kabel berbentuk parabola derajat 2 menurut persamaan :

$$y = \frac{f_w}{a^2} x(x - 2a)$$

Dimana f_w = sag pada tengah bentang menurut persamaan :

$$f_w = \frac{wa^2}{2H_w}$$

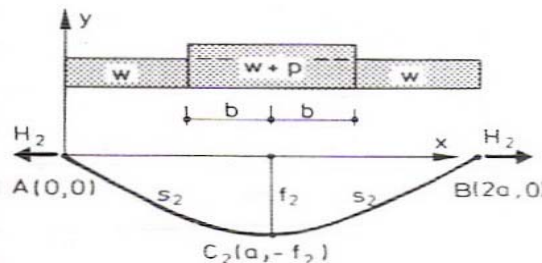
Panjang kurva s_w dari A ke C ditentukan oleh persamaan :

$$s_w = a \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{f_w}{a} \right)^2 \right]$$

Untuk $f_w / a \leq 0,2$ panjang kurva dari persamaan di atas berbeda kurang dari 0,1% dari angka sebenarnya. Untuk $f_w / a = 0,5$ perbedaan antara nilai perkiraan dan nilai sebenarnya kurang dari 1,6%. Untuk analisa jembatan gantung sering digunakan nilai $f_w / a = 0,2$. Bila kabel menerima beban lalu lintas merata dan seragam (P) maka titik perletakan akan bergeser $2\delta h$ dan ada perubahan suhu Δt . Faktanya δh dan Δt sangat kecil bila dibandingkan dengan 1, sehingga persamaan gaya horisontal menjadi :

$$H_2 = \frac{(w + p)a^2}{2f_2}$$

Dalam kasus jembatan gantung, geometri sistem kabel utama akan berubah dipengaruhi oleh letak beban lalu lintas yang tidak merata sehingga bentuk kurva lengkung akan berbeda dari kurva lengkung akibat beban mati.



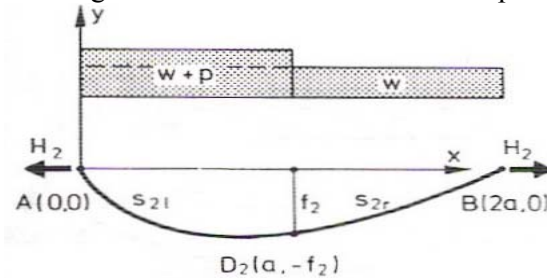
Gambar 2.25 Deformasi Kabel akibat Beban Mati dan Beban Lalu Lintas (P) yang Tidak Seragam di Tengah Bentang

Untuk beban seperti gambar 2.25 lengkungan kabel ditentukan dengan persamaan :

$$y = \begin{cases} \frac{wx^2 - 2(wa + pb)x}{wa^2 + pb(2a - b)} f_2 & 0 < x < a - b \\ \frac{wx^2 - 2(wa + pb)x + p(x + b - a)^2}{wa^2 + pb(2a - b)} f_2 & a - b < x < a \end{cases}$$

Tidak terjadi perpindahan titik pada arah horisontal

(b) Karakteristik asimetri dengan beban lalu lintas terdistribusi pada setengah bentang



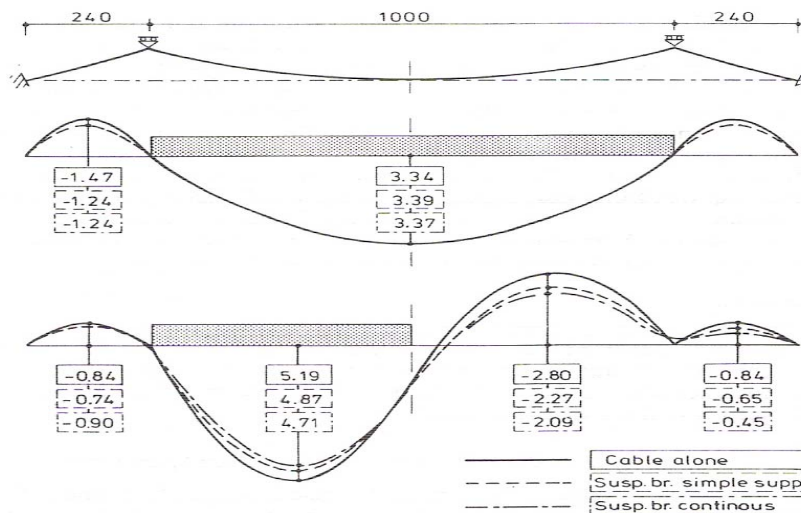
Gambar 2.26 Deformasi Kabel akibat Beban Mati dan Beban Lalu Lintas (P) yang Tidak Seragam pada Setengah Bentang

Untuk beban seperti gambar 2.26 lengkungan kabel ditentukan dengan persamaan :

$$y = \begin{cases} \frac{2(w + p)x^2 - (4w + 3p)ax}{(2w + p)a^2} f_2 & 0 \leq x \leq a \\ \frac{2wx^2 - (4w - p)ax - 2pa^2}{(2w + p)a^2} f_2 & a \leq x \leq 2a \end{cases}$$

Teori Deformasi Sistem Kabel

Deformasi jembatan gantung akibat beban lalu lintas yang tidak simetri akan memberikan efek yang berbeda pada bentuk sistem kabel seperti terlihat pada gambar 2.27.



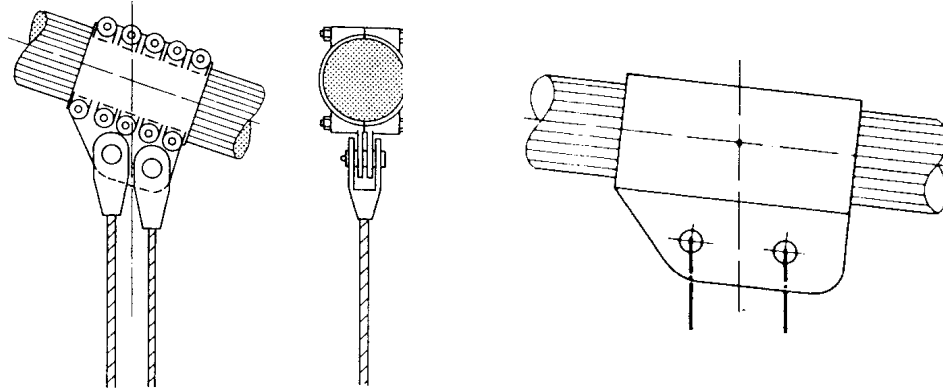
Gambar 2.27 Perbandingan Defleksi pada Jembatan Gantung dengan Gelagar Sederhana dan Gelagar Menerus

Pada gambar 2.27 terlihat defleksi pada 3 sistem yang berbeda yaitu :

1. Sistem kabel sendiri
2. Jembatan gantung dengan gelagar tersusun seperti balok sederhana
3. Jembatan gantung dengan gelagar menerus

Untuk beban asimetri terdapat perbedaan defleksi pada 3 sistem struktur dengan defleksi terbesar pada kabel murni dan defleksi terkecil pada gelagar menerus.

Hubungan kabel utama dengan hanger seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.28 Hubungan Kabel Utama dengan Hanger

5. Optimalisasi Biaya Sistem Kabel dan Pylon

Faktor biaya konstruksi juga menjadi pertimbangan dalam pemilihan geometri sistem kabel sehingga sistem kabel yang direncanakan tidak hanya kuat menahan beban tetapi juga cukup ekonomis untuk dibuat. Total biaya C_{cp} sistem kabel dan *pylon* dapat diperkirakan sesuai persamaan di bawah ini.

$$C_{cp} = (Q_{cm} + Q_{ca} + Q_{hm} + Q_{ha})u_c + 2Q_p u_p$$

Dimana u_c = biaya konstruksi dan perawatan kabel baja

u_p = biaya konstruksi *pylon*

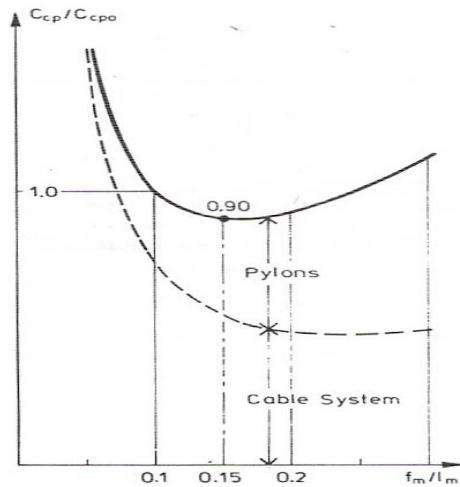
Q_{cm} = berat kabel utama pada bentang utama

Q_{ca} = berat kabel utama pada bentang ujung

Q_{hm} = berat hanger pada bentang utama

Q_{ha} = berat hanger pada bentang ujung

Keekonomisan biaya dipengaruhi oleh sag ratio seperti gambar 2.29 di bawah ini



Gambar 2.29 Variasi Ccp/Ccpo terhadap fm/lm pada Jembatan Gantung

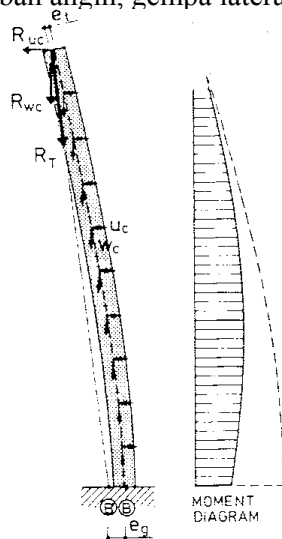
Pada gambar 2.29 merupakan perkiraan variasi biaya C_{cp}/C_{cpo} terhadap sag ratio f_m/l_m . C_{cpo} adalah biaya konstruksi jembatan gantung dengan sag ratio 1:10. Pada gambar terlihat sag ratio optimum pada $f_m/l_m = 0,15$ dimana harga konstruksi lebih rendah 10% lebih rendah dari sag rasio 0,1. Jika harga hanya terdiri dari sistem kabel maka harga optimum terjadi pada $f_m/l_m = 0,25$. Peningkatan panjang bentang akan menyebabkan beban mati kabel bertambah sehingga nilai kabel optimum akan bergeser semakin besar. Pada gambar di samping terjadi pada jembatan gantung bentang 1300 m dan tinggi *pylon* 40 m.

2.5.4.5 Konstruksi Pylon

Pylon berfungsi sebagai penahan beban utama yang timbul dari berat *girder*, beban lalu lintas, distribusi beban disalurkan lewat kabel yang di angkur pada *girder* dan *pylon* sendiri.

Beban yang bekerja pada *pylon* :

- Berat sendiri
- Beban vertikal dan hisontal dari gelagar
- Beban tumpuan atas kabel utama
- Beban angin, gempa lateral

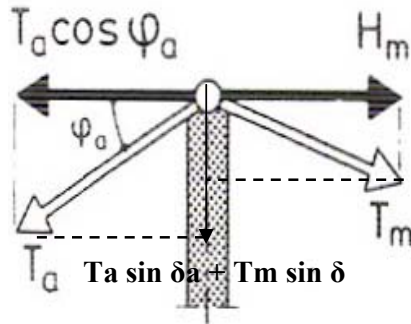


Dimana R_t = gaya vertical akibat defleksi lateral *pylon*

Pada gambar 2.30 terjadi pada *pylon* yang didukung sistem jembatan gantung dimana defleksi terjadi akibat beban lateral.

Gambar 2.30 Beban yang Bekerja pada Pylon

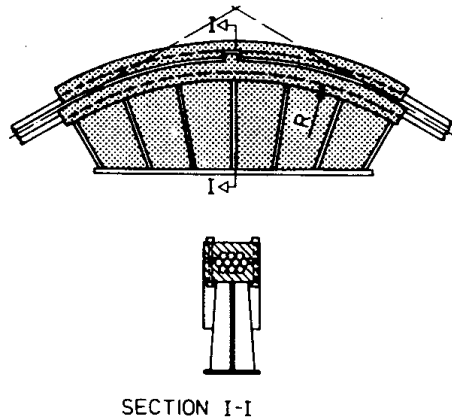
Stabilitas Pylon



Gambar 2.31
Persamaan Kesetimbangan
pada Bagian Atas Pylon

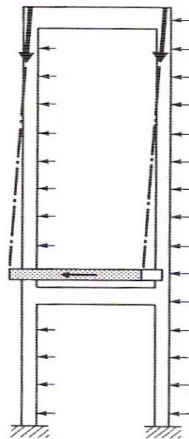
Pada gambar 2.31 merupakan gaya yang disalurkan kabel pada *pylon*. Pada kabel bentang utama terjadi aksial tarik T_m dan pada bentang ujung terjadi aksial tarik T_a . Jika diperhitungkan terhadap sudut kabel maka gaya horisontal pada kabel bentang utama = kabel bentang ujung sehingga tidak terjadi gaya horisontal.

$T_a \cos \delta_a = H_m$ sehingga hanya terjadi gaya aksial tekan arah vertikal ke bawah.



Gambar 2.32 Hubungan Kabel Utama pada Atas *Pylon*

Double Plane System



Gambar 2.33
Tipe Pylon Portal yang
didukung Angkur

Pylon jenis ini menggunakan sistem dua kabel vertikal (*Two Vertical Cable Planes*), sistem ini mempunyai kekakuan yang tinggi karena mampu menahan beban vertikal, beban transversal dan momen puntir sehingga struktur lebih stabil, struktur ini juga cocok untuk jembatan dengan lebar dan bentang panjang. *Pylon* tipe portal sangat menguntungkan bila didukung sistem kabel yang terikat pada ankur tanah dan gelagar dalam arah lateral. Dalam kasus tersebut penting dipertimbangkan kekakuan dalam arah transversal. Gaya pada kabel utama akan disalurkan pada *pylon* sehingga pada *pylon* hanya terjadi gaya aksial tekan.

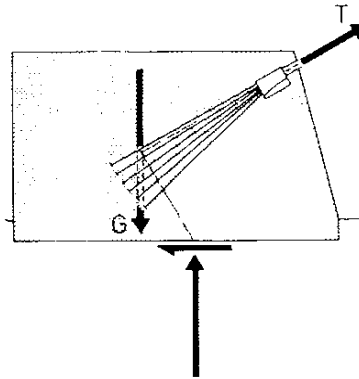
2.5.4.6 Konstruksi Angkur

Beban yang bekerja pada angkur berupa beban aksial tarik dari kabel utama. Angkur dipengaruhi oleh :

1. Beban aksial tarik dari kabel utama
2. Las sambungan yang tidak dapat digunakan untuk menyambung kabel baja dengan elemen struktur lainnya.

Stabilitas Angkur

Angkur harus kuat menahan gaya aksial tarik dari kabel utama. Untuk mengatasi gaya aksial tarik dengan mengandalkan berat dari angkur atau memanfaatkan kekuatan batu bila angkur dibuat di atas batu keras. Angkur akan memberikan gaya reaksi seperti pada gambar di bawah untuk mengatasi beban aksial tarik.



Gambar 2.34 Blok Angkur Tipe Gravitasi