

BAB II

STUDI PUSTAKA

II.1. Tinjauan Umum

Jembatan dapat didefinisikan sebagai suatu konstruksi atau struktur bangunan yang menghubungkan rute atau lintasan transportasi yang terpisah baik oleh sungai, rawa, danau, selat, saluran, jalan raya, jalan kereta api, dan perlintasan lainnya. Konstruksi suatu jembatan terdiri dari bangunan atas, bangunan bawah dan pondasi. Sesuai dengan istilahnya bangunan atas berada pada bagian atas suatu jembatan yang berfungsi untuk menampung semua beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas kendaraan atau orang yang kemudian disalurkan ke bagian bawah. Sedang bangunan bawah terletak di bawah bangunan atas yang berfungsi untuk menerima atau memikul beban-beban yang diberikan bangunan atas dan kemudian menyalurkan ke pondasi. Pondasi berfungsi menerima beban-beban dari bangunan bawah lalu disalurkan ke tanah. Jenis pondasi tergantung dari kondisi tanah dasarnya, dapat menggunakan tiang pancang, tiang bor, atau sumuran.

Jenis-jenis jembatan cukup banyak tergantung dari sudut pandang yang di ambil. Berdasar bahan bangunannya sendiri jembatan dapat dikelompokkan sebagai berikut¹ :

1. Jembatan kayu

Jembatan kayu merupakan jembatan sederhana yang mempunyai panjang relatif pendek dengan beban yang diterima relatif ringan. Meskipun pembuatannya menggunakan bahan utama kayu, struktur dalam perencanaan atau pembuatannya harus memperhatikan dan mempertimbangkan ilmu gaya (mekanika).

2. Jembatan pasangan batu dan batu bata

Jembatan pasangan batu dan bata merupakan jembatan yang konstruksi utamanya terbuat dari batu dan bata. Untuk membuat jembatan dengan

¹ Buku ajar perencanaan jembatan hal II-12

batu dan bata umumnya konstruksi jembatan harus dibuat melengkung. Seiring perkembangan jaman jembatan ini sudah tidak digunakan lagi.

3. Jembatan beton bertulang dan jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)

Jembatan dengan beton bertulang pada umumnya hanya digunakan untuk bentang jembatan yang pendek. Untuk bentang yang panjang seiring dengan perkembangan jaman ditemukan beton prategang. Dengan beton prategang bentang jembatan yang panjang dapat dibuat dengan mudah.

4. Jembatan baja

Jembatan baja pada umumnya digunakan untuk jembatan dengan bentang yang panjang dengan beban yang diterima cukup besar. Seperti halnya beton prategang, penggunaan jembatan baja banyak digunakan dan bentuknya lebih bervariasi, karena dengan jembatan baja bentang yang panjang biayanya lebih ekonomis.

5. Jembatan komposit

Jembatan komposit merupakan perpaduan antara dua bahan yang sama atau berbeda dengan memanfaatkan sifat menguntungkan dari masing – masing bahan tersebut, sehingga kombinasinya akan menghasilkan elemen struktur yang lebih efisien.

Ditinjau dari fungsinya maka jembatan dapat dibedakan menjadi :

1. Jembatan jalan raya (*highway bridge*)

Jembatan yang direncanakan untuk memikul beban lalu lintas kendaraan baik kendaraan berat maupun ringan. Jembatan jalan raya ini menghubungkan antara jalan satu ke jalan lainnya.

2. Jembatan penyeberangan (*foot bridge*)

Jembatan yang digunakan untuk penyeberangan jalan. Fungsi dari jembatan ini yaitu untuk memberikan ketertiban pada jalan yang dilewati jembatan penyeberangan tersebut dan memberikan keamanan serta mengurangi faktor kecelakaan bagi penyeberang jalan.

3. Jembatan kereta api (*railway bridge*)

Jembatan yang dirancang khusus untuk dapat dilintasi kereta api. Perencanaan jembatan ini dari jalan rel kereta api, ruang bebas jembatan, hingga beban yang diterima oleh jembatan disesuaikan dengan kereta api yang melewati jembatan tersebut.

4. Jembatan darurat

Jembatan darurat adalah jembatan yang direncanakan dan dibuat untuk kepentingan darurat dan biasanya dibuat hanya sementara. Umumnya jembatan darurat dibuat pada saat pembuatan jembatan baru dimana jembatan lama harus dilakukan pembongkaran, dan jembatan darurat dapat dibongkar setelah jembatan baru dapat berfungsi.

Ditinjau dari sistem strukturnya maka jembatan dapat dibedakan menjadi sebagai berikut² :

1. Jembatan lengkung (*arch bridge*)

Pelengkung adalah bentuk struktur non linier yang mempunyai kemampuan sangat tinggi terhadap respon momen lengkung. Yang membedakan bentuk pelengkung dengan bentuk – bentuk lainnya adalah bahwa kedua perletakan ujungnya berupa sendi sehingga pada perletakan tidak diijinkan adanya pergerakan kearah horisontal. Bentuk Jembatan lengkung hanya bisa dipakai apabila tanah pendukung kuat dan stabil. Jembatan tipe lengkung lebih efisien digunakan untuk jembatan dengan panjang bentang 100 – 300 meter.

2. Jembatan gelagar (*beam bridge*)

Jembatan bentuk gelagar terdiri lebih dari satu gelagar tunggal yang terbuat dari beton, baja atau beton prategang. Jembatan jenis ini dirangkai dengan menggunakan *diafragma*, dan umumnya menyatu secara kaku dengan pelat yang merupakan lantai lalu lintas. Jembatan ini digunakan untuk variasi panjang bentang 5 – 40 meter.

² Buku ajar perencanaan jembatan hal I-5

3. Jembatan *cable-stayed*

Jembatan *cable-stayed* menggunakan kabel sebagai elemen pemikul lantai lalu lintas. Pada *cable-stayed* kabel langsung ditumpu oleh *tower*. Jembatan *cable-stayed* merupakan gelagar menerus dengan *tower* satu atau lebih yang terpasang diatas pilar – pilar jembatan ditengah bentang. Jembatan *cable-stayed* memiliki titik pusat massa yang relatif rendah posisinya sehingga jembatan tipe ini sangat baik digunakan pada daerah dengan resiko gempa dan digunakan untuk variasi panjang bentang 100 - 600 meter.

4. Jembatan gantung (*suspension bridge*)

Sistem struktur dasar jembatan gantung berupa kabel utama (*main cable*) yang memikul kabel gantung (*suspension bridge*). Lantai lalu lintas jembatan biasanya tidak terhubung langsung dengan pilar, karena prinsip pemikulan gelagar terletak pada kabel. Apabila terjadi beban angin dengan intensitas tinggi jembatan dapat ditutup dan arus lalu lintas dihentikan. Hal ini untuk mencegah sulitnya mengemudi kendaraan dalam goyangan yang tinggi. Pemasangan gelagar jembatan gantung dilaksanakan setelah sistem kabel terpasang, dan kabel sekaligus merupakan bagian dari struktur *launching* jembatan. Jembatan ini umumnya digunakan untuk panjang bentang sampai 1400 meter.

5. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*)

Jembatan beton prategang merupakan suatu perkembangan mutakhir dari bahan beton. Pada Jembatan beton prategang diberikan gaya prategang awal yang dimaksudkan untuk mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban. Jembatan beton prategang dapat dilaksanakan dengan dua sistem yaitu *post tensioning* dan *pre tensioning*. Pada sistem *post tensioning* tendon prategang ditempatkan di dalam *duct* setelah beton mengeras dan transfer gaya prategang dari tendon pada beton dilakukan dengan penjangkaran di ujung gelagar. Pada *pre tensioning* beton dituang mengelilingi tendon prategang yang sudah ditegangkan terlebih dahulu dan transfer gaya prategang terlaksana karena adanya ikatan antara beton dengan tendon. Jembatan beton prategang sangat efisien karena analisa

penampang berdasarkan penampang utuh. Jembatan jenis ini digunakan untuk variasi bentang jembatan 20 - 40 meter.

6. Jembatan rangka (*truss bridge*)

Jembatan rangka umumnya terbuat dari baja, dengan bentuk dasar berupa segitiga. Elemen rangka dianggap bersendi pada kedua ujungnya sehingga setiap batang hanya menerima gaya aksial tekan atau tarik saja. Jembatan rangka merupakan salah satu jembatan tertua dan dapat dibuat dalam beragam variasi bentuk, sebagai gelagar sederhana, lengkung atau kantilever. Jembatan ini digunakan untuk variasi panjang bentang 50 – 100 meter.

7. Jembatan *box girder*

Jembatan *box girder* umumnya terbuat dari baja atau beton konvensional maupun prategang. *box girder* terutama digunakan sebagai gelagar jembatan, dan dapat dikombinasikan dengan sistem jembatan gantung, *cable-stayed* maupun bentuk pelengkung. Manfaat utama dari *box girder* adalah momen inersia yang tinggi dalam kombinasi dengan berat sendiri yang relatif ringan karena adanya rongga ditengah penampang. *box girder* dapat diproduksi dalam berbagai bentuk, tetapi bentuk trapesium adalah yang paling banyak digunakan. Rongga di tengah *box* memungkinkan pemasangan tendon prategang diluar penampang beton. Jenis gelagar ini biasanya dipakai sebagai bagian dari gelagar segmental, yang kemudian disatukan dengan sistem prategang *post tensioning*. Analisa *full prestressing* suatu desain dimana pada penampang tidak diperkenankan adanya gaya tarik, menjamin kontinuitas dari gelagar pada pertemuan segmen. Jembatan ini digunakan untuk variasi panjang bentang 20 – 40 meter.

Dalam perancangan jembatan ada beberapa aspek yang perlu ditinjau yang nantinya akan mempengaruhi dalam penetapan bentuk maupun dimensi jembatan.

Adapun aspek tersebut antara lain :

1. Aspek lokasi dan tipe jembatan
2. Aspek lalu lintas
3. Aspek hidrologi
4. Aspek tanah
5. Aspek geometri jembatan
6. Aspek konstruksi jembatan

II.2. Aspek Lalu Lintas

Analisa terhadap lalu lintas diperlukan untuk mengetahui tingkat pelayanan jembatan sampai umur rencana tertentu. Selain itu analisa terhadap lalu lintas juga digunakan untuk memperkirakan besarnya lalu lintas yang akan melewati Brebes-Tegal *By Pass* dimana perencanaan jembatan Kali Pemali akan dibangun. 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. Perhitungan lebar jembatan Kali Pemali ini mengikuti jumlah ruas jalan Brebes-Tegal *By Pass* secara keseluruhan, sehingga perhitungan lebar jembatan adalah sama dengan hasil dari perhitungan kapasitas Brebes-Tegal *By Pass*. Dalam analisa perencanaan lebar optimum jalan dan jembatan ini menggunakan beberapa parameter lalu lintas antara lain sebagai berikut.

II.2.1. Volume Lalu Lintas (Q)

Volume lalu lintas merupakan jumlah kendaraan yang melewati satu titik tertentu dari suatu segmen jalan selama waktu tertentu (menit, jam ataupun hari). Dinyatakan dalam satuan kendaraan atau satuan mobil penumpang (smp).

a. Lalu Lintas Harian Rata-rata

Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT) adalah jumlah lalu lintas kendaraan rata-rata yang melewati satu jalur jalan selama 24 jam dan diperoleh dari data selama satu tahun penuh.

$$\text{LHRT} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas dalam 1 tahun}}{365}$$

LHRT dinyatakan dalam smp/hari/2 arah atau kendaraan/hari/2 arah untuk jalan 4 lajur 2 arah, smp/hari/1 lajur atau kendaraan/hari/1 arah untuk jalan berlajur banyak dengan *median*.

b. Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Ekivalensi mobil penumpang yaitu faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang sehubungan dengan ukuran dan kecepatan rata-ratanya yang berdampak pada perilaku lalu lintas.

Tabel 2.1. Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP) untuk Jalan Luar Kota
Empat Lajur Dua Arah (4/2)

Tipe Alinyemen	Arus total (kend/jam)		emp			
	Jalan terbagi per arah (kend/jam)	Jalan tak terbagi total (kend/jam)	MHV	LB	LT	MC
Datar	0	0	1,2	1,2	1,6	0,5
	1000	1700	1,4	1,4	2,0	0,6
	1800	3250	1,6	1,7	2,5	0,8
	≥ 2150	≥ 3950	1,3	1,5	2,0	0,5
Bukit	0	0	1,8	1,6	4,8	0,4
	750	1350	2,0	2,0	4,6	0,5
	1400	2500	2,2	2,3	4,3	0,7
	≥ 1750	≥ 3150	1,8	1,9	3,5	0,4
Gunung	0	0	3,2	2,2	5,5	0,3
	550	1000	2,9	2,6	5,1	0,4
	1100	2000	2,6	2,9	4,8	0,6
	≥ 1500	≥ 2700	2,0	2,4	3,8	0,3

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997 hal 6-44

Keterangan : MHV : Kendaraan Menengah Berat (Truk 2 as)

LB : Bus Besar

LT : Truk Besar (Truk 3 as atau lebih, trailer)

c. **Volume Jam Rencana (Q_{DH})**

Volume jam perencanaan (VJP) adalah prakiraan volume lalu lintas pada jam sibuk rencana lalu lintas dan dinyatakan dalam smp/jam.

VJP dapat di hitung dengan rumus :

$$VJP = LHRT \times k$$

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 secara umum

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 hal 4-25

II.2.2. Pertumbuhan Lalu Lintas

Perkiraan (*forecasting*) lalu lintas harian rata-rata yang ditinjau dalam waktu umur rencana jembatan. Umur rencana jembatan Kali Pemali Brebes – Tegal *By Pass* ini adalah 20 tahun.

Persamaan :

$$Y' = a + bX$$

Dengan rumus **a** dan **b** adalah

$$a = \frac{\sum Y_i * \sum X_i^2 - \sum X_i * \sum X_i Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

dan

$$b = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i * Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

- Dimana :
- Y' : subyek dalam variable dependen yang diprediksikan (LHR)
 - a dan b : konstanta awal energi
 - X : waktu (tahun)

LHR akhir (LHRn) dapat dihitung dengan rumus :

Dimana :
$$\mathbf{LHRn = LHRo * (1+i)^n}$$

- LHRn : Besarnya arus lalu lintas pada tahun rencana (pada tahun ke-n)
- LHRo : Besarnya arus lalu lintas pada awal perencanaan
- I : Faktor pertumbuhan lalu lintas
- n : Umur rencana

II.2.3. Kapasitas Jalan

Kapasitas dapat didefinisikan sebagai tingkat arus maksimum dimana kendaraan dapat diharapkan untuk melalui suatu potongan jalan pada waktu tertentu untuk kondisi lajur atau jalan, lalu lintas, pengendalian lalu lintas dan cuaca yang berlaku.

Rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas jalan perkotaan secara umum berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997), adalah sebagai berikut :

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

- Dimana :
- C : kapasitas (smp/jam)
 - C_o : kapasitas dasar (smp/jam)
 - FC_w : faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas³
 - FC_{SP} : faktor penyesuaian pemisah arah
 - FC_{SF} : faktor penyesuaian hambatan samping

Untuk perencanaan kapasitas jalan luar kota sendiri, hanya menggunakan 3 (tiga) faktor yaitu faktor penyesuaian lebar jalan (FC_w), faktor penyesuaian pemisah arah (FC_{SP}), dan faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan (FC_{SF})⁴. Sehingga rumus yang digunakan menjadi :

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

Nilai kapasitas dasar (C_o) didapatkan dari tabel berikut :

Tabel 2. 2. Tabel Nilai Kapasitas Dasar untuk Jalan Luar Kota 4-lajur 2-arah

Tipe Jalan / Tipe Alinyemen	Kapasitas dasar (C_o) Total kedua arah (smp/jam/lajur)
Empat lajur terbagi	
- Datar	1900
- Bukit	1850
- Gunung	1800
Empat lajur tak terbagi	
- Datar	1700
- Bukit	1650
- Gunung	1600

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997 hal 6-65

³ MKJI 1997 hal 5-50

⁴ MKJI 1997 hal 6-18

Nilai faktor penyesuaian lebar jalan luar kota (FC_w), adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 3. Tabel nilai faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas (FC_w)

Tipe Jalan	Lebar Lalu Lintas Efektif (W_c) (m)	FC_w
Empat lajur terbagi Enam lajur terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
	3,50	1,00
Empat lajur tak terbagi	3,75	1,03
	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,96
Dua lajur tak terbagi	3,50	1,00
	3,75	1,03
	Total dua arah	
	5	0,69
	6	0,91
	7	1,00
	8	1,08
9	1,15	
	10	1,21
	11	1,27

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997 hal 6-66

Nilai faktor penyesuaian pemisah arah (FC_{SP}), didapat dari tabel berikut :

Tabel 2. 4 Tabel nilai faktor penyesuaian 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	0,975	0,95	0,925	0,90

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997 hal 6-67

Nilai penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping (FC_{SF}), didapat dari tabel berikut :

Tabel 2. 6 Tabel nilai faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping (FC_{SF})

Tipe Jalan	Kelas Hambatan Samping	Penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping (FC_{SF})			
		Lebar bahu efektif W_s			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
2/2 UD 4/2 UD	VL	0,97	0,99	1,00	1,02
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,88	0,91	0,94	0,98
	H	0,84	0,87	0,91	0,95
	VH	0,80	0,83	0,88	0,93

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI), 1997 hal 6-68

II.2.4. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan (DS) didefinisikan sebagai rasio arus lalu lintas (Q) terhadap kapasitas (C), yang digunakan sebagai faktor utama untuk menentukan tingkat kinerja segmen jalan⁵.

$$DS = Q/C$$

Nilai DS di sini diartikan nilai derajat kejenuhan pada tahun rencana (20 tahun), maksimal = 0,75. Bila derajat kejenuhan (DS) yang didapat < 0,75 maka jalan tersebut masih memenuhi syarat (Layak), dan bila derajat kejenuhan (DS) yang didapat > 0,75 maka harus dilakukan pelebaran untuk meningkatkan kapasitas jalan (C). Nilai DS menentukan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Jika nilai DS suatu ruas jalan mencapai nilai 1, berarti kendaraan sudah berhenti (tidak bergerak) dalam antrian kemacetan.

⁵ MKJI 1997 hal 6-71

II.2.5. Perkerasan Jalan Pendekat

Perkerasan jalan pada perencanaan jembatan yaitu pada oprit jembatan sebagai jalan pendekat yang merupakan bagian penting pada proses perencanaan jalan, yang berfungsi :

1. Menyebarkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar
2. Melindungi tanah dasar dari rembesan air hujan
3. Mendapatkan kenyamanan dalam perjalanan

Salah satu jenis perkerasan jalan adalah perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan lentur adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapis bawahnya.

Dalam perencanaan perkerasan jalan ini digunakan metode Analisa Komponen berdasarkan Standar Konstruksi Bangunan Indonesia (SKBI) yaitu sebagai berikut :

1. Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

LHR setiap jenis kendaraan ditentukan sesuai dengan umur rencana.

2. Lintas Ekuivalen Permukaan (LEP)

$$LEP = \sum_{j=1}^n LHR_j \times c_j \times E_j$$

dimana : n : umur rencana

c_j : koefisien distribusi kendaraan

E_j : angka ekuivalen beban sumbu gandar (MST.12 ton)

3. Lintas Ekuivalen Akhir (LEA)

$$LEA = \sum_{j=1}^n LHR_j (1+i)^{UR} \times c_j \times E_j$$

dimana : i : pertumbuhan lalu lintas

4. Lintas Ekuivalen Tengah (LET)

$$LET = (LEP + LEA) * \frac{1}{2}$$

5. Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

$$\text{LER} = \text{LET} \times \text{FP}$$

dimana : FP : faktor penyesuaian = $\text{UR}/10$

UR : umur rencana

6. Indek Tebal Perkerasan (ITP)

$$\text{ITP} = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 + a_3 \times D_3$$

dimana : a_1, a_2, a_3 : koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

D_1, D_2, D_3 : tebal masing-masing perkerasan

II.3. Aspek Hidrologi

Perkiraan besarnya penggerusan tanah sekitar pondasi oleh aliran sungai ini sangat penting, karena akan berdampak pada stabilitas dan daya dukung pondasi jembatan. Perhitungan dan analisa aspek hidrologi digunakan pada jembatan yang salah satu atau beberapa pondasi pilarnya dan atau pondasi *abutment* terletak dalam aliran sungai atau dipengaruhi oleh aliran air sungai (muka air banjir). Data-data hidrologi yang diperlukan dalam merencanakan suatu jembatan antara lain adalah sebagai berikut ;

1. Peta topografi DAS
2. Peta situasi dimana jembatan akan dibangun
3. Data curah hujan dari stasiun pemantau terdekat

Data-data tersebut nantinya dibutuhkan untuk menentukan elevasi banjir tertinggi. Dengan mengetahui hal tersebut kemudian dapat direncanakan :

1. *Clearence* jembatan dari muka air tertinggi
2. Bentang ekonomis jembatan
3. Penentuan struktur bagian bawah

Analisa dari data-data hidrologi yang tersedia meliputi :

II.3.1. Analisa Frekuensi Curah Hujan

Besarnya curah hujan suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) diperhitungkan dengan mengikuti aturan pada metode *Gumbell*, distribusi *Log Pearson III*, dan berdasarkan distribusi normal. Setelah itu dilakukan uji keselarasan dari hasil ketiga distribusi di atas dengan metode *Plotting Probability* serta uji Chi Kuadrat Distribusi Normal. Setelah pengujian itu bisa diketahui manakah dari ketiga distribusi curah hujan rencana yang akan digunakan untuk langkah selanjutnya yaitu analisa debit banjir.

Untuk keperluan analisa ini, dipilih curah hujan tertinggi yang terjadi tiap tahun sehingga diperoleh curah hujan harian maksimum. Dari metode *Gumbell*, analisa distribusi frekuensi *extreme value* adalah sebagai berikut :

$$X_{rata-rata} = \frac{\sum x}{n}$$
$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{rata-rata})^2}{(n-1)}}$$
$$K_r = 0.78 \left\{ -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \right] \right\} - 0.45$$
$$X_{tr} = R = X_{rata-rata} + (K_r \times S_x)$$

Keterangan :

X_{rata2} = Curah hujan maksimum rata-rata selama tahun pengamatan (mm)

S_x = Standar deviasi

K_r = Faktor frekuensi *Gumbell*

X_{tr} = Curah hujan untuk periode tahun berulang T_r (mm)

Sedangkan untuk metode *Log Pearson III* rumusnya seperti dibawah ini :

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$$

$$S1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{(n-1)}}$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)S1^2}$$

Keterangan :

S1 = Standar Deviasi

Cs = Koofisien Kemencengan

II.3.2. Analisa Banjir Rencana

Perhitungan banjir rencana ditinjau dengan cara Formula *Rational Mononobe* :

Menurut fomula Dr. Rizha :

$$V = 72 \times \left[\frac{H}{L} \right]^{0,6}$$

Keterangan ; V = Kecepatan aliran (km/jam)

H = Selisih elevasi (km)

L = Panjang aliran (km)

Time Concentration (TC)

$$TC = \frac{L}{V}$$

Keterangan ; TC = Waktu pengaliran (jam)

L = Panjang aliran (km)

V = Kecepatan aliran (km/jam)

Intensitas Hujan (I)

$$I = \frac{R}{24} \times \left[\frac{24}{TC} \right]^{0,67}$$

Keterangan ; I = Intensitas hujan (mm/jam)

R = Curah hujan (mm)

Debit Banjir (Q)

$$Q_{tr} = C \times I \times A \times 0,278 \quad \text{Keterangan ; } Q_{tr} = \text{Debit banjir rencana (m}^3/\text{dtk)}$$

A = Luas DAS (km²)

C = Koefisien *run off*

Analisa Debit Penampang

$$Q = A \times V \Rightarrow A = (B \times mH) H$$

Keterangan ; Q_{tr} = Debit banjir (m³/dtk)

m = Kemiringan lereng sungai

B = Lebar penampang sungai (m)

A = Luas penampang basah (m²)

H = Tinggi muka air sungai (m)

Koefisien *run off* merupakan perbandingan antara jumlah limpasan dengan jumlah curah hujan. Besar kecilnya nilai koefisien limpasan ini dipengaruhi oleh kondisi topografi dan perbedaan penggunaan tanah dapat dilihat pada Tabel 2.6. dibawah ini :

Tabel 2.7. Koefisien Limpasan (*Run Off*)

Kondisi daerah pengaliran dan sungai	Koefisien Limpasan
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 : C.D. Soemarto, 1995

II.3.3. Analisa Terhadap Penggerusan

Dihitung dengan menggunakan metode *Lacey*, dimana kedalaman penggerusan dipengaruhi oleh jenis material dasar sungai. Penggerusan akan mengikis lapisan tanah dasar sungai yang biasanya terjadi dibawah pilar. Rumusan yang dipakai untuk menganalisa gerusan adalah sebagai berikut:

$$d = 0,473 * \left(\frac{Q}{f} \right)^{0,33}$$

Dimana :

d = Kedalaman gerusan normal dari tanah dasar sungai (m)

Q = Debit banjir maksimum (m³/det)

f = Faktor Lempung *Lacey* yang merupakan keadaan tanah dasar

Faktor lempung *Lacey* berdasarkan tanah dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.8. Faktor Lempung Lacey Berdasar Tanah

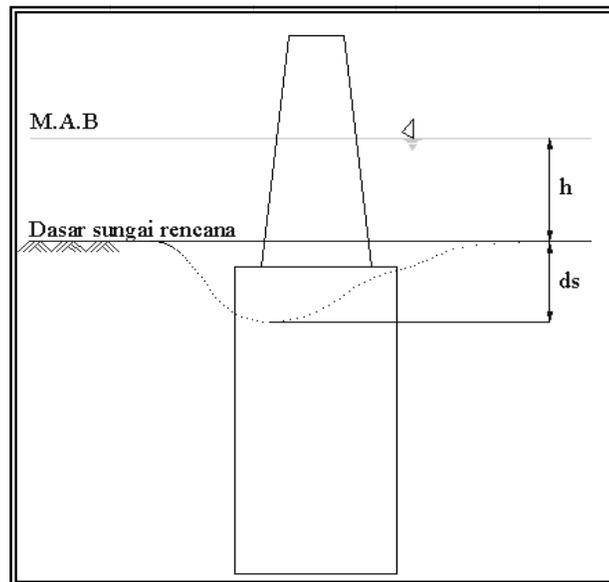
No.	Jenis Material	Diameter (mm)	Faktor (f)
1.	Lanau sangat halus (<i>very fine silt</i>)	0,052	0,40
2.	Lanau halus (<i>fine silt</i>)	0,120	0,80
3.	Lanau sedang (<i>medium silt</i>)	0,233	0,85
4.	Lanau (<i>standart silt</i>)	0,322	1,00
5.	Pasir (<i>medim sand</i>)	0,505	1,20
6.	Pasir kasar (<i>coarse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

Penentuan kedalaman penggerusan dapat dilihat pada Tabel 2.9. berikut ini :

Tabel 2.9. Kedalaman Penggerusan

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

Analisa penggerusan sungai diperhitungkan untuk keamanan dari adanya gerusan aliran sungai. Penggerusan terjadi didasar sungai dibawah pilar akibat aliran sungai yang mengikis lapisan tanah dasar sungai. Syarat agar aman dari *scouring* antara lain dasar pilar atau pondasi pilar harus berada dibawah bidang *scouring* maksimum (ds) seperti terlihat pada Gambar 2.1.



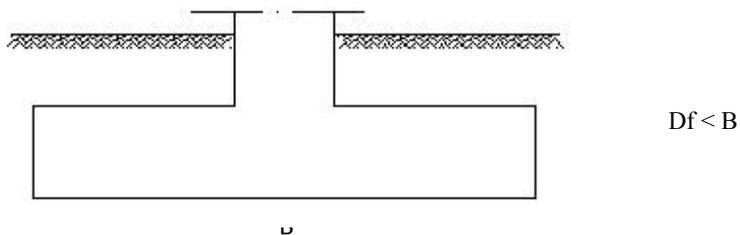
Gambar 2. 1. Dalamnya penggerusan

II.4. Aspek Geoteknik (Tanah)

Analisa tanah dimaksudkan untuk mengetahui sifat fisik dan teknis tanah di sekitar lokasi jembatan Kali Pemali Brebes – Tegal *By Pass*. Untuk menentukan jenis dan dimensi bangunan bawah jembatan dan pondasi yang sesuai dengan keadaan tanah pada jembatan Kali Pemali. Selain itu juga untuk menentukan jenis perkuatan tanah dan kestabilan lereng (stabilitas tanah) guna mendukung keamanan dari struktur yang akan dibuat. Tinjauan aspek tanah pada perencanaan jembatan Kali Pemali ini meliputi tinjauan terhadap data-data tanah yang ada seperti : nilai boring (*Bor Log*), nilai penetrasi (N-SPT), nilai kohesi, sudut geser tanah, γ tanah, kadar air tanah, dan void ratio, pada 2 titik *soil investigation* di daerah letak *abutment* dan pilar jembatan agar dapat ditentukan jenis pondasi yang akan digunakan, kedalaman serta dimensinya.

II.4.1. Formulasi Pondasi Dangkal

Pada umumnya pondasi dangkal berupa pondasi telapak yaitu pondasi yang mendukung bangunan secara langsung pada tanah pondasi, bilamana terdapat lapisan tanah keras yang mampu mendukung suatu bangunan pada permukaan tanah. Menurut *Terzaghi* pondasi dangkal yaitu apabila kedalaman pondasi lebih kecil atau sama dengan lebar pondasi.



Gambar 2. 2. Pondasi dangkal

- D_f = Kedalaman pondasi dangkal dari permukaan tanah
 B = Lebar pondasi

Pondasi telapak umumnya dibangun di atas tanah pendukung dengan membuat suatu tumpuan yang bentuk dimensinya sesuai dengan beban bangunan dan daya dukung tanah pondasi tersebut. Pondasi tersebut bersatu dengan bagian utama bangunan sehingga merupakan suatu konstruksi yang monolit.

Syarat- syarat pondasi dangkal yaitu⁶ :

1. Kapasitas daya dukung batas $Q_{ult} >$ tegangan kontak yang diakibatkan oleh beban luar.
2. Penurunan pondasi yang terjadi $<$ penurunan yang disyaratkan
3. Struktur secara keseluruhan harus stabil dalam arah vertikal, horizontal dan terhadap guling.

Selain pondasi telapak juga ada pondasi kaison yaitu pondasi yang merupakan peralihan antara pondasi dangkal dan pondasi dalam. Di Indonesia pondasi kaison sering dibuat berbentuk silinder sehingga umumnya disebut pondasi sumuran. Pondasi kaison terdiri 2 tipe, yaitu kaison bor (*drilled caisson*) dan kaison (*caisson*)

Pondasi kaison bor dibuat dengan cara mengebor lebih dulu untuk membuat lubang di dalam tanah, dan kemudian lubang diisi dengan beton. Bagian tubuh kaison dapat dilindungi pipa yang merupakan bagian dari pondasi, atau pipa pelindung ditarik setelah pengecoran. Pondasi kaison yang berbentuk silinder atau kotak beton dibuat dengan membenamkan silinder beton ditempatnya, bersamaan dengan penggalian tanah.

II.4.2 Formulasi Pondasi Dalam

Dalam perencanaan pondasi dalam biasanya menggunakan pondasi tiang. Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam.

Pondasi tiang digunakan untuk beberapa maksud, antara lain :

1. Untuk meneruskan beban bangunan yang terletak di atas air atau tanah lunak, ke tanah pendukung yang kuat.

⁶ Rekayasa fundasi II hal 5

2. Untuk meneruskan beban ke tanah yang relatif lunak sampai kedalaman tertentu sehingga pondasi bangunan mampu memberikan dukungan yang cukup untuk mendukung beban tersebut oleh gesekan dinding tiang dengan tanah di sekitarnya.
3. Untuk mengangker bangunan yang dipengaruhi oleh gaya angkat ke atas akibat tekanan hidrostatik atau momen guling
4. Untuk menahan gaya-gaya horizontal gaya yang arahnya miring
5. Untuk memadatkan tanah pasir, sehingga kapasitas dukung tanah tersebut bertambah
6. Untuk mendukung pondasi bangunan yang permukaan tanahnya mudah tergerus air.

Pondasi tiang dapat dibagi menjadi 3 yaitu⁷:

1. Tiang perpindahan besar (*large displacement pile*), yaitu tiang pejal atau berlubang dengan ujung tertutup yang di pancang ke dalam tanah sehingga terjadi perpindahan volume tanah yang relatif besar, contohnya : tiang kayu, tiang beton pejal, tiang beton prategang, tiang baja bulat.
2. Tiang perpindahan kecil (*small displacement pile*), adalah sama seperti tiang kategori pertama hanya volume tanah yang dipindahkan saat pemancangan relatif kecil, contohnya : tiang betonn berlubang dengan ujung terbuka, tiang baja H, tiang baja bulat ujung terbuka, tiang ulir.
3. Tiang tanpa perpindahan (*non displacement pile*), terdiri dari tiang yang di pasang di dalam tanah dengan cara menggali atau mengebor tanah, contohnya : tiang beton yang pengecorannya langsung di dalam lubang hasil pengeboran tanah (pipa baja di letakkan dalam lubang dan di cor beton).

⁷ Hary Christady Hardiyatmo hal 61

Rumus yang digunakan dalam perencanaan kekuatan daya dukung satu tiang pondasi tiang digunakan metode *Meyerhoff* sebagai berikut :

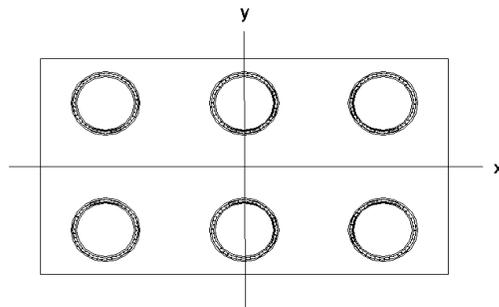


Dimana :

- P_{ult} = *ultimate axial load* (ton)
- A = luas penampang tiang (cm^2)
- q_c = nilai *conus resistance* (kg/cm^2)
- f = *total friction* (kg/cm^2)
- O = keliling tiang

Penentuan jumlah tiang dilakukan dengan rumus :

$$n = \frac{V_{maks}}{P_{tiang}} \quad ; \quad \begin{array}{l} V_{maks} \quad : \text{Total beban vertikal maksimum} \\ P_{tiang} \quad : \text{Daya dukung satu tiang} \end{array}$$



Gambar 2.3. Contoh *lay out* pondasi

Perhitungan efisiensi kelompok tiang :

$$E = 1 - \frac{\phi}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m * n} \right]$$

ϕ : arc tan (d/s) dalam derajat

D : diameter tiang pancang

S : jarak antar bore pile (3 s/d 3,5 kali diameter)

m : jumlah tiang pancang dalam satu baris

n : jumlah tiang pancang dalam satu kolom

(contoh gambar di atas: m = 3; n = 2)

II.4.3. Formulasi Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah yaitu dinding vertikal yang berfungsi untuk menahan tanah dan untuk menahan masuknya air ke dalam lubang galian. Untuk melaksanakan perencanaan dinding penahan tanah , langkah-langkah kegiatan adalah sebagai berikut :

1. Memperkirakan dimensi yang diperlukan dari dinding penahan tanah
2. Mencari besarnya tekanan tanah baik secara analitis maupun secara grafis berdasarkan cara yang sesuai dengan tipe penahan tanahnya
3. Tegangan yang bekerja akibat konstruksi tidak melebihi tegangan ijin
4. Perhitungan kekuatan struktur dari konstruksi dinding penahan tanah, yaitu dengan cara memeriksa tegangan geser dan tegangan tekan yang diijinkan.
5. Dinding penahan tanah harus aman terhadap stabilitas gesernya
6. Dinding penahan tanah harus aman terhadap stabilitas gulingnya

Dinding penahan tanah harus terletak pada suatu daerah dimana stabilitas dari kemiringan lerengnya memenuhi suatu angka keamanan tertentu yaitu :

- SF > 1,50 untuk pembebasan tetap
- SF > 1,30 untuk pembebasan sementara, termasuk jika ada gempa.

Prosedur pemilihan tipe pondasi sebagai berikut :

1. Bila lapisan tanah keras terletak pada permukaan tanah atau 2–3 meter di bawah permukaan tanah, pondasi telapak (*spread foundation*) dapat digunakan.
2. Apabila formasi tanah keras terletak pada kedalaman sampai ± 10 meter di bawah permukaan tanah, dapat dipakai pondasi sumuran atau pondasi tiang apung (*floating pile foundation*) untuk memperbaiki tanah pondasi.
3. Apabila formasi tanah keras terletak pada kedalaman sampai ± 20 meter di bawah permukaan tanah, dapat dipakai pondasi tiang atau pancang baja atau tiang bor.
4. Apabila formasi tanah keras terletak pada kedalaman sampai ± 30 meter di bawah permukaan tanah, biasanya dipakai pondasi kaisan terbuka, tiang baja atau tiang yang dicor di tempat. Tetapi apabila tekanan atmosfer yang bekerja ternyata kurang dari 3 kg/cm^2 dapat juga digunakan pondasi kaisan tekanan.
5. Apabila formasi tanah keras terletak pada kedalaman lebih dari 40 meter di bawah permukaan tanah, pondasi yang paling baik digunakan adalah pondasi tiang baja atau pondasi tiang beton yang dicor di tempat.

II.5. Aspek Konstruksi Jembatan

II.5.1. Pembebanan Struktur

Dalam merencanakan suatu jembatan, peraturan pembebanan yang dipakai mengacu pada *Bridge Management System* (BMS'92). Beban - beban yang bekerja meliputi :

II.5.1.1. Beban Tetap

- a. Beban Mati (*Dead Load*)

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

Tabel 2. 10. Berat Bahan Nominal S.L.S dan U.L.S

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) Vol. 1 & 2*

b. Beban Mati Tambahan

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

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

c. Pengaruh Pratekan

Selain dari pengaruh primer, pratekan menyebabkan pengaruh sekunder dalam komponen tertahan dan struktur tidak tertentu, untuk penentuan pengaruh dari pratekan dalam struktur tidak tertentu adalah cara beban ekuivalen dimana gaya tambahan pada beton akibat kabel pratekan dipertimbangkan sebagai beban luar.

d. Tekanan Tanah

Tekanan aktif⁸ :

$$\sigma = \gamma \cdot z \cdot \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) - 2 \cdot C \cdot \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right)$$

Tekanan pasif⁹ :

$$\sigma = \gamma \cdot z \cdot \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) + 2 \cdot C \cdot \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

II.5.1.2. Beban Tidak Tetap

a. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak, dan pejalan kaki yang dianggap bekerja pada jembatan. Beban lalu lintas meliputi :

- Beban Kendaraan Rencana

Beban kendaraan mempunyai tiga komponen, yaitu :

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

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 per lajur lalu lintas rencana. Umumnya, pembebanan

⁸ Rekayasa fundasi I

⁹ Rekayasa fundasi I

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

- 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 :

$$q = 8,0 \text{ kPa (jika } L \leq 30 \text{ m)}$$

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

dimana :

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

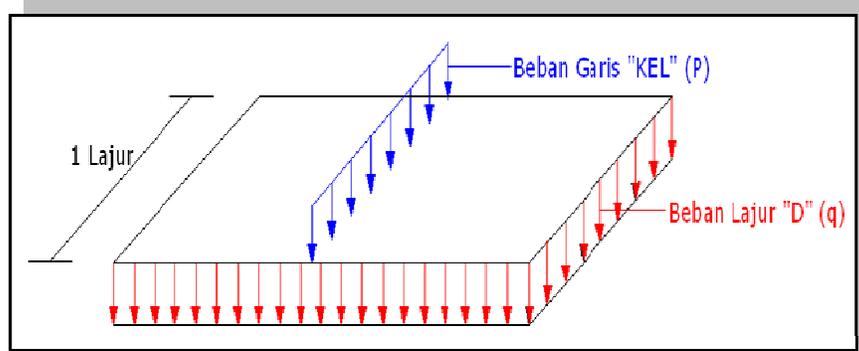
kPa : kilo pascal per jalur

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 ($P = 44,0$ kN/m).

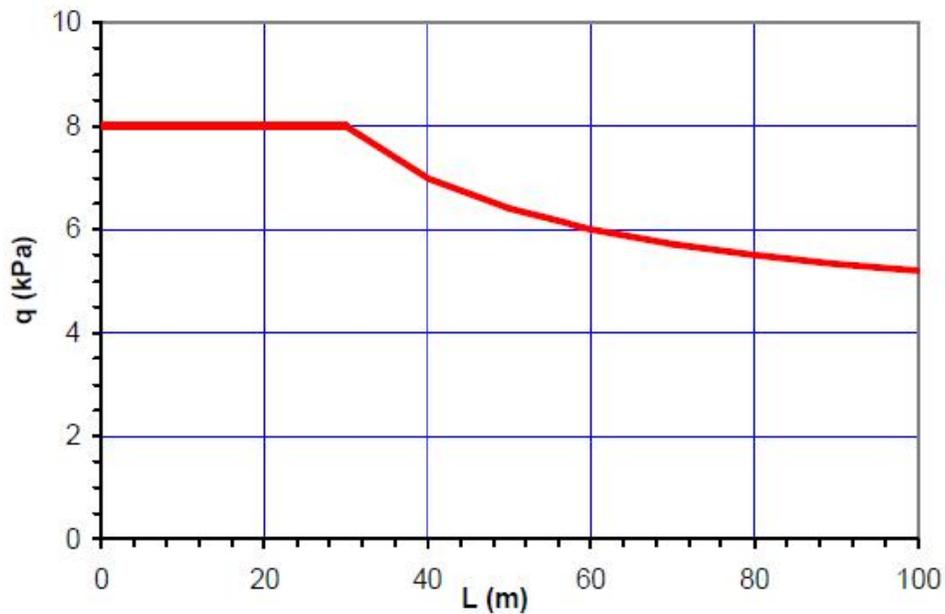
Pada bentang menerus, KEL ditempatkan dalam kedudukan lateral sama yaitu tegak lurus arah lalu lintas pada 2 bentang agar momen lentur negatif menjadi maksimum.

Beban UDL dan KEL bisa digambarkan seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. 4. Beban "D"

Beban terbagi rata = UDL (*Uniformly Distribute Load*) mempunyai intensitas q kPa ini, dapat digambarkan dalam sebuah hubungan sebagai berikut :



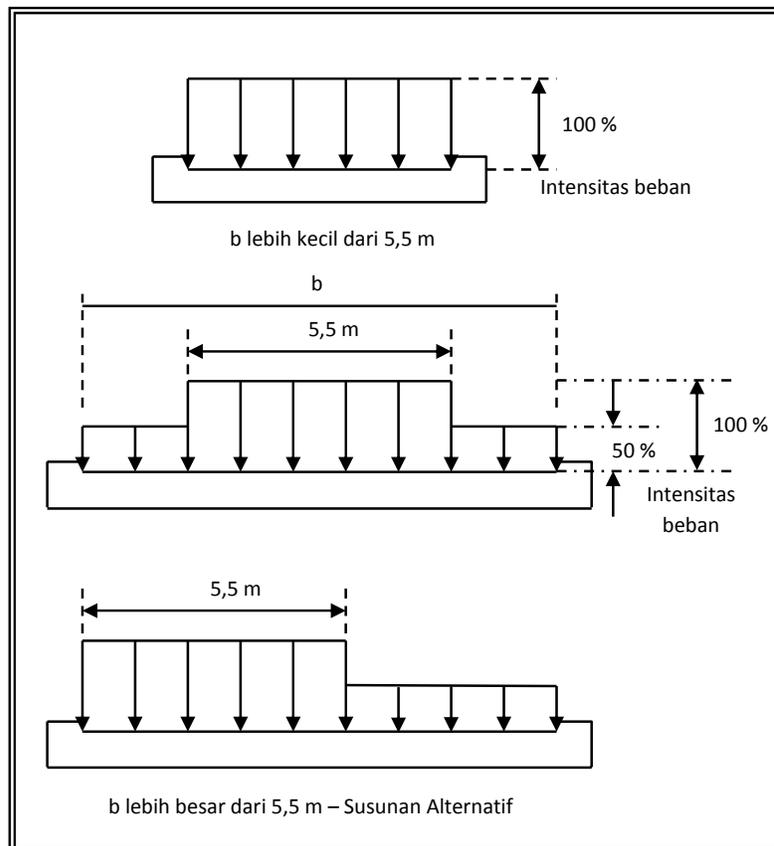
Gambar 2.5. Beban " D " : Beban Tersebar Merata dan Bentang

Sumber : *Bridge Management System (BMS - 1992) Vol. 1 & 2*

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

1. Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,50 meter, beban “D” sepenuhnya (100 %) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
2. 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 %).

Untuk lebih jelasnya, berikut Gambar 2.6. merupakan penyebaran beban dalam arah melintang :

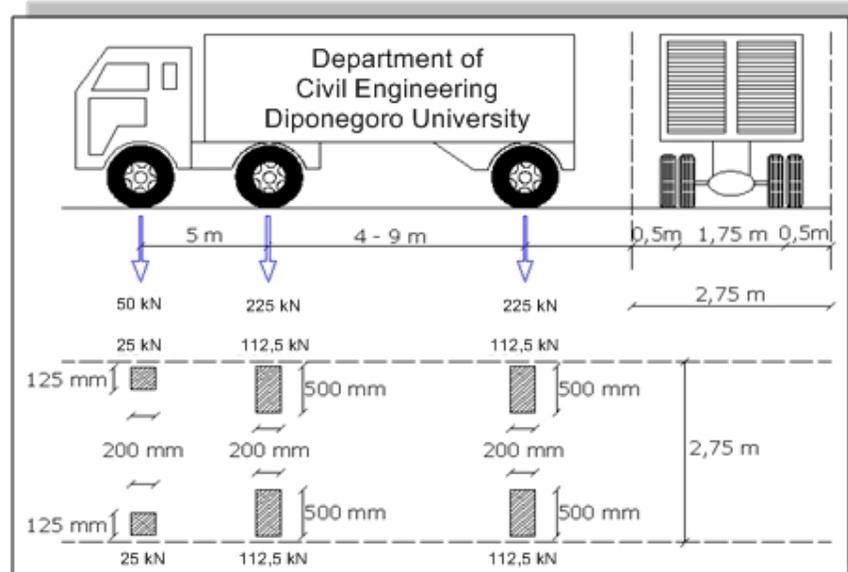


Gambar 2.6. Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang

Sumber : *Bridge Management System (BMS - 1992) Vol. 1 & 2*

- **Beban Truk "T"**

Pembebanan truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai berat as. Berat dari masing-masing as disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai.



Gambar 2. 7. konfigurasi 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. 11. 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) Vol. 1 & 2*

- Faktor Beban Dinamik

Faktor beban dinamik (DLA) berlaku pada beban “KEL”, beban lajur “D”, dan beban truk “T” untuk simulasi kejut 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 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 12. Faktor Beban Dinamik Untuk “KEL” lajur “D”

Bentang Ekivalen 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

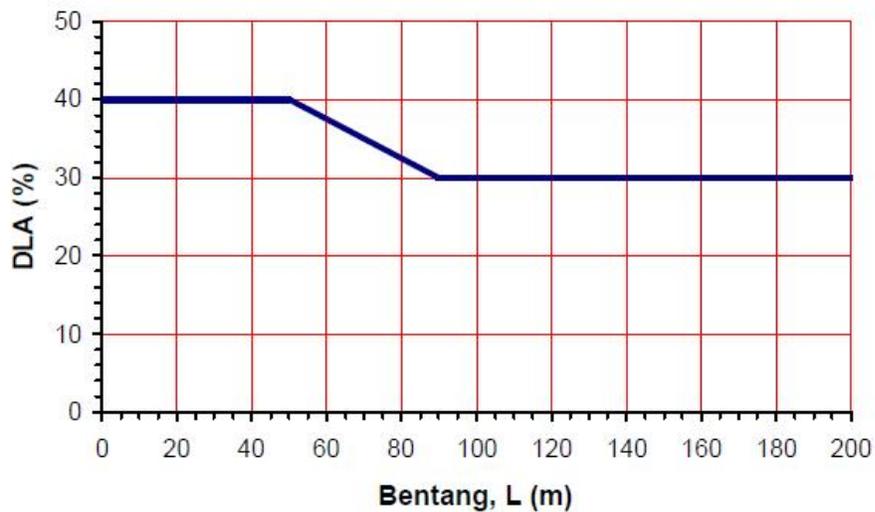
Sumber : *Bridge Management System (BMS - 1992) Vol 1 & 2*

Catatan:

1. Untuk bentang sederhana $L_E =$ panjang bentang aktual

2. Untuk bentang menerus $L_E = \sqrt{L_{rata-rata} * L_{maks}}$

Faktor beban dinamis (*Dinamic Load Allowance*) untuk KEL, diproyeksikan dalam sebuah grafik adalah sebagai berikut :



Gambar 2.8. Faktor beban dinamis

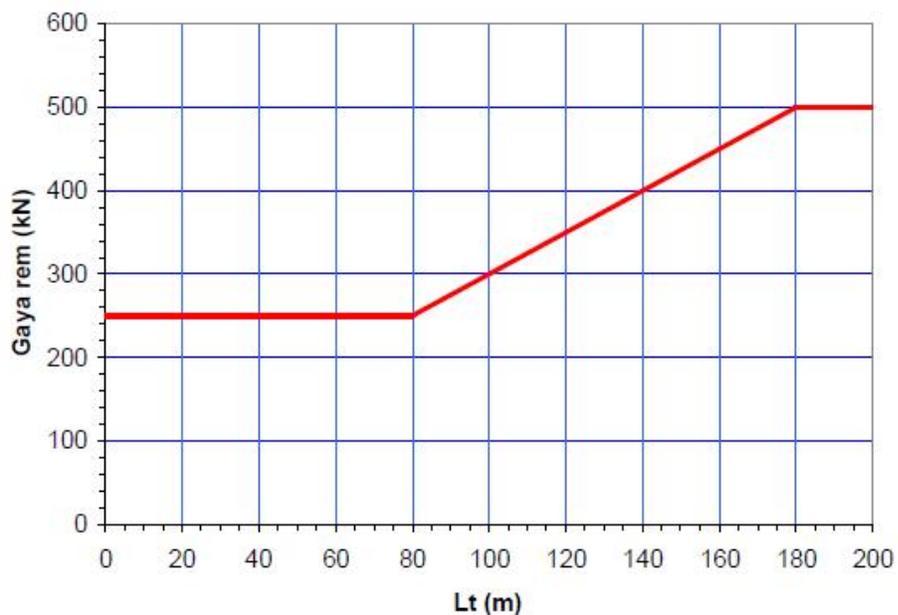
- **Gaya Rem**

Pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu lintas harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada lantai kendaraan. Gaya ini tidak tergantung pada lebar jembatan. Pemberian besarnya gaya rem dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 12. Gaya Rem

Panjang Struktur (m)	Gaya Rem SLS (kN)
$L \leq 80$ m	250
$80 \text{ m} < L < 180$ m	$2,5 L + 50$
$L \geq 180$ m	500
Catatan : Gaya Rem ULS adalah $2,0 * \text{Gaya Rem SLS}$	

Sumber : *Bridge Management System (BMS - 1992) Vol 1 & 2*



Gambar 2.9. Gaya rem

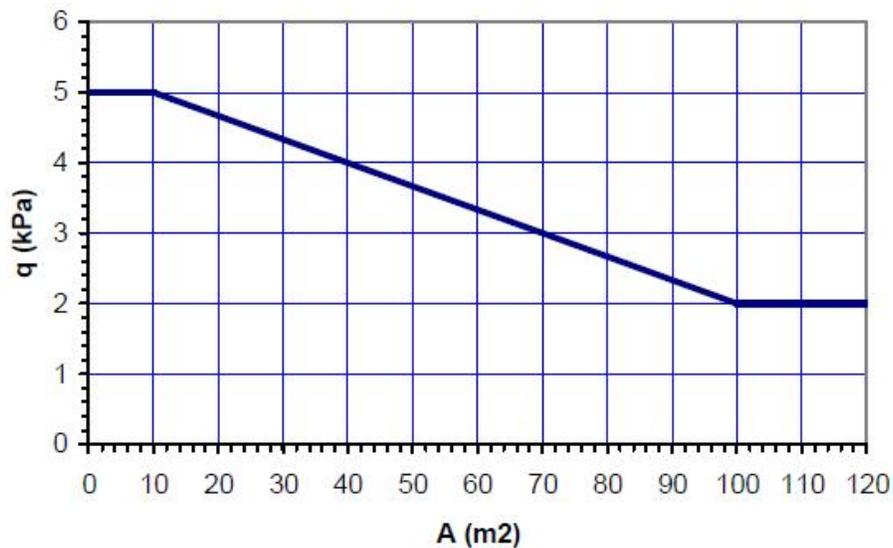
- **Beban Pejalan Kaki**

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

Tabel 2.5. Intensitas Beban Pejalan Kaki untuk Trotoar Jembatan Jalan Raya

Luas Terpikul Oleh Unsur (m ²)	Intensitas Beban Pejalan Kaki Nominal (kPa)
$A \leq 10 \text{ m}^2$	5
$10 \text{ m}^2 < A < 100 \text{ m}^2$	$5,33 - A/30$
$A > 100 \text{ m}^2$	2

Sumber : Bridge Management System (BMS - 1992) Vol 1 & 2



Gambar 2.10. Pejalan kaki

b. **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.

- 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.

- Gaya Angin

Tekanan angin rencana diberikan dalam tabel berikut :

Tabel 2.6. Tekanan Angin pada Bangunan Atas

(b/d) Bangunan Padat	Jenis Keadaan Batas	Tekanan Angin (kPa)	
		Pantai (<5 km dari pantai)	Luar pantai (>5 km dari pantai)
$b/d \leq 1,0$	SLS	1,13	0,79
	ULS	1,85	1,36
$1,0 < b/d \leq 2,0$	SLS	$1,46 - 0,32 b/d$	$1,46 - 0,32 b/d$
	ULS	$2,38 - 0,53 b/d$	$1,75 - 0,39 b/d$
$2,0 < b/d \leq 6,0$	SLS	$0,88 - 0,038 b/d$	$0,61 - 0,02 b/d$
	ULS	$1,43 - 0,06 b/d$	$1,05 - 0,04 b/d$
$b/d \geq 6,0$	SLS	0,68	0,47
	ULS	1,10	0,81

Sumber : *Bridge Management System (BMS - 1992) Vol 1 & 2*

Keterangan : b : Lebar bangunan atas antara permukaan luar tembok pengaman
d : Tinggi bangunan atas (termasuk tembok pengaman padat)

- Gaya Akibat 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.
- Gaya Gempa
Pengaruh gempa bumi pada jembatan diperhitungkan senilai dengan pengaruh horizontal yang bekerja pada titik berat konstruksi/bagian konstruksi yang ditinjau dalam arah yang paling berbahaya.

Beban gempa horisontal (G_h) pada jembatan dapat ditentukan dengan rumus :

$$G_h = C I S W_T$$

Dimana :

W_T : Berat total jembatan yang dipengaruhi oleh percepatan gempa

C : Koefisien geser dasar gempa

I : Faktor kepentingan

S : Faktor jenis struktur

Faktor C , I dan S dijelaskan dalam tata cara jembatan. Jembatan tidak menyediakan keruntuhan *daktail* dikenakan factor lebih besar agar berperilaku elastisitas pada gaya gempa rencana lebih besar yaitu faktor jenis struktur adalah 3,0.¹⁰

¹⁰ *Bridge Management System (BMS - 1992) Vol 1 & 2 hal 2-20*

Tabel 2. 15.Tabel klasifikasi jenis tanah untuk penentuan koefisien geser dasar gempa

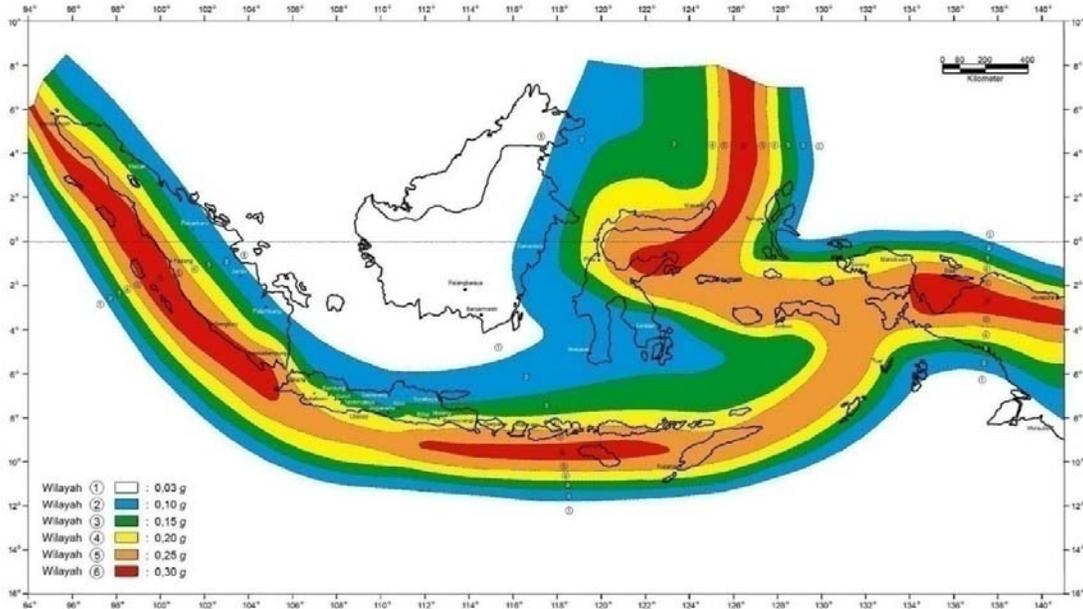
Kedalaman Lapisan Tanah Keras (m)	Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak
	Nilai rata – rata Kekuatan Geser Tanah S (dalam KPa)		
5	$S > 55$	$45 \leq S \leq 55$	$S < 45$
10	$S > 110$	$90 \leq S \leq 110$	$S < 90$
15	$S > 220$	$180 \leq S \leq 220$	$S > 180$
>20	$S > 330$	$270 \leq S \leq 330$	$S > 270$

Sumber : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI – 1726 – 2002 hal 18

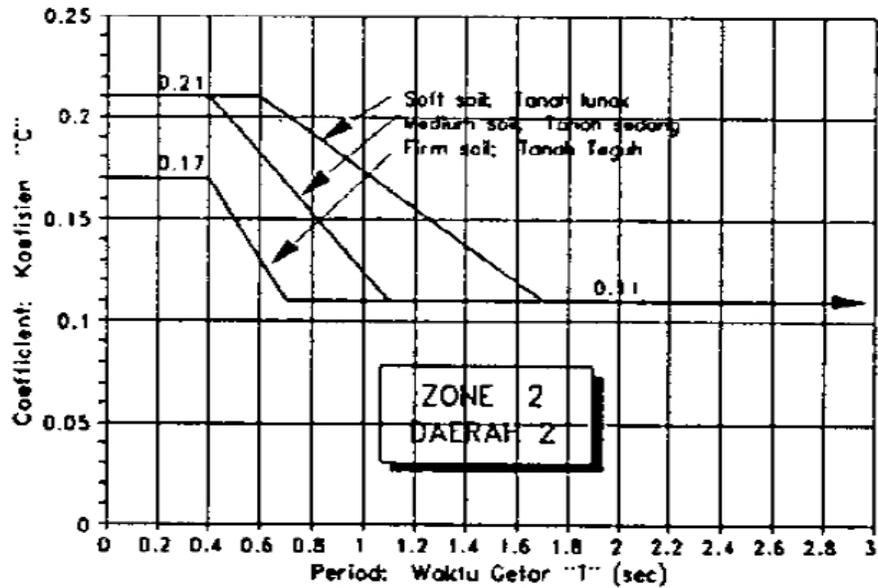
Tabel 2. 16. Hubungan antara Perubahan Periode Ulang Gempa dengan Faktor Keutamaan

Perubahan periode ulang	Faktor keutamaan (I)
0,67 kali	0,8
1,0 kali	1,0
1,5 kali	1,5
2 kali	1,7
5 kali	2,0

Sumber : Buku Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan hal 34



Gambar 2.11. Pembagian Daerah/Zona Gempa di Indonesia Untuk Periode Ulang 500 tahun
Lokasi Proyek masuk pada Wilayah 2



Gambar 2.12. Koefisien Geser Dasar (C) Plastis Untuk Analisa Statis
Sumber : Pedoman Konstruksi dan Bangunan Perencanaan Beban Gempa Pada Jembatan

II.5.1.3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban yang dipakai bisa bermacam-macam seperti terlihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.18. Kombinasi Beban yang Lazim untuk Keadaan Batas

AKSI	Kombinasi Pembebanan											
	Daya Layan (SLS)						Ultimate (ULS)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1. Aksi Tetap:												
Berat sendiri												
Beban mati tambahan												
Penyusutan, rangkai												
Prategang	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pengaruh pelaksanaan tetap												
Tekanan tanah												
Penurunan												
2. Aksi Transien:												
Beban lajur“D”atau beban truk “T”	X	o	o	o	o		X	o	o	o		
Gaya rem, atau gaya sentrifugal	X	o	o	o	o		X	o	o	o		
Beban pejalan kaki		x						x				
Gesekan pada perletakan	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		o
Pengaruh suhu	o	o	x	o	o	o	o	o	o	o		o
Aliran/hanyutan/tumbukan dan hidrostatik/apung	o		o	x	o	o	o		x	o		o
Beban angin			o	o	x	o	o		o	x		o
3. Aksi Khusus												
Gempa												x
Beban tumbukan												
Pengaruh getaran	X	x										
Beban pelaksanaan						x						

Sumber : *Bridge Management System* (BMS - 1992) Vol. 1 & 2 hal 2-22

Keterangan:

- x : Untuk kombinasi tertentu adalah memasukkan faktor daya layan dan beban *ultimate* secara penuh (ULS)
- o : Boleh dimasukkan salah satu beban pada kombinasi yang digunakan.

II.5.2. Struktur Atas (*Upper Structure*)

Struktur atas merupakan struktur dari jembatan yang terletak di bagian atas dari jembatan. Struktur jembatan bagian atas meliputi :

II.5.2.1. Pengaman Samping

Merupakan pembatas antara kendaraan dengan pinggiran jembatan yang berfungsi sebagai pengaman bagi pemakai lalu lintas yang melewati jembatan tersebut. Karena pengaman samping, harus mampu menahan gaya benturan kendaraan, maka digunakan material beton bertulang sebagai pengaman samping (konstruksi parapet), dengan spesifikasi yang telah ditentukan dalam SNI mengenai struktur pengaman samping (Petunjuk Lokasi dan Standar Spesifikasi Bangunan Pengaman tepi jalan No: 013 / S / BNKT / 1990).

II.5.2.2. Trotoar

Trotoar berfungsi untuk memberikan pelayanan yang optimal kepada pejalan kaki baik dari segi keamanan maupun kenyamanan. Konstruksi trotoar direncanakan sebagai pelat beton yang diletakkan pada lantai jembatan bagian samping yang diasumsikan sebagai pelat yang tertumpu sederhana pada pelat jalan.

II.5.2.3. Pelat Lantai Kendaraan

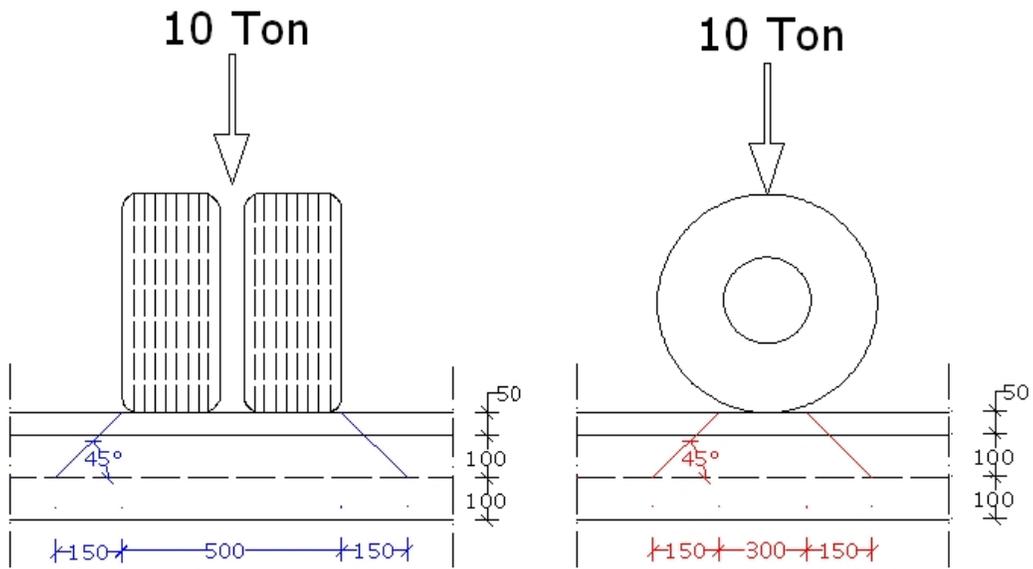
Berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan. Pelat lantai kendaraan diasumsikan tertumpu pada dua sisi. Pembebanan pada pelat lantai meliputi :

1. Beban tetap berupa berat sendiri pelat dan berat pavement.
2. Beban tidak tetap seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

Perhitungan untuk prinsip perhitungan penulangan pelat lantai jembatan¹¹. Pembebanan pada pelat meliputi :

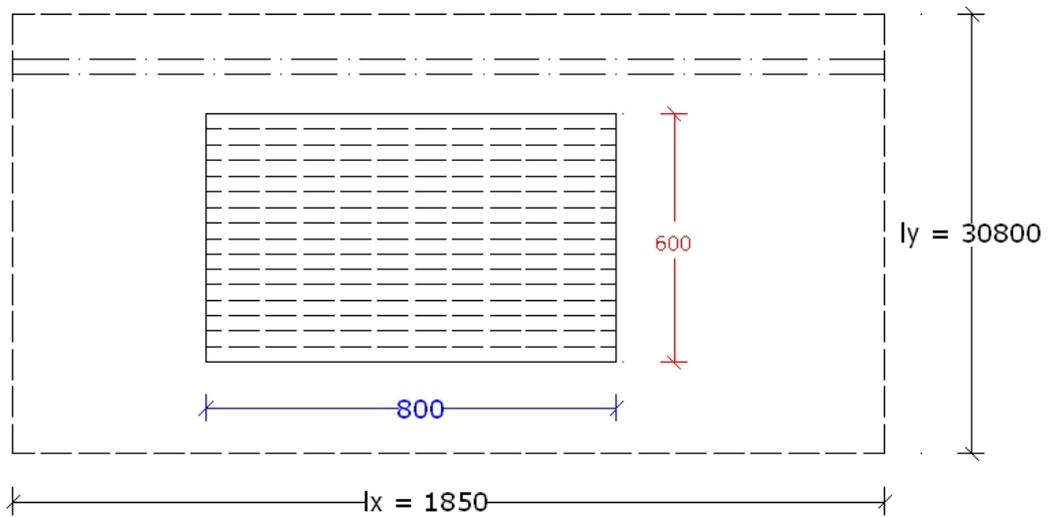
1. Beban mati berupa berat sendiri pelat.
2. Beban akibat sandaran atau pengaman (parapet) samping.

¹¹ SK SNI T15-1991-03

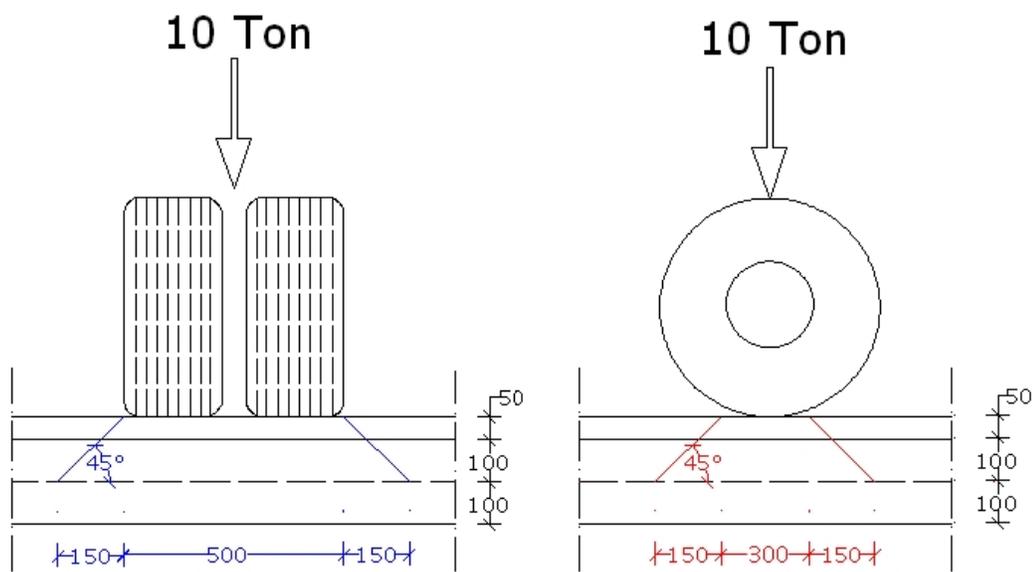


Gambar 2.13. Penyebaran beban satu roda

Tinjauan keadaan beban satu roda :

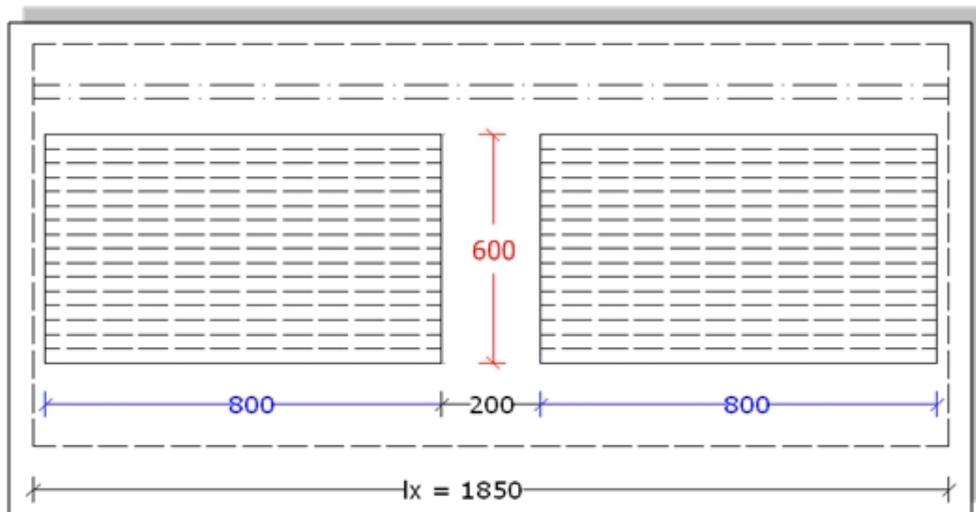


Gambar 2.14. Tinjauan pembebanan terhadap beban satu roda



Gambar 2.15. Penyebaran beban dua roda

Tinjauan keadaan beban dua roda :



Gambar 2.16. Tinjauan pembebanan terhadap beban dua roda

Langkah perencanaan penulangan pelat lantai kendaraan adalah sebagai berikut ini:

1. Menentukan syarat-syarat batas, tumpuan dan panjang bentang.
2. Menentukan tebal pelat lantai (berdasarkan rumus SKSNI 03-xxxx-2002).

$$h_{\min} \geq \frac{Ln \left(0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36 + 9\beta} \quad \text{dan tebal tidak boleh kurang dari 120 mm}$$

$$h_{\max} \geq \frac{Ln * \left(0,8 + \frac{fy}{1500} \right)}{36}$$

Dimana: $\beta = Ly / Lx$

$\beta > 3 \rightarrow$ *one way slab* (pelat satu arah)

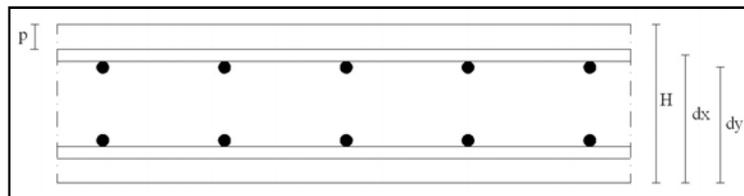
$\beta \leq 3 \rightarrow$ *two way slab* (pelat dua arah)

Ln : panjang sisi terpanjang

fy : kuat leleh tulangan

3. Memperhitungkan beban-beban yang bekerja pada pelat.
4. Perhitungan momen maksimum yang terjadi.
5. Hitung penulangan (arah-x dan arah-y)

Data-data yang diperlukan : h , tebal selimut beton (p), M_u , diameter tulangan, tinggi efektif (dx dan dy).
6. Mencari tinggi efektif dalam arah x dan arah y.



Gambar 2.17. Tinggi Efektif Pelat

7. Tentukan momen yang menentukan $\frac{Mu}{b * d^2}$

Dimana :

Mu : momen yang terjadi

B : lebar per meter

d : tinggi efektif pelat

8. Menentukan harga ρ ¹²

9. Memeriksa syarat rasio penulangan ($\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$)

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \quad 13$$

$$\rho_{max} = \frac{\beta_1 * 450}{600 + f_y} * \frac{0,85 * f'c}{f_y} \quad 14$$

Dimana : ρ_{min} : rasio penulangan minimum

ρ_{max} : rasio penulangan maksimum

$f'c$: kuat tekan beton

β_1 : 0,85 untuk $f'c \leq 30$ Mpa

β_1 : 0,81 untuk $f'c = 35$ Mpa

10. Menghitung luas tulangan (As) untuk masing - masing arah x dan y

$$As = \rho * b * d * 10^6$$

11. Memilih tulangan yang akan dipasang¹⁵

12. Memeriksa jarak antar tulangan maksimal¹⁶

¹² Tabel 5.1.d Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang

¹³ Tabel 7 CUR 1

¹⁴ Tabel 8 CUR 1

¹⁵ Tabel 2.2.a "Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang

¹⁶ Tabel 11 CUR 1

II.5.2.4. Balok Memanjang

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

Perhitungan struktur balok 'I':

1. Penentuan Spesifikasi dan dimensi berdasar bentang dan ketersediaan di pasaran.
2. Hitung analisa Penampang untuk menghitung tahanan momen (S_t dan S_b) gelagar.
3. Hitung momen dan lintang akibat berbagai beban sampai setengah bentang
4. Analisa Gaya Pratekan (T_i) :
 - Tentukan tegangan batas penampang pada 4 kasus
 - Hitung tegangan penampang pada 4 kasus
 - Hitung tegangan pada garis pusat berat gelagar (σ_{cgc})
 - Mencari gaya pratekan pada tiap kasus ($T_i = \sigma_{cgc} * A$)
 - Mencari eksentrisitas tendon tiap kasus

$$\sigma_b = \frac{T_i}{A_{(p)}} + \frac{T_i \cdot e}{S_b} = \sigma_{cgc} + \frac{T_i \cdot e}{S_b}$$

$$e = \frac{S_b}{T_i} * (\sigma_b - \sigma_{cgc})$$

5. Buat grafik hubungan T_i dan eksentrisitas tendon
6. Tentukan nilai T_i dan e yang masuk pada daerah "aman" (diantara 4 kasus tadi).
7. Penentuan jenis dan jumlah ikatan kawat (*strand*) untuk tendon

$$A_s = \frac{T_i}{0,7 * f_{pu}}$$

$$n = \frac{A_s}{A_{no \ min \ al}}$$

8. Penentuan jumlah tendon dan Tipe angkur. (Lihat buku Beton Prategang ; T.Y. Lin)

9. Hitung kehilangan tegangan gaya prategang (perpendekan elastic beton/ES, Rangkak Beton/CR, Susut Beton (SH), Relaksasi Baja/RE)

$$ES = n * \Delta \epsilon' / A_c ; CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{cir} - f_{c ds})$$

$$SH = 8,2 * 10^{-6} * K_{sh} * E_s * (1 - 0,06 \frac{V}{S}) * (100 - RH)$$

$$RE = [K_{re} - J (SH + CR + ES)] C$$

$$E = (ES+CR+SH+RE) / Teg.tendon * 100\%$$

$$R = 100-E$$

10. Kontrol tegangan kondisi awal dan akhir.
 11. Daerah aman Kabel Prategang (cek eksentrisitas tendon pada serat atas dan bawah saat kondisi awal dan akhir)
 12. *Lay Out* Tendon (hitung koordinat lengkungan tendon dan *duct*)

II.5.2.5. Andas/Perletakan

Merupakan perletakan dari jembatan yang berfungsi untuk menerima gaya-gaya dari konstruksi bangunan atas baik yang vertikal, horisontal, maupun lateral dan menyalurkan ke bangunan bawah. Disamping itu juga untuk meredam getaran sehingga *abutment* tidak mengalami kerusakan.

Gaya-gaya diakibatkan oleh :

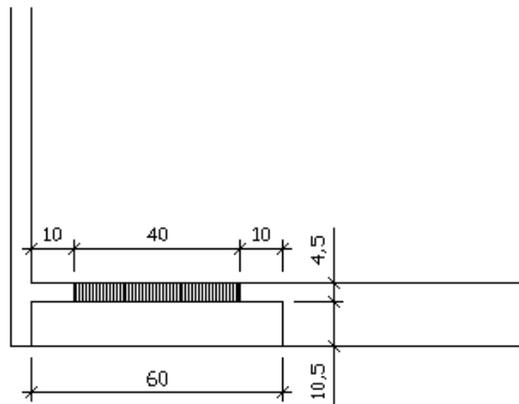
1. Beban *vertical* dan *horizontal*
2. Geser *vertical* dan *horizontal*
3. Putaran sudut

Macam-macam andas adalah sebagai berikut :

1. Andas pelat
2. Andas garis
3. Andas titik
4. Andas bidang
5. Andas *pivot*
6. Andas karet (elastomir)
7. Andas karet dengan seal
8. Andas roll (tunggal/ganda)
9. Andas pelat khusus

Perletakan direncanakan menggunakan elastomer dengan dimensi yang dapat dipesan sesuai permintaan

Dimensi rencana (40 x 45 x 4,5) cm



Gambar 2.15. Bearing Pad

Digunakan :

CPU *Elastomeric Bearing* tebal 45 mm isi 3 plat baja 3 mm

Kuat tekan = 56 kg/cm²

Kuat geser = 35 kg/cm²

CPU *Bearing Pad / strip* tebal 20 mm

Kuat geser = 2,11 kg/cm²