

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TINJAUAN UMUM

Jembatan merupakan suatu konstruksi atau struktur bangunan yang menghubungkan rute/lintasan transportasi yang terpisah baik oleh sungai, rawa, danau, selat, saluran, jalan raya, jalan kereta api, atau perlintasan lainnya.

Jembatan mempunyai beberapa jenis, ditinjau menurut bahan bangunan yang digunakan jembatan dapat dibedakan menjadi :

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 Bata

Jembatan pasangan batu dan bata merupakan jembatan yang konstruksi utamanya terbuat dari batu dan bata. Untuk membuat jembatan dengan batu dan bata umumnya konstruksi jembatan harus dibuat melengkung. Seiring perkembangan jaman jembatan ini sudah tidak digunakan lagi.

3. Jembatan Beton Bertulang dan Beton Prategang.

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 :

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 m.

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 m

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 m.

4. Jembatan Gantung (*Suspension Bridge*)

Sistem struktur dasar jembatan gantung berupa kabel utama (*main cable*) yang memikul kabel gantung (*suspension cables*). 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 m

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 m.

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 m.

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 m.

Dalam perancangan jembatan ada beberapa aspek yang perlu ditinjau yang nantinya akan mempengaruhi dalam penetapan bentuk maupun dimensi jembatan. Adapun aspek tersebut antara lain :

- a) Aspek lokasi dan tipe jembatan
- b) Aspek lalu lintas
- c) Aspek hidrologi
- d) Aspek tanah
- e) Aspek geometri jembatan
- f) Aspek konstruksi jembatan

2.2. ASPEK LOKASI DAN TIPE JEMBATAN

Aspek lokasi mempunyai peranan yang penting dalam perencanaan jembatan dan merupakan langkah awal dalam penentuan panjang jembatan. Dalam penentuan lokasi jembatan didasarkan pada peta topografi di lokasi setempat dan kesesuaian dengan aspek geometri jalan yaitu alinyemen horisontal dan alinyemen vertikal sehingga akan didapatkan letak jembatan yang paling ideal dan panjang jembatan tersebut sesuai dengan pertimbangan – pertimbangan

- a) Penempatan jembatan sebaiknya menghindari daerah tikungan karena akan membahayakan pengguna jalan dan mengurangi tingkat kenyamanan, selain itu penempatan jembatan pada daerah tikungan akan memperbesar panjang jembatan sehingga akan dibutuhkan biaya yang lebih besar.
- b) Apabila jembatan tersebut melewati sebuah sungai, maka penempatan jembatan akan mempengaruhi panjang jembatan. Penempatan jembatan hendaknya diatas rencana banjir keadaan batas ultimate tanpa membahayakan jembatan atau struktur sekitarnya dengan gerusan atau gaya aliran air. Penempatan jembatan secara tegak lurus terhadap sungai akan lebih efisien dari segi jarak dan biaya dibandingkan penempatan yang tidak tegak lurus terhadap sungai
- c) Penempatan jembatan diusahakan pada daerah datar sehingga tidak memerlukan banyak urugan dan galian dalam pelaksanaannya.

Tujuan - tujuan dalam penentuan lokasi jembatan yang paling ideal diantaranya peningkatan kelancaran lalu lintas, keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jembatan, tercapainya perencanaan yang optimal dan ekonomis dengan tidak mengabaikan nilai estetikanya.

Penentuan tipe jembatan didasarkan pada panjang rencana jembatan. Sasaran utama penentuan tipe jembatan agar tercapai jembatan yang kokoh dan stabil, konstruksi yang ekonomis dan estetis, awet dan dapat mencapai umur rencana. Untuk tipikal bangunan atas jembatan berdasarkan variasi panjang rencana jembatan dapat dibagi menjadi beberapa jenis. Berikut Tabel 2.1 merupakan konfigurasi bangunan atas tipikal berdasarkan variasi panjang :

Tabel 2. 1.
Tipikal Konfigurasi Bangunan Atas

No	Jenis Bangunan Atas	Variasi Panjang	Perbandingan H/L Tipikal (Tinggi / Bentang)
1.	Bangunan Atas Kayu		
a).	Jembatan balok dengan lantai urug atau lantai papan.	5 – 20 m	1 / 15
b).	Gelagar kayu gergaji dengan lantai papan.	5 – 10 m	1 / 5
c).	Gelagar komposit kayu baja gergaji dengan lantai papan.	8 – 12 m	1 / 5
d).	Rangka lantai bawah dengan papan kayu	20 – 50 m	1 / 6

Lanjutan Tabel 2. 1. Tipikal Konfigurasi Bangunan Atas

No	Jenis Bangunan Atas	Variasi Bentang	Perbandingan H/L Tipikal (Tinggi / Bentang)
e).	Rangka lantai atas dengan papan kayu.	20 – 50 m	1 / 5
f).	Gelagar baja dengan lantai papan kayu.	5 – 35 m	1 / 17 – 1 / 30
2.	Bangunan Atas Baja		
a).	Gelagar baja dengan pelat lantai baja.	5 – 25 m	1 / 25 – 1 / 27
b).	Gelagar baja dengan lantai beton komposit. - Bentang sederhana - Bentang menerus	15 – 50 m 35 – 90 m	1 / 20
c).	Gelagar <i>box</i> baja dengan lantai beton komposit. - Bentang sederhana - Bentang menerus	30 – 60 m 40 – 90 m	1 / 20
d).	Rangka lantai bawah dengan pelat beton	30-100 m	1 / 8 – 1 / 11
e).	Rangka lantai atas dengan pelat beton komposit	30-100 m	1/11 – 1 / 15
f).	Rangka menerus	60–150 m	1 / 10
3.	Jembatan Beton Bertulang		
a).	Pelat beton bertulang	5 – 10 m	1 / 12,5
b).	Pelat berongga	10 – 18 m	1 / 18
c).	Kanal pracetak	5 – 13 m	1 / 15
d).	Gelagar beton “ T “	6 – 25 m	1 / 12 – 1 / 15
e).	Gelagar beton <i>box</i>	12 – 30 m	1 / 12 – 1 / 15
f).	Lengkung beton (bentuk parabola)	30 – 70 m	1 / 30 rata - rata
4.	Jembatan Beton Prategang		
a).	Segmen pelat	6 – 12 m	1 / 20
b).	Segmen pelat berongga	6 – 16 m	1 / 20
c).	Segmen berongga komposit dengan lantai beton. - Rongga tunggal - <i>Box</i> berongga	8 – 14 m 16 – 20 m	1 / 18
d).	Gelagar I dengan lantai komposit dalam bentang sederhana : - Pra penegangan - Pasca penegangan - Pra + Pasca penegangan	12 – 35 m 18 – 35 m 18 – 25 m	1 / 15 – 1 / 16,5
e).	Gelagar I dengan lantai beton komposit dalam bentang menerus.	20 – 40 m	1 / 17,5
f).	Gelagar I pra penegangan dengan lantai komposit dalam bentang tunggal	16 – 25 m	1 / 15 – 1 / 16,5
g).	Gelagar T pasca penegangan.	20 – 45 m	1 / 16,5 - 1 / 17,5
h).	Gelagar <i>box</i> pasca penegangan dengan lantai komposit.	18 – 40 m	1 / 15 – 1 / 16,5
i).	Gelagar <i>box monolit</i> dalam bentang sederhana.	20 – 50 m	1 / 17,5
j).	Gelagar <i>box</i> menerus, pelaksanaan kantilever	6 – 150 m	1 / 18 – 1 / 20

Sumber : Perencanaan Jembatan, Ir. Bambang Pudjianto, MT. dan Ir. Muchtar Hadiwidodo.

2.3. ASPEK LALU LINTAS

Dalam perencanaan, lebar jembatan sangat dipengaruhi oleh besarnya arus lalu lintas yang melintasi jembatan dengan interval waktu tertentu yang diperhitungkan terhadap Lalu lintas Harian Rata – rata (LHR) dalam Satuan Mobil Penumpang (SMP). LHR merupakan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik dalam suatu ruas jalan dengan pengamatan selama satuan waktu tertentu, yang nilainya digunakan sebagai dasar perencanaan dan evaluasi pada masa yang akan datang. Dengan diketahuinya volume lalu lintas yang lewat pada ruas jalan dalam waktu tertentu maka akan diketahui kelas jalan tersebut sehingga nantinya dapat ditentukan tebal perkerasan dan lebar efektif jembatan.

2.3.1. Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LHRT)

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 2 lajur 2 arah, smp/hari/1 lajur atau kendaraan/hari/1 arah untuk jalan berlajur banyak dengan median.

2.3.2. Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)

LHR adalah hasil bagi jumlah kendaraan yang diperoleh selama pengamatan dengan lamanya pengamatan.

$$\text{LHR} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas selama pengamatan}}{\text{Lamanya pengamatan}}$$

Data LHR ini cukup teliti jika pengamatan dilakukan pada interval-interval waktu yang cukup menggambarkan fluktuasi lalu lintas selama 1 tahun dan hasil LHR yang dipergunakan adalah harga rata-rata dari perhitungan LHR beberapa kali.

2.3.3. Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Ekivalensi mobil penumpang yaitu faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalu lintas. Untuk mobil penumpang, nilai emp adalah 1,0. Sedangkan nilai emp untuk masing-masing kendaraan untuk jalan tol (jalan empat lajur-dua arah terbagi) dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2. 2.
Ekivalensi Kendaraan Penumpang (EMP) untuk Jalan Bebas Hambatan Dua Arah Empat Lajur (MW 4/2 D)

Tipe alinyemen	Arus total (kend/jam)	emp		
		MHV	LB	LT
Datar	0	1,2	1,2	1,6
	1250	1,4	1,4	2,0
	2250	1,6	1,7	2,5
	≥ 2800	1,3	1,5	2,0
Bukit	0	1,8	1,6	4,8
	900	2,0	2,0	4,6
	1700	2,2	2,3	4,3
	≥ 2250	1,8	1,9	3,5
Gunung	0	3,2	2,2	5,5
	700	2,9	2,6	5,1
	1450	2,6	2,9	4,8
	≥ 2000	2,0	2,4	3,8

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 1997, hal 7-33

2.3.4. Volume Jam Perencanaan (VJP)

Arus lalu lintas bervariasi dari jam ke jam berikutnya dalam 1 hari, maka sangat cocok jika volume lalu lintas dalam 1 jam dipergunakan untuk perencanaan. Volume dalam 1 jam yang dipakai untuk perencanaan dinamakan Volume Jam Perencanaan (VJP).

Perhitungan VJP didasarkan pada rumus sebagai berikut :

$$VJP = k \times LHRT$$

Dimana k adalah faktor pengubah dari LHRT ke lalu lintas jam puncak. Untuk besarnya k dapat dilihat pada Tabel 2.3 di bawah ini :

Tabel 2. 3.
Penentuan Faktor k

Lingkungan Jalan	Jumlah Penduduk Kota	
	> 1 Juta	≤ 1 Juta
Jalan didaerah 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 Tahun 1997

Sedangkan untuk jalan bebas hambatan nilai k = 0,11

2.3.5. Pertumbuhan Lalu Lintas

Perkiraan pertumbuhan lalu lintas dengan menggunakan metode “Regresi Linier” yang merupakan metode penyelidikan terhadap suatu data statistik. Adapun rumus persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Y' = a + b X$$

Dimana :

Y' = besar nilai yang diramal

a = nilai trend pada nilai dasar

b = tingkat perkembangan nilai yang diramal

X = unit tahun yang dihitung dari periode dasar

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.

Pertumbuhan lalu lintas tiap tahun dirumuskan :

$$\text{LHR}_n = \text{LHR}_0 \times (1 + i)^n$$

$$i = 100\% \times \sqrt[n]{\frac{\text{LHR}_n}{\text{LHR}_0} - 1} \rightarrow (\%)$$

Dimana :

LHR_n = LHR pada tahun ke-n

LHR_0 = LHR pada awal tahun

i = pertumbuhan lalu lintas

n = tahun ke-n

Persamaan trend : $Y' = a + bX$

$$\text{I} \quad \sum Y = n \times a + b \times \sum X$$

$$\text{II} \quad \sum XY = a \times \sum X + b \times \sum X^2$$

Dari hasil perhitungan di atas maka diperoleh a dan b dalam bentuk konstanta yang kemudian dimasukkan dalam rumus “Regresi Linier“, sehingga perkiraan LHR selama umur rencana (UR) dapat diperhitungkan.

2.3.6. Menghitung LHR yang Teralihkan ke Jalan Tol

1. Kapasitas jalan tol

Kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum yang dapat dipertahankan persatuan jam yang melewati suatu titik jalan yang ada. Kapasitas dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp), dengan persamaan dasar :

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{sp} \text{ (smp/jam)}$$

Dimana :

C = kapasitas (smp/jam)

C_0 = kapasitas dasar (smp/jam)

FC_w = faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas

FC_{sp} = faktor penyesuaian akibat pemisahan arah

2. Menghitung kecepatan arus bebas dan waktu tempuh kendaraan

Untuk mengetahui LHR jalan existing yang teralihkan ke jalan tol, perlu diketahui kecepatan arus bebas dan waktu tempuh kendaraan yang nantinya akan digunakan sebagai dasar perhitungan persentase LHR jalan existing yang teralihkan ke jalan tol.

Persamaan untuk menghitung kecepatan arus bebas untuk kendaraan ringan, berdasarkan MKJI 1997 adalah:

$$FV = FV_0 + FV_w$$

Untuk kendaraan lain, dihitung berdasarkan persamaan MKJI 1997 :

$$FV_{\text{kend. lain}} = FV_{0 \text{ kend. lain}} + (FFV_w \times FV_{0 \text{ kend. lain}} / FV_{0 \text{ kend. ringan}})$$

Persamaan untuk menghitung waktu tempuh kendaraan untuk jalan baru adalah sebagai berikut :

$$T (\text{baru}) = \frac{S}{V}$$

Keterangan :

T (baru) = Waktu perjalanan (menit)

S = Panjang trase jalan = 24,491 km

V = kecepatan arus bebas kendaraan

3. Persentase yang teralihkan ke tol

Setelah dilakukan analisa kecepatan arus bebas dan waktu tempuh kendaraan maka persentase dari kemungkinan kendaraan yang teralihkan ke jalan tol dapat dihitung.

Rumus untuk mendapatkan persentase tersebut adalah :

$$x = 50 + \frac{50(d + 0,5t)}{\sqrt{(d - 0,5t)^2 + 4,5}}$$

Dimana : x = persentase kendaraan yang melalui jalan tol

d = jarak tempuh melalui jalan tol

t = waktu tempuh melalui jalan tol

2.3.7. Derajat kejenuhan

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan perilaku lalu lintas suatu segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan menunjukkan apakah segmen jalan akan mempunyai masalah kapasitas atau tidak, dinyatakan dalam persamaan :

$$DS = \frac{Q}{C} < 0.75$$

Dimana :

- DS = derajat kejenuhan
- Q = volume lalu lintas (smp)
- C = kapasitas jalan (smp/jam)

2.4. ASPEK HIDROLOGI

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

Analisa dari data-data hidrologi yang tersedia meliputi :

2.4.1. Analisa Frekuensi Curah Hujan

Besarnya curah hujan suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) diperhitungkan dengan mengikuti aturan pada metode *Gumbell*, distribusi Log Pearson III, dan berdasar 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 :

$X_{rata-rata}$ = 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:

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

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{(n-1)}}$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)S_1^2}$$

Keterangan :

S1 = Standar Deviasi

Cs = Koefisien Kemencengan

2.4.2. 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

$$Q_{tr} = C \times I \times A \times 0,278$$

Keterangan ; Q_{tr} = Debit banjir rencana (m^3/dtk)

A = Luas DAS (km^2)

C = Koefisien *run off*

Analisa Debit Penampang

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

Keterangan ; Q_{tr} = Debit banjir (m^3/dtk)

m = Kemiringan lereng sungai

B = Lebar penampang sungai(m)

A = Luas penampang basah (m^2)

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 2.4 dibawah ini :

Tabel 2. 4.
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

2.4.3. 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 2.5

Tabel 2. 5.
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 : C.D. Soemarto, 1995

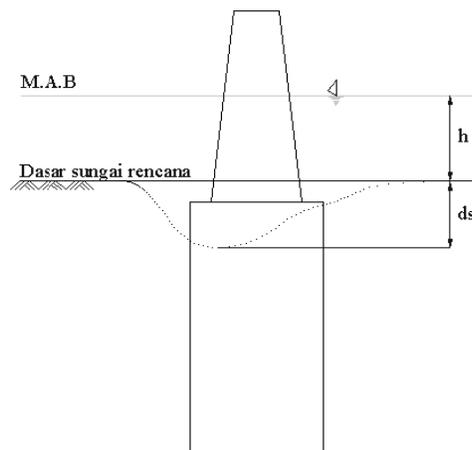
Penentuan kedalaman penggerusan dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut ini :

Tabel 2. 6.
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

Sumber : C.D. Soemarto, 1995

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

2.5. ASPEK TANAH

Aspek tanah sangat menentukan terutama dalam penentuan jenis pondasi yang digunakan, kedalaman serta dimensinya dan kestabilan tanah. Penentuan ini didasarkan pada hasil sondir, boring, maupun *soil properties* pada 2 atau 3 titik *soil investigation* yang diambil di daerah letak abutment dan pilar jembatan yang direncanakan.

2.5.1. Aspek Tanah Terhadap Pondasi

Tanah harus mampu untuk menahan pondasi serta beban-beban yang dilimpaskan ke pondasi tersebut. Dalam hubungan dengan perencanaan pondasi, besaran-besaran tanah yang harus diperhitungkan adalah daya dukung tanah dan kedalaman tanah keras.

Daya dukung tanah diperlukan untuk mengetahui kemampuan tanah menahan beban di atasnya. Perhitungan daya dukung didapatkan melalui serangkaian proses matematis. Daya dukung tanah yang telah diperhitungkan harus lebih besar dari beban ultimate yang telah diperhitungkan terhadap faktor keamanannya.

Dalam perencanaan pondasi dilakukan serangkaian tes untuk menentukan jenis pondasi yang digunakan, antara lain tes sondir untuk mengetahui kedalaman tanah keras dan tes bor untuk mengetahui jenis tanah dan *soil properties*.

2.5.2. Aspek Tanah Terhadap Abutment

Dalam perencanaan abutment jembatan data-data tanah yang dibutuhkan berupa data-data sudut geser, kohesi dan berat jenis tanah yang digunakan untuk menghitung tekanan tanah horizontal juga gaya akibat berat tanah yang bekerja pada abutment, serta daya dukung tanah yang merupakan reaksi tanah dalam menyalurkan beban dari abutment.

- 1) Tekanan tanah dihitung dari data *soil properties* yang ada. Dalam menentukan tekanan tanah yang bekerja dapat ditentukan dengan cara analitis/grafis.
- 2) Gaya berat dari tanah ditentukan dengan menghitung volume tanah diatas abutment dikalikan dengan berat jenis dari tanah itu sendiri.

2.5.3. Aspek Tanah Terhadap Dinding Penahan

Pada prinsipnya, secara umum aspek tanah dalam dinding penahan tanah untuk menghitung tekanan tanah baik aktif/pasif adalah sama dengan aspek tanah pada abutment.

2.6. ASPEK GEOMETRI JEMBATAN

Perencanaan geometri merupakan bagian dari perencanaan jembatan yang dititik beratkan pada pengaturan tata letak jembatan sehingga menghasilkan jembatan yang aman, efisiensi pelayanan arus lalu lintas dan memaksimalkan ratio tingkat penggunaan / biaya pelaksanaan.

Perencanaan geometri jembatan sangat berkaitan dengan perencanaan geometri jalan yang dihubungkan oleh jembatan tersebut terutama yang berhubungan dengan lokasi jembatan seperti yang telah disinggung dalam aspek lokasi dan tipe jembatan, sehingga elemen – elemen yang terdapat pada geometri jalan merupakan dasar dari perencanaan geometri jembatan.

Elemen dari aspek geometrik adalah sebagai berikut :

2.6.1. Lebar Jembatan

Lebar jembatan ditentukan berdasarkan dari aspek lalu lintas pada jalan tol tersebut, setelah dilakukan analisa lalu lintas jalan tol, maka didapatkan lebar lajur jalan, lebar lajur jalan tersebut nantinya digunakan sebagai dasar perencanaan lebar jembatan.

2.6.2. Panjang Jembatan

Panjang jembatan ditentukan dari kondisi geografis di daerah sekitar jembatan dan berdasarkan profil melintang sungai yang melewati jembatan tersebut.

2.6.3 Tinggi Jembatan

Tinggi jembatan disesuaikan dengan elevasi rencana jalan tol dan elevasi tanah dasar pada jembatan tersebut. Tinggi jembatan juga disesuaikan terhadap analisa hidrologi, yaitu tinggi *clearance* dari debit tertinggi banjir sungai yang melewati jembatan tersebut. Penetapan tinggi jembatan ini juga mempertimbangkan kondisi topografi lokasi jembatan rencana supaya tercapai efisiensi, efektifitas dan kelayakan konstruksi.

2.7. ASPEK KONSTRUKSI JEMBATAN

Dalam aspek konstruksi jembatan ini akan ditinjau mengenai pembebanan jembatan, komponen utama jembatan, kondisi tanah dasar, dan perencanaan perkerasan oprit. Komponen utama jembatan terdiri atas bangunan bawah (*substructure*) dan bangunan atas (*upper structure/super structure*). Bangunan bawah terdiri dari abutment atau pangkal jembatan, pilar dan pondasi sedangkan bangunan atas terdiri dari lantai jembatan, gelagar atau rangka utama, gelagar memanjang, gelagar melintang, diafragma, pertambahan angin dan lain-lain. Selain itu, terdapat juga bangunan pelengkap seperti tembok samping, tembok muka, dinding penahan tanah, drainase jembatan dan lain-lain. Penggunaan trotoar tidak diperlukan, hal ini dikarenakan jalan yang dihubungkan oleh jembatan ini merupakan jalan tol yang tidak memerlukan sarana untuk pejalan kaki.

2.7.1. Pembebanan Jembatan

Perhitungan pembebanan jembatan direncanakan dengan menggunakan aturan yang terdapat pada Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan 1992 (*BMS/Bridge Manajemen System*) bagian 2 tentang beban jembatan. 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 ini dimaksudkan untuk mencapai perencanaan ekonomis sesuai kondisi setempat, tingkat keperluan, kemampuan pelaksanaan dan syarat teknis lainnya, sehingga proses perencanaan menjadi efektif.

Beban-beban yang bekerja pada jembatan berdasarkan Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan (BMS/*Bridge Manajemen System*), meliputi :

1. Beban Tetap

Adalah berat dari masing-masing bagian struktural dan elemen-elemen nonstruktural. Masing-masing berat elemen ini harus dianggap sebagai aksi yang tidak dipisahkan dan tidak boleh menjadi bagian-bagian pada waktu menerapkan faktor beban biasa dan yang berkurang.

Beban tetap terdiri dari:

a. Berat Sendiri

Beban mati merupakan berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap.

b. Beban Mati Tambahan

Adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan mungkin umurnya berubah selama umur jembatan.

c. Pengaruh Penyusutan dan Rangkak

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

d. Pengaruh Prategang

Prategangan harus diperhitungkan sebelum (selama pelaksanaan) dan sesudah kehilangan dalam kombinasinya dengan beban lain.

e. Tekanan Tanah

Bagian bangunan jembatan yang menahan tanah harus direncanakan dapat menahan tekanan tanah sesuai dengan rumus-rumus yang ada.

f. Pengaruh Tetap Pelaksanaan

Pengaruh tetap pelaksanaan disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan jembatan, biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya seperti prapenegangan dan berat sendiri, dan dalam hal ini

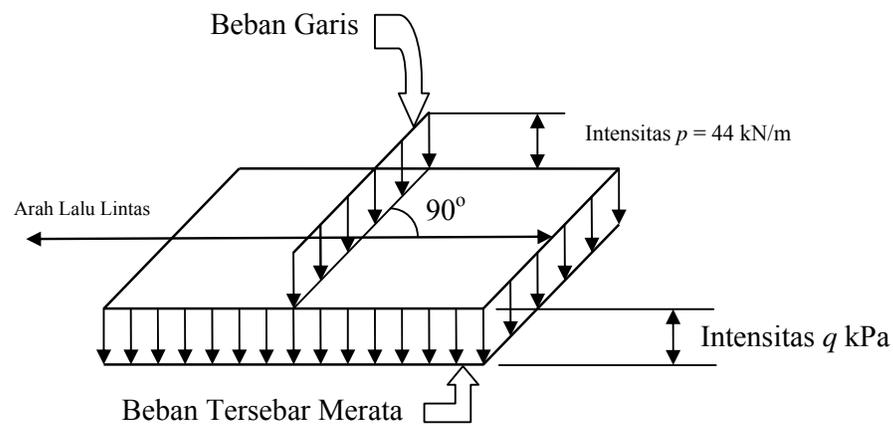
pengaruh tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah semua beban yang berasal dari berat kendaraan-kendaraan bergerak yang dianggap bekerja pada jembatan. Beban hidup pada jembatan ditinjau dalam dua macam, yaitu beban “T” yang merupakan beban terpusat untuk rantai kendaraan dan beban “D” yang merupakan beban jalur untuk gelagar.

a. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata yang digabung dengan beban garis, seperti terlihat dalam Gambar 2.2 berikut:



Sumber : BMS, 1992

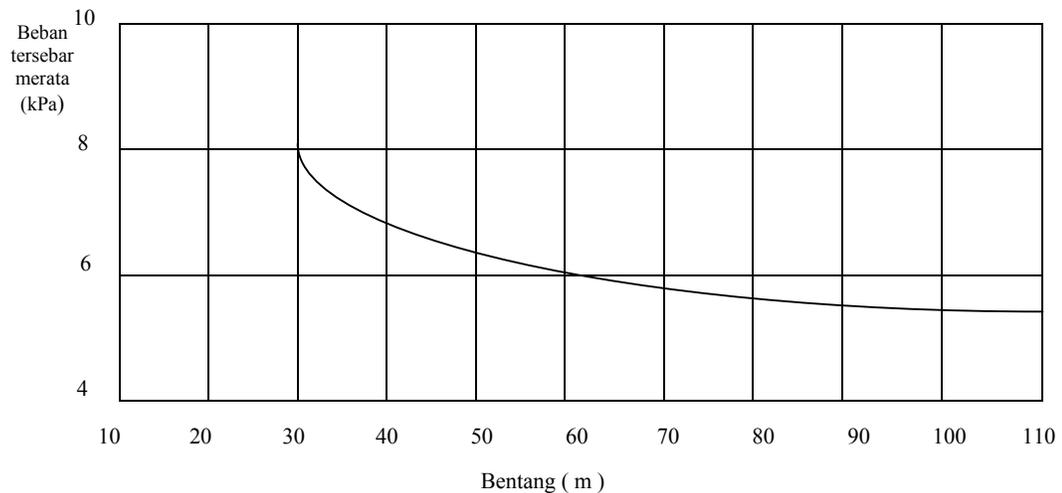
Gambar 2. 2. Beban Lajur “D”

Beban terbagi rata mempunyai intensitas $q \text{ kPa}$, dimana besarnya q tergantung pada panjang total (L) yang dibebani seperti berikut :

Untuk $L \leq 30 \text{ m}$; $q = 8,0 \text{ kPa}$

Untuk $L > 30 \text{ m}$; $q = 8,0 \times (0,5 + (15 / L)) \text{ kPa}$

Hubungan dari perhitungan beban lajur “D” dapat dilihat dalam Gambar 2.3 di bawah ini:



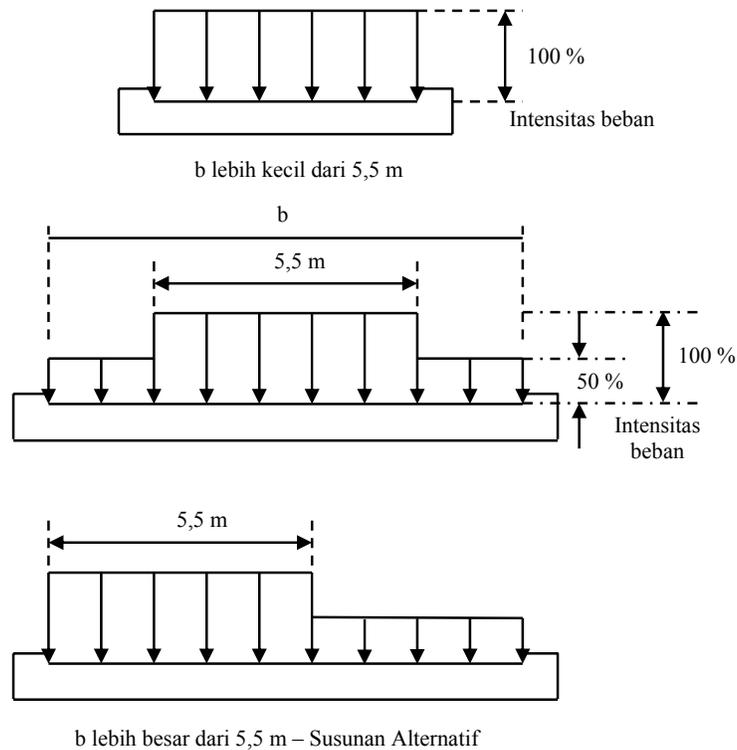
Sumber : BMS, 1992

Gambar 2. 3. Beban “ D “ : Beban Tersebar Merata dan Bentang

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

- a) Untuk jembatan dengan lebar lantai kendaraan sama atau lebih kecil dari 5,50 meter, beban “D” sepenuhnya (100 %) harus dibebankan pada seluruh lebar jembatan.
- b) 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 2.4 merupakan penyebaran beban dalam arah melintang:

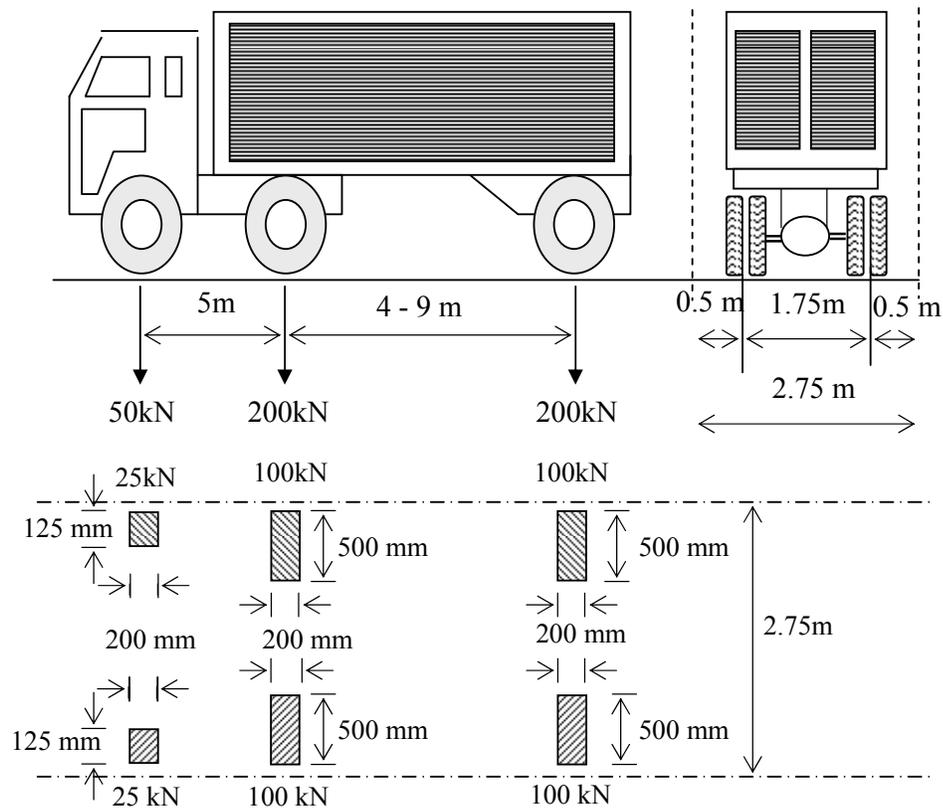


Sumber : BMS, 1992

Gambar 2. 4. Penyebaran Pembebanan pada Arah Melintang

b. Beban Truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat pada Gambar 2.5. Berat dari masing-masing as disebarkan 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.



Sumber : BMS, 1992

Gambar 2. 5. Beban Truk "T"

c. Pembebanan Lalu Lintas Yang Dikurangi

Dalam keadaan khusus dengan persetujuan instansi yang berwenang, pembebanan "D" setelah dikurangi 70 % bisa digunakan. Faktor pengurangan 70 % tidak boleh digunakan untuk pembebanan truk "T".

d. Faktor Beban Dinamis

Faktor Beban Dinamis (DLA/*Dinamic Load Allowance*) merupakan interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya DLA tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan (biasanya antara 2 sampai 5 Hz untuk kendaraan berat) dan frekuensi dari getaran lentur jembatan.

e. Gaya Rem

Pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu lintas harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang, dan dianggap bekerja pada lantai kendaraan.

f. Gaya Setrifugal

Untuk jembatan yang mempunyai lengkung horisontal harus diperhitungkan adanya gaya sentrifugal akibat pengaruh pembebanan lalu lintas untuk seluruh bagian bangunan. Beban lalu lintas dianggap bergerak pada kecepatan tiga perempat dari kecepatan rencana untuk jalan. Gaya sentrifugal harus bekerja secara bersamaan dengan pembebanan “D” atau “T” dengan pola yang sama sepanjang jembatan. Fraksi beban dinamis jangan ditambahkan dengan gaya sentrifugal tersebut. Gaya sentrifugal dianggap bekerja pada permukaan lantai dengan arah keluar secara radial dan harus sebanding dengan pembebanan total pada suatu titik berdasarkan rumus :

$$T_{TR} = 0,006 (V^2 / r) T_T$$

Dimana :

T_{TR} = Gaya sentrifugal yang bekerja pada bagian jembatan.

T_T = Pembebanan lalu lintas total yang bekerja pada bagian yang sama.

V = Kecepatan lalu lintas rencana (km/jam).

r = Jari – jari lengkungan (m).

g. Beban Tumbukan pada Penyangga Jembatan

Pilar yang mendukung jembatan yang melintas jalan raya, jalan kereta api dan navigasi sungai harus direncanakan mampu menahan beban tumbukan. Kalau tidak, bisa direncanakan dan dipasang pelindung.

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 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. Pengaruh Temperatur

Pengaruh temperatur dibagi menjadi :

1) Variasi pada temperatur jembatan rata-rata

Variasi temperatur jembatan rata-rata digunakan dalam menghitung pergerakan pada *bearings* dan sambungan pelat lantai, dan untuk menghitung beban akibat terjadinya pengekangan dari pergerakan tersebut.

2) Variasi temperatur di dalam bangunan atas jembatan (perbedaan temperatur)

Variasi perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam.

c. Aliran Air , Benda hanyutan , dan Tumbukan dengan Batang Kayu

Gaya seret nominal *ultimate* dan daya layan pada pilar akibat aliran air tergantung pada kecepatan sebagai berikut:

$$T_{\text{eff}} = 0,5 C_D (V_s)^2 A_D \dots\dots\dots \text{kN}$$

Dimana :

V_s = kecepatan air rata-rata (m/dt) untuk keadaan batas yang ditinjau

C_D = koefisien seret

A_D = luas proyeksi pilar tegak lurus arah aliran (m^2) dengan tinggi sama dengan kedalaman aliran.

Bila pilar tipe dinding membuat sudut dengan arah aliran, maka gaya angkat melintang akan semakin besar. Harga nominal dari gaya-gaya ini, dalam arah tegak lurus gaya, seret adalah :

$$T_{\text{eff}} = 0,5 C_L (V_s)^2 A_L \dots\dots\dots \text{kN}$$

Dimana :

V_s = kecepatan air rata-rata (m/dt) untuk keadaan batas yang ditinjau

C_L = koefisien angkat

A_L = luas proyeksi pilar sejajar arah aliran (m^2) dengan tinggi sama dengan kedalaman aliran.

d. Tekanan Hidrostatik dan Gaya Apung

Permukaan air rendah dan tinggi harus ditentukan selama umur bangunan dan digunakan untuk menghitung tekanan hidrostatik dan gaya apung. Dalam menghitung pengaruh tekanan hidrostatik, kemungkinan adanya gradien hidrolis yang mungkin terjadi melintang bangunan harus diperhitungkan.

Dalam memperkirakan pengaruh daya apung, harus ditinjau beberapa ketentuan sebagai berikut:

- 1) Pengaruh daya apung pada bangunan bawah (termasuk tiang) dan beban mati bangunan atas.
- 2) Syarat-syarat sistem ikatan dari bangunan atas.
- 3) Syarat-syarat drainase dengan adanya rongga-rongga pada bagian dalam supaya air bisa keluar pada waktu surut.

e. Beban angin

Gaya nominal *ultimate* dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana sebagai berikut :

$$T_{EW} = 0,0006 C_w (V_w)^2 A_b \dots\dots\dots \text{kN}$$

Dimana :

V_w = kecepatan angin rata-rata (m/dt) untuk keadaan batas yang ditinjau

C_w = koefisien seret

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

Angin harus dianggap secara merata pada seluruh bangunan atas.

Apabila suatu kendaraan sedang berada di atas jembatan, beban garis merata tambahan arah horisontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti diberikan dengan rumus:

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

Dimana :

$$C_w = 1,2$$

f. Pengaruh Gempa

Pengaruh gempa rencana hanya ditinjau pada keadaan batas *ultimate*.

1) Beban horisontal statis ekuivalen

Untuk jembatan besar, rumit dan penting mungkin diperlukan analisa dinamis. Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut:

$$T'_{EQ} = K_h / W_T \dots\dots\dots \text{kN}$$

dimana:

$$K_h = C S$$

dan:

T'_{EQ} = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau

K_h = Koefisien beban gempa horisontal

C = Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu, dan kondisi setempat yang sesuai

I = Faktor kepentingan

S = Faktor tipe bangunan

W_T = Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (kN)

Waktu dasar getaran jembatan yang digunakan untuk menghitung geser dasar harus dihitung dari analisa yang meninjau seluruh elemen bangunan yang memberikan kekakuan dan fleksibilitas dari sistem pondasi.

Untuk bangunan yang mempunyai satu derajat kebebasan yang sederhana, rumus berikut bisa digunakan:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W_{TP}}{gK_p}}$$

dimana:

T = Waktu getar dalam detik

g = Percepatan gravitasi (m/dt^2)

W_{TP} = Berat total nominal bangunan atas termasuk beban mati tambahan ditambah setengah berat dari pilar (kN)

K_p = Kekakuan gabungan sebagai gaya horisontal yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan lendutan pada bagian atas pilar (kN/m)

Catatan bahwa jembatan biasanya mempunyai waktu getar yang berbeda pada arah memanjang dan melintang sehingga beban rencana statis ekuivalen yang berbeda harus dihitung untuk masing-masing arah.

2) Ketentuan- ketentuan khusus untuk pilar tinggi

Apabila berat pilar lebih besar dari 20 % berat total yang dipengaruhi oleh percepatan gempa, W_T , maka beban statis ekuivalen arah horisontal pada pilar harus disebarakan.

3) Beban vertikal statis ekuivalen

Untuk perencanaan perletakan dan sambungan, gaya gempa vertikal dihitung dengan menggunakan percepatan vertikal (ke atas atau ke bawah) sebesar 0,1 g yang bekerja secara bersamaan dengan gaya horisontal. Gaya ini jangan dikurangi oleh berat sendiri jembatan dan bangunan pelengkapanya. Gaya gempa vertikal bekerja pada bangunan berdasarkan pembagian massa, dan pembagian gaya gempa antara bangunan bawah dan bangunan atas harus sebanding dengan kekakuan relatif dari perletakan atau sambungannya.

4) Tekanan tanah lateral akibat gempa

Dihitung dengan menggunakan faktor harga dari sifat bahan, koefisien gempa horisontal (K_h), faktor kepentingan (I), pengaruh dari percepatan tanah arah vertikal bisa diabaikan. Tekanan tanah dinamis harus dihitung dengan metode rasional yang telah diakui.

5) Bagian tertanam dari jembatan

Bila bagian-bagian jembatan seperti pangkal tertanam, faktor tipe bangunan (S) yang akan digunakan dalam menghitung beban statis ekuivalen akibat massa bagian tertanam, harus ditentukan sebagai berikut:

- (a) Bila bagian tertanam dari struktur dapat menahan simpangan horisontal besar (konsisten dengan gerakan gempa) sebelum runtuh, dan sisa struktur dapat mengikuti simpangan tersebut, maka S untuk bagian tertanam harus diambil sebesar 1,0.
- (b) Bila bagian tertanam dari struktur tidak dapat menahan simpangan horisontal besar, atau bila sisa struktur tidak dapat mengikuti simpangan tersebut, maka S untuk bagian tertanam harus diambil sebesar 3,0.

6) Tekanan air lateral akibat gempa

Gaya ini dianggap bekerja pada bangunan pada kedalaman sama dengan setengah dari kedalaman air rata-rata.

Ketinggian permukaan air yang digunakan untuk menentukan kedalaman air rata-rata harus sesuai dengan:

- (1) Untuk arus yang mengalir, ketinggian yang diambil dalam perencanaan adalah melebihi harga rata-rata enam bulan untuk setiap tahun.
- (2) Untuk arus pasang, diambil ketinggian permukaan air rata-rata.

4 Aksi – Aksi Lainnya

- a. Gesekan pada Perletakan
- b. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan beban tetap dan harga rata-rata dari koefisien gesekan (atau kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer).
- c. Pengaruh Getaran

1) Umum

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat diatas jembatan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidaknyamanan.

2) Jembatan

Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan “beban lajur D“, dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum. Walaupun diijinkan terjadi

lendutan statis yang relatif besar akibat beban hidup, perencanaan harus menjamin bahwa syarat-syarat untuk kelelahan bahan dipenuhi.

d. Beban pelaksanaan

Terdiri dari:

- 1) Beban yang disebabkan oleh aktivitas pelaksanaan itu sendiri.
- 2) Aksi lingkungan yang mungkin timbul selama waktu pelaksanaan.

5 Kombinasi Beban

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 2.7

Tabel 2. 7.
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 hidrostatik/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 : BMS 1992

Keterangan:

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

o = memasukkan harga yang sudah diturunkan

6 Tegangan Kerja Rencana

Beban nominal bekerja pada jembatan dan satu faktor keamanan digunakan untuk menghitung besarnya penurunan kekuatan atau perlawanan dari komponen bangunan.

$$S' \leq R'_{WS}$$

dimana:

S' = pengaruh aksi rencana, diberikan dari:

$$S' = \Sigma S$$

dimana:

S = pengaruh aksi nominal

R'_{WS} = perlawanan atau kekuatan rencana diberikan dengan rumus:

$$R'_{WS} = \left(1 + \frac{r_{os}}{100}\right) R_{WS}$$

dimana:

R_{WS} = perlawanan atau kekuatan berdasarkan pada tegangan kerja izin

r_{os} = tegangan berlebihan yang diperbolehkan diberikan.

2.7.2. Struktur Atas (Upper Structure)

Struktur atas merupakan bagian atas suatu jembatan yang berfungsi untuk menampung beban-beban yang ditimbulkan oleh lalu lintas yang kemudian menyalurkannya ke bangunan dibawahnya. Struktur atas jembatan terdiri dari :

1. Sandaran (*Railling*)

Sandaran merupakan pembatas pada pinggiran jembatan, sehingga memberikan rasa aman bagi pengguna jembatan yang melewatinya.

Konstruksi sandaran terdiri dari :

a) Tiang sandaran (*Rail post*)

Tiang sandaran biasanya terbuat dari beton bertulang untuk jembatan dengan girder beton atau profil baja. Sedangkan untuk jembatan rangka baja, tiang sandaran menyatu dengan struktur rangka tersebut.

Tiang sandaran harus direncanakan dengan beban kearah luar yang bekerja pada bagian palang, ditambah beban arah memanjang jembatan yang sama dengan 0,5 kali jumlah tersebut. Tiang sandaran juga harus

direncanakan untuk menahan beban kearah dalam sebesar 0,25 kali beban kearah luar, yang bekerja secara terpisah.

b) Sandaran (*Hand Rail*)

Sandaran biasanya terbuat dari pipa besi, kayu, beton bertulang.

2. Pelat Lantai

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

a) Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri pelat, berat perkerasan, dan berat air hujan

b) Beban hidup

Beban hidup pada pelat lantai dinyatakan dengan beban “T”

3. Gelagar Jembatan

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

a) Beban mati

Beban mati terdiri dari berat sendiri gelagar dan beban-beban yang bekerja di atasnya (pelat lantai jembatan, perkerasan, dan air hujan)

b) Beban hidup

Beban hidup pada gelagar jembatan dinyatakan dengan beban “D” atau beban jalur

2.7.3. Struktur Bawah (Sub Structure)

Bangunan bawah merupakan bagian jembatan yang menerima beban dari bangunan atas ditambah tekanan tanah dan gaya tumbukan dari perlintasan di bawah jembatan, yang kemudian menyalurkannya ke tanah dasar.

Struktur bawah jembatan meliputi :

1. Pangkal Jembatan (Abutment)

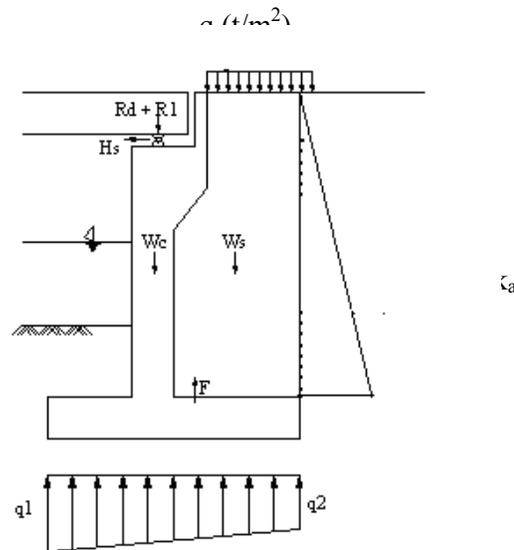
Abutment dan pilar pada dasarnya memiliki fungsi sebagai berikut :

- a. Sebagai penyalur beban dari bagian atas jembatan ke bagian pondasi jembatan.
- b. Apabila kondisi tanah stabil, maka abutment dapat memiliki fungsi sebagai pondasi yang menopang bagian atas jembatan.
- c. Sebagai dinding penahan tanah

Konstruksi abutment harus mampu mendukung beban-beban yang bekerja, yang meliputi :

- a) Beban mati akibat bangunan atas (gelagar jembatan, pelat lantai jembatan, sandaran, perkerasan, dan air hujan)
- b) Beban mati akibat bangunan bawah (berat sendiri abutment, berat tanah timbunan, dan gaya akibat tekanan tanah)
- c) Beban hidup akibat bangunan atas (beban merata dan beban garis)
- d) Beban sekunder (gaya rem, gaya gempa, dan gaya gesekan akibat tumpuan yang bergerak)

Berikut Gambar 2.6 merupakan gambar gaya – gaya yang bekerja pada abutment :



Gambar 2. 6. Gaya-gaya yang Bekerja pada abutment

Keterangan Gambar 2.6:

- R_l = beban hidup akibat bangunan atas (t/m)
- R_d = beban mati akibat bangunan atas (t/m)
- H_s = gaya horisontal akibat beban sekunder (t/m)
- q = beban pembebanan (1 t/m^2)
- P_a = gaya tekanan tanah (t/m)
- W_c = beban mati akibat berat sendiri abutment (t/m)
- W_s = beban mati akibat berat tanah timbunan (t/m)
- F = gaya angkat (t/m)
- q_1, q_2 = reaksi pada tanah dasar (t/m^2)

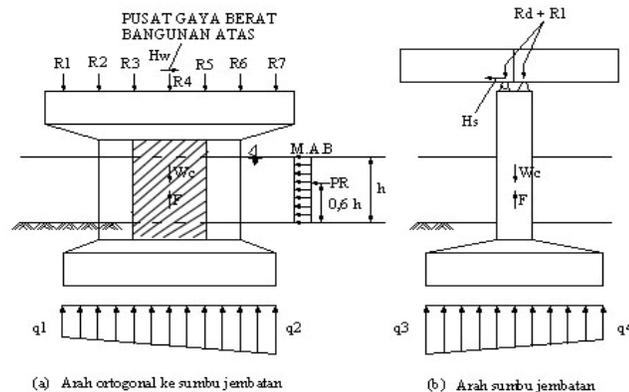
2. Pilar Jembatan

Pilar jembatan berfungsi untuk menyalurkan gaya-gaya vertikal dan horisontal dari bangunan atas pada pondasi.

Konstruksi pilar harus mampu mendukung beban-beban :

- Beban mati akibat bangunan atas (gelagar jembatan, pelat lantai jembatan, sandaran, perkerasan, dan air hujan)
- Beban mati akibat bangunan bawah (berat sendiri pilar jembatan)
- Beban hidup akibat bangunan atas (beban merata dan beban garis)
- Beban sekunder (gaya rem, gaya gempa, gaya akibat aliran air dan tumbukan benda-benda hanyutan)

Berikut Gambar 2.7 merupakan gaya – gaya yang bekerja pada pilar jembatan:



Gambar 2. 7. Gaya-gaya yang bekerja pada pilar jembatan

Keterangan Gambar 2.7 :

(a) Arah ortogonal ke sumbu jembatan

R_1 - R_7 : reaksi balok utama (akibat beban hidup dan beban mati dari bangunan atas) (t)

W_c : beban mati akibat berat sendiri pilar (t)

PR : gaya sekunder akibat tekanan air pada pilar (t)

F : gaya angkat keatas (t)

q_1, q_2 : reaksi tanah (t/m^2)

(b) Arah sumbu jembatan

R_d : beban mati akibat kerja bangunan atas (t)

R_l : beban hidup akibat kerja bangunan atas (t)

H_s : gaya horisontal akibat beban sekunder (t)

q_3, q_4 : reaksi tanah (t/m^2)

3. Pondasi

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 :

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

Pondasi yang bisa dipilih dalam suatu perencanaan jembatan adalah:

- a) Pondasi Dangkal (Pondasi Telapak)

Hitungan kapasitas dukung maupun penurunan pondasi telapak terpisah dan diperlukan untuk kapasitas dukung ijin (q_a).

Perancangan didasarkan pada momen-momen tegangan geser yang terjadi akibat tekanan sentuh antara dasar pondasi dan tanah. Oleh karena itu besar distribusi tekanan sentuh pada dasar pondasi harus diketahui. Dalam analisis, dianggap bahwa pondasi sangat kaku dan tekanan pondasi didistribusikan secara linier pada dasar pondasi. Jika resultan berimpit dengan pusat berat luasan pondasi, tekanan dasar pondasi dapat dianggap disebarkan sama ke seluruh luasan pondasi. Pada kondisi ini, tekanan yang terjadi pada dasar pondasi adalah:

$$q = \frac{P}{A}$$

dengan :

q = tekanan sentuh (tekanan pada dasar pondasi, kN/m^2)

P = beban vertikal (kN)

A = luasan dasar pondasi (m^2)

Jika resultan beban-beban eksentris dan terdapat momen lentur yang harus didukung pondasi, momen-momen (M) tersebut dapat digantikan

dengan beban vertikal (P) yang titik tangkap gayanya pada jarak e dari pusat berat pondasi dengan:

$$e = \frac{M}{P}$$

Bila beban eksentris 2 arah, tekanan pada dasar pondasi dihitung dengan persamaan:

$$q = \frac{P}{A} \pm \frac{M_x y_0}{I_x} \pm \frac{M_y x_0}{I_y} \dots\dots\dots \text{persamaan *}$$

Dengan :

q = tekanan pada dasar pondasi pada titik (x₀,y₀)

P = jumlah tekanan

A = luas dasar pondasi

M_x,M_y = berturut-turut, momen terhadap sumbu x, sumbu y

I_x,I_y = momen inersia terhadap sumbu x dan sumbu y.

x₀ = jarak dari titik berat pondasi ketitik dimana tegangan kontak dihitung sepanjang respektif sumbu y.

y₀ = jarak dari titik berat pondasi ketitik dimana tegangan kontak dihitung sepanjang respektif sumbu x.

Untuk pondasi yang berbentuk persegi panjang, persamaan * dapat diubah menjadi:

$$q = \frac{P}{A} \left[1 \pm \frac{6e_L}{L} \pm \frac{6e_B}{B} \right]$$

dengan e_x=e_L dan e_y=e_B berturut-turut adalah eksentrisitas searah L dan B, dengan L dan B berturut-turut adalah panjang dan lebar pondasi.

Besarnya daya dukung *ultimate* tanah dasar dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_{ult} = c.N_c + \gamma.D_f.N_q + 0,5.\gamma.B.N_\gamma$$

dimana :

σ_{ult} = daya dukung *ultimate* tanah dasar (t/m²)

c = kohesi tanah dasar (t/m²)

- γ = berat isi tanah dasar (t/m^3)
 B = lebar pondasi (meter)
 D_f = kedalaman pondasi (meter)
 N_γ, N_q, N_c = faktor daya dukung Terzaghi

Besarnya daya dukung ijin tanah dasar :

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{ult}}{SF}$$

dimana :

- σ_{ijin} = daya dukung ijin tanah dasar (t/m^2)
 σ_{ult} = daya dukung *ultimate* tanah dasar (t/m^2)
 SF = faktor keamanan ($SF=3$ biasanya dipakai jika $C > 0$)

Hasil evaluasi terhadap kegagalan yang terjadi pada pondasi dijadikan dasar untuk menentukan langkah-langkah penanganan yang tepat, dengan memperhatikan faktor-faktor keamanan, kenyamanan, kemudahan pelaksanaan, dan ekonomi.

b. Pondasi Dalam

Terdiri dari beberapa macam yaitu :

1) Pondasi sumuran

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

(g) Menentukan daya dukung pondasi:

$$\begin{aligned} \text{Rumus: } P_{ult} &= R_b + R_f \\ &= Q_{db} \cdot A_b + f_s \cdot A_s \end{aligned}$$

dimana:

- P_{ult} = daya pikul tiang
 R_b = gaya perlawanan dasar
 R_f = gaya perlawanan lekat
 Q_{db} = point bearing capacity
 f_s = lekatan permukaan
 A_b = luas ujung (tanah)
 A_s = luas permukaan

(h) Persamaan teoritis

Rumus

$$P_u = nR^2(1,3 * C * N_c + \gamma * D_f * N_q + 0,6 * \gamma * R * N_\gamma) + 2\pi * R * D_f * \alpha * C_s$$

dimana:

- c = kohesi tanah dasar (t/m^2)
 γ = berat isi tanah dasar (t/m^3)
 C_s = rata – rata kohesi sepanjang D_f
 D_f = kedalaman pondasi (meter)
 N_γ, N_q, N_c = faktor daya dukung Terzaghi
 D_f = kedalaman sumur (m)
 R = jari – jari sumuran

2) Pondasi bore pile

- (a) Tekanan konstruksi ke tanah < daya dukung tanah pada dasar sumuran
 (b) Aman terhadap penurunan yang berlebihan, gerusan air dan longsoran tanah
 (c) Diameter bor pile $\geq 0,50$ meter
 (d) Rumus:

$$P_u = \frac{9 * C_b * A_b + 0,5 * \pi * d * C_s * L_s}{F_s}$$

Dimana:

C_b = kohesi tanah pada base

A_b = luas base

d = diameter pile

C_s = cohesion pada selubung pile

L_s = panjang selubung pile

F_s = 2,5 – 4,0

3) Pondasi tiang pancang

Merupakan jenis pondasi dengan tiang yang dipancang ke dalam tanah untuk mencapai lapisan daya dukung tanah rencana dengan ketebalan tanah lunak > 8 meter dari dasar sungai terdalam atau dari permukaan tanah setempat dan dalam hal jika jenis pondasi sumuran diperkirakan sulit dalam pelaksanaan.

Dasar perhitungan dapat didasarkan pada daya dukung persatuan tiang maupun daya dukung kelompok tiang.

Persyaratan teknik pemakaian pondasi jenis ini adalah :

- (a) Kapasitas daya dukung tiang terdiri dari point bearing serta tahanan gesek tiang.
- (b) Lapisan tanah keras berada > 8 meter dari muka tanah setempat atau dari dasar sungai terdalam.
- (c) Jika gerusan tidak dapat dihindari yang dapat mengakibatkan daya dukung tiang dapat berkurang, maka harus diperhitungkan pengaruh tekuk dan reduksi gesekan antara tiang dan tanah sepanjang kedalaman gerusan.
- (d) Jarak as tiang tidak boleh kurang dari 3 kali garis tengah tiang yang dipergunakan.
- (e) Daya dukung ijin dan factor keamanan

Rumus:

$$Q_u = Q_p + Q_s - W_p$$

$$Q_a = \frac{Q_u}{F_k}$$

$$Q_a = \frac{Q_p}{Fk_1} - \frac{Q_s}{Fk_2}$$

Dimana:

Q_u = daya dukung *ultimate* tiang

Q_p = daya dukung ujung (*ultimate*)

Q_s = daya dukung selimut (*ultimate*)

W_p = berat tiang

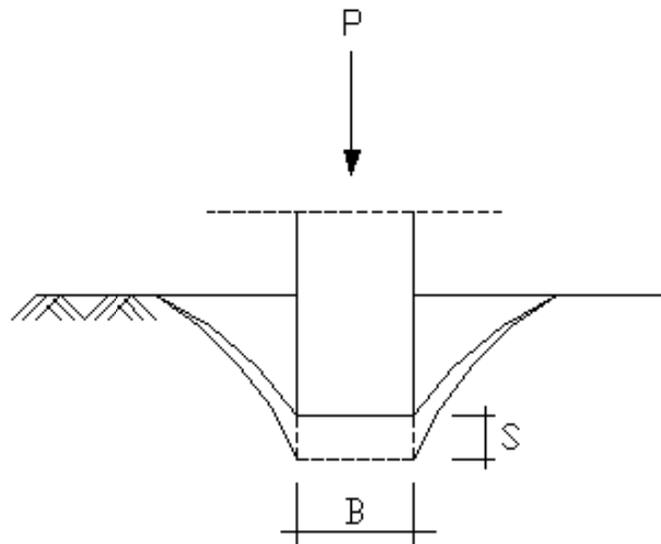
2.7.4. Kondisi Tanah Dasar

Kemampuan tanah dasar dalam mendukung beban pondasi dipengaruhi oleh dua aspek penting, yaitu :

1) Perubahan bentuk tanah dasar

Beban pondasi pada tanah dasar dapat mengakibatkan perubahan bentuk (deformasi) tanah pada segala arah (tiga dimensi), namun untuk menyederhanakan permasalahan ini hanya ditinjau deformasi satu dimensi pada arah vertikal, yaitu penurunan (*settlement*). Penurunan tanah yang cukup besar dan tidak merata dapat menyebabkan terjadinya kegagalan struktur.

Berikut Gambar 2.8 di bawah ini merupakan mekanisme deformasi tanah dasar:



Gambar 2. 8. Mekanisme Deformasi Tanah Dasar

keterangan

P = beban terpusat dari bangunan bawah (ton)

B = lebar pondasi (meter)

S = *settlement* (meter)

2) Kapasitas dukung tanah dasar

Kapasitas dukung tanah dasar (*bearing capacity*) dipengaruhi oleh parameter $\phi, c, \text{ dan } \gamma$. Besarnya kapasitas dukung tanah dasar dapat dihitung dengan metode Terzaghi, yaitu :

$$P_{ult} = A_p \cdot (c \cdot N_c (1 + 0,3B/L) + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (1 - 0,2B/L))$$

dimana :

P_{ult} = daya dukung *ultimate* tanah dasar (t/m^2)

c = kohesi tanah dasar (t/m^2)

γ = berat isi tanah dasar (t/m^3)

$B=D$ = lebar pondasi (meter)

D_f = kedalaman pondasi (meter)

N_γ, N_q, N_c = faktor daya dukung Terzaghi

A_p = luas dasar pondasi

B = lebar pondasi

L = panjang pondasi

2.7.5 Perencanaan Alinyemen Vertikal Oprit

Alinyemen vertikal adalah perubahan dari satu kelandaian ke kelandaian lain dilakukan dengan menggunakan lengkung vertikal. Jenis lengkung vertikal dilihat dari letak titik perpotongan kedua bagian lurus (tangen), yaitu :

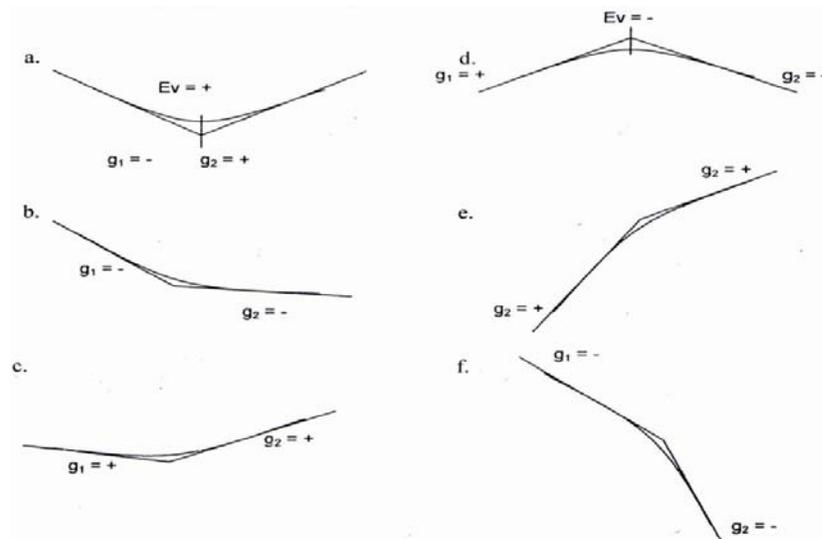
a) Lengkung vertikal cekung

Adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada di bawah permukaan jalan.

b) Lengkung vertikal cembung

Adalah lengkung dimana titik perpotongan antara kedua tangen berada di atas permukaan jalan yang bersangkutan.

Macam – macam lengkung vertikal ini dapat terlihat pada Gambar 2.9. Dengan point a, b, c adalah lengkung vertikal cekung dan point d, e, f adalah lengkung vertikal cembung.



Gambar 2. 9. Macam - Macam Lengkung Vertikal

Besarnya lengkung vertikal adalah :

$$\begin{aligned}
 E_v &= \frac{A \cdot L_v}{800} \\
 &= \frac{|g_2 - g_1|}{800} \cdot L_v
 \end{aligned}$$

Jenis konstruksi perkerasan terdiri atas :

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Bahan pengikat pada konstruksi perkerasan ini adalah aspal dengan sifat lapisan memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Struktur perkerasan lentur terdiri atas :

a. Lapis permukaan (*surface course*)

Fungsi dari lapis permukaan adalah :

1. sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda.
2. sebagai lapis kedap air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca.
3. sebagai lapisan aus.

b. Lapis pondasi (*base course*)

Fungsi dari lapis pondasi adalah :

1. menahan beban roda dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya.
2. sebagai lantai kerja bagi lapis permukaan.
3. sebagai lapis peresapan untuk lapis pondasi bawah.

c. Lapis pondasi bawah (*subsurface course*)

Fungsi dari lapis pondasi bawah adalah :

1. menahan dan menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
2. mencapai efisiensi penggunaan material.
3. sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.
4. mencegah agar tanah dasar tidak masuk ke dalam struktur perkerasan.

d. Tanah dasar (*sub grade*)

Tanah dasar adalah permukaan tanah semula atau permukaan galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk perletakkan bagian perkerasan lainnya. Pematatan harus dilakukan secara baik agar tidak terjadi penurunan yang tidak merata akibat beban lalu lintas.

Data-data yang dibutuhkan untuk perencanaan suatu perkerasan lentur adalah:

- a. Data LHR
- b. CBR tanah dasar
- c. Data untuk penentuan faktor regional

Setelah didapat data – data tersebut diatas maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Menentukan Faktor Regional (FR)

Faktor regional adalah faktor setempat yang menyangkut keadaan lapangan dan iklim, yang dapat mempengaruhi keadaan pembebanan, daya dukung tanah dasar dan perkerasan. Dengan memakai parameter curah hujan, kelandaian jalan dan prosentase kelandaian berat maka didapat nilai FR seperti pada Tabel 2.8 berikut ini :

Tabel 2. 8.
Faktor Regional

Curah Hujan	Kelandaian I (< 6%)		Kelandaian II (6-10%)		Kelandaian III (> 10%)	
	% Kelandaian Berat					
	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%	≤ 30%	> 30%
Iklim I < 900mm/Th	0,5	1,0-1,5	1	1,5-2,0	1,5	2,0-2,5
Iklim II 900mm/Th	1,5	2,0-2,5	2	2,5-3,0	2,5	3,0-3,5

Sumber : *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen '97*

2. Menghitung dan menampilkan jumlah komposisi lalu lintas harian rata-rata LHR awal rencana.
3. Menghitung angka ekuivalen

Yaitu angka yang menyatakan jumlah lintasan sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana.

Harga masing-masing kendaraan dihitung dengan memakai rumus :

- a. Angka ekuivalen sumbu tunggal

$$E = (\text{beban 1 sumbu tunggal} / 8,16)^4$$

b. Angka ekuivalen sumbu ganda

$$E = 0,086 \left(\text{beban 1 sumbu ganda} / 8,16 \right)^4$$

4. Menghitung lintas ekuivalen permulaan

Jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada permulaan umur rencana.

Rumus :

$$LEP = C \times LHR_{\text{awal}} \times E$$

Keterangan :

C = Koefisien distribusi kendaraan

LHR_{awal} = Lalu lintas harian rata-rata pada awal umur rencana

E = Angka ekuivalen untuk setiap jenis kendaraan

5. Menghitung Lintas Ekuivalen Akhir

Jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada akhir umur rencana.

Rumus :

$$LEA = C \times LHR_{\text{akhir}} \times E$$

Keterangan :

C = Koefisien distribusi kendaraan

LHR_{akhir} = Lalu lintas harian rata-rata

E = Angka ekuivalen untuk setiap jenis kendaraan

6. Menghitung Lintas Ekuivalen Tengah

Jumlah lintas ekuivalen harian rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana yang diduga terjadi pada tengah rencana.

Rumus :

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

Keterangan :

LEA = Lintas Ekuivalen Akhir

LEP = Lintas Ekuivalen Permulaan

7. Menghitung Lintas Ekuivalen Rencana (LER)

Suatu besaran yang dipakai dalam nomogram penetapan tebal perkerasan untuk menyatakan jumlah lintas ekuivalen rata-rata dari sumbu tunggal seberat 8,16 ton pada jalur rencana.

Rumus :

$$\begin{aligned} \text{LER} &= \text{LET} \times (\text{UR}/10) \\ &= \text{LET} / \text{FP} \end{aligned}$$

Keterangan :

FP = Faktor penyesuaian

LET = Lintas Ekuivalen Tengah

UR = Umur Rencana

8. Menghitung daya dukung tanah dasar (DDT) dan CBR

Daya dukung tanah dasar (DDT) ditetapkan berdasarkan grafik korelasi. Daya dukung tanah dasar diperoleh dari nilai CBR atau *Plate Bearing Test*, DCP, dll.

Dari nilai CBR yang diperoleh ditentukan nilai CBR rencana yang merupakan nilai CBR rata-rata untuk suatu jalur tertentu dengan cara sebagai berikut :

- a. Tentukan harga CBR terendah.
- b. Tentukan jumlah harga CBR nilai CBR.
- c. Tentukan jumlah harga CBR yang sama atau lebih besar dari masing-masing nilai CBR.

9. Indeks Permukaan

Indeks Permukaan adalah nilai kerataan/kehalusan serta kekokohan permukaan yang bertalian dengan tingkat pelayanan bagi lalu lintas yang lewat.

Besarnya Indeks Permukaan dapat dilihat dalam Tabel 2.9 berikut ini :

Tabel 2. 9.
Indeks Permukaan Pada Akhir Umur Rencana (IP)

LER	Klasifikasi Jalan			
	Lokal	Kolektor	Arteri	Tol
< 10	1,0 - 1,5	1,5	1,5 – 2,0	-
10 - 100	1,5	1,5 – 2,0	2	-
100 - 1000	1,5 - 2,0	2	2,0 – 2,5	-
> 1000	-	2,0 – 2,5	2,5	2,5

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen '97

Sedangkan dalam penentuan indeks permukaan awal umur rencana (IPo) perlu diperhatikan jenis lapis permukaan jalan (kerataan/kehalusan serta kekokohan) pada awal umur rencana. Berikut Tabel 2.10 merupakan Indeks Permukaan pada awal umur rencana :

Tabel 2. 10.
Indeks Permukaan Pada Awal Umur Rencana (I Po)

Jenis Lapis Perkerasan	IPO	Roughness (Mm/Km)
LASTON	≥ 4	≤ 1000
	3,9 – 3,5	> 1000
LASBUTAG	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
HRA	3,9 – 3,5	≤ 2000
	3,4 – 3,0	> 2000
BURDA	3,9 – 3,5	< 2000
BURTU	3,4 – 3,0	< 2000
LAPEN	3,4 – 3,0	≤ 3000
	2,9 – 2,5	> 3000
LATASBUM	2,9 – 2,5	-
BURAS	2,9 – 2,5	-
LATASIR	2,9 – 2,5	-
JALAN TANAH	$\leq 2,4$	-
JALAN KERIKIL	$\leq 2,4$	-

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen '97

10. Menghitung Indeks Tebal Perkerasan (ITP)

Yaitu angka yang berhubungan dengan penentuan tebal perkerasan, Indeks Tebal Perkerasan (ITP) dapat dicari dengan menggunakan nomogram sesuai yang terdapat pada buku petunjuk perencanaan perkerasan jalan metode analisa komponen yang

masing-masing nomogram dipakai berdasarkan nilai IP dan IPo. Berdasarkan CBR tanah dasar, dengan menarik garis lurus antara nilai daya dukung tanah (DDT), dan harga LER maka didapat nilai ITP, kemudian garis dihubungkan lagi dengan nilai faktor regional (FR) sehingga diperoleh ITP.

Rumus :

$$ITP = (a_1 \times D_1) + (a_2 \times D_2) + (a_3 \times D_3)$$

dimana :

a_1, a_2, a_3 = koefisien kekuatan relatif bahan perkerasan

D_1, D_2, D_3 = tebal minimum masing-masing perkerasan.

Koefisien kekuatan relatif dapat dilihat pada Tabel 2.11 berikut ini:

Tabel 2. 11.
Koefisien Kekuatan Relatif (a)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg)	CBR (%)	
0,4	-	-	744	-	-	Laston
0,35	-	-	590	-	-	
0,32	-	-	454	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	
0,35	-	-	744	-	-	Lasbutag
0,31	-	-	590	-	-	
0,28	-	-	454	-	-	
0,26	-	-	340	-	-	
0,3	-	-	340	-	-	HRA
0,26	-	-	340	-	-	Aspal Macadam
0,25	-	-	-	-	-	Lapen (Mekanis)
0,2	-	-	-	-	-	Lapen (Manual)
-	0,28	-	590	-	-	Laston atas
-	0,26	-	454	-	-	
-	0,24	-	340	-	-	
-	0,23	-	-	-	-	Lapen (Mekanis)
-	0,19	-	-	-	-	Lapen (Manual)
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dg semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,15	-	-	22	-	Stab. Tanah dg semen
-	0,13	-	-	18	-	
-	0,14	-	-	-	100	Batu Pecah (klas A)
-	0,13	-	-	-	80	Batu Pecah (klas B)
-	0,12	-	-	-	60	Batu Pecah (klas C)

Koefisien Kekuatan Relatif			Kekuatan Bahan			Jenis Bahan
a1	a2	a3	MS (kg)	Kt (kg)	CBR (%)	
-	-	0,13	-	-	70	Sirtu / pitrun (klas A)
-	-	0,12	-	-	50	Sirtu / pitrun (klas B)
-	-	0,11	-	-	30	Sirtu / pitrun (klas C)
-	-	0,1	-	-	20	Tanah / Lempung kepasiran

Sumber : Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen '97

2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku merupakan pelat beton tipis yang di cor diatas suatu campuran pondasi. Bahan pengikat pada perkerasan kaku adalah *Portland Cement* dengan sifat lapisan plat beton sebagai pemikul sebagian besar beban lalu lintas.

Tebal perkerasan dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

- Menghitung LHR hingga akhir umur rencana
- Menghitung jumlah kendaraan niaga

$$JKN = 365 \times JKNH \times R$$

Keterangan :

JKN : Jumlah Kendaraan Niaga

JKNH : Jumlah Kendaraan Niaga Harian

R : Faktor pertumbuhan lalu lintas yang besarnya tergantung pada faktor pertumbuhan lalu lintas tahunan (i) dan umur rencana (n)

$$(1) R = \frac{(1+i)^M - 1}{e \log(1+i)} \rightarrow \text{Untuk } i \text{ konstan selama umur rencana (n) } i \neq 0$$

$$(2) R = \frac{(1+i)^M - 1}{e \log(1+i)} + (n-m)(1-i)^{m-1} \rightarrow \text{Setelah } m \text{ tahun}$$

pertumbuhan lalu lintas tidak terjadi lagi

$$(3) R = \frac{(1+i)^M - 1}{e \log(1+i)} + \frac{(1+i)^m [(1+i)^{n-m} - 1]}{e \log(1-i)} \rightarrow \text{Setelah waktu tertentu}$$

pertumbuhan lalu lintas berbeda dengan sebelumnya.

n tahun pertama $\rightarrow 1, i \neq 0$

m tahun pertama $\rightarrow 1, i \neq 0$

- c. Menghitung prosentase masing-masing kombinasi konfigurasi beban sumbu terhadap jumlah sumbu kendaraan niaga harian (JSKNH).
- d. Hitung jumlah repetisi kumulatif tiap-tiap kombinasi konfigurasi/beban sumbu pada jalur rencana.

$$\text{JSKN} \times \% \text{JSKNH}_i \times C \times \text{FK}$$

Keterangan :

JSKN = Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga

JSKNH = Jumlah Sumbu Kendaraan Niaga Harian

JSKNHi = Kombinasi terhadap JSKNH

C = Koefisien distribusi

FK = Faktor keamanan beban sumbu yang sesuai dengan penggunaan jalan

Faktor koefisien distribusi (C) dapat dilihat pada Tabel 2.14

Tabel 2. 12.
Koefisien Distribusi

Jumlah Lajur	Kendaraan Niaga	
	1 Arah	2 Arah
1 Lajur	1	1
2 Lajur	0,7	0,5
3 Lajur	0,5	0,475
4 Lajur	0,5	0,45
5 Lajur	0,5	0,425
6 Lajur	0,5	0,40

Sumber : SKBI 2.3.28.1998

Untuk Faktor Keamanan beban sumbu yang sesuai dengan pengguna jalan besarnya adalah :

- 1) Jalan tol : FK = 1.20
- 2) Jalan Arteri : FK = 1.10
- 3) Kolektor/lokal : FK = 1.00

- e. Kekuatan tanah dasar/ *Subgrade* yaitu dengan menghitung modulus reaksi subgrade = $k_{rencana}$

$$kr = \bar{k} - 2S \quad \rightarrow \text{Jalan Tol}$$

$$kr = \bar{k} - 1.64S \quad \rightarrow \text{Jalan Arteri}$$

$$kr = \bar{k} - 1.28S \quad \rightarrow \text{Jalan Kolektor/lokal}$$

$$FK = \frac{S}{\bar{k}} \times 100\% \quad \rightarrow \text{FK : Faktor keseragaman} < 25\%$$

$$\bar{k} = \frac{\sum k}{n} \quad \rightarrow \text{Modulus reaksi tanah dasar rata-rata dalam suatu seksi jalan}$$

$$S = \sqrt{\frac{n(\sum k^2) - (\sum k)^2}{n(n-1)}} \quad \rightarrow \text{Standar deviasi}$$

Keterangan :

kr = Modulus reaksi tanah dasar yang mewakili satu seksi

\bar{k} = Modulus reaksi tanah dasar rata-rata dalam suatu seksi jalan

k = Modulus reaksi tanah dasar tiap titik di dalam seksi jalan

n = Jumlah data k

- f. Menghitung Kekuatan Beton

Kekuatan beton untuk perancangan tebal perkerasan beton semen untuk masing – masing standar yang berlaku yaitu :

$$\text{SNI T-15-1991-03} : f_r = 0,7\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

$$\text{ACI 318-83} : f_r = 0,62\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

f_r = Kuat lentur tarik beton (MPa)

f'_c = Kuat tekan karakteristik beton usia 28 hari (MPa)

- g. Perencanaan Tulangan dan sambungan

Dalam merencanakan tulangan dan sambungan, perlu diperhatikan jenis perkerasan kakunya.

Berikut cara perhitungan tulangan berdasarkan masing- masing jenis perkerasan kaku :

1. Penulangan pada perkerasan beton bersambung

$$A_s = \frac{1200 \times F_x \times L \times h}{f_s}$$

Keterangan :

A_s = Luas tulangan yang dibutuhkan cm^2/m lebar

F = Koefisien gesek antara pelat beton dengan pondasi di bawahnya

L = Jarak sambungan (m)

h = Tebal pelat yang ditinjau

f_s = Tegangan tarik baja (kg/cm^2)

Bila $L \leq 13 \text{ m} \rightarrow A_s = 0,1 \% \times h \times b$

2. Penulangan pada perkerasan beton menerus

$$P_s = \frac{100 \cdot f_b}{(f_y - n f_b)} (1,3 - 0,2 F)$$

Keterangan :

P_s = Prosentase tulangan memanjang terhadap penampang beton

f_b = Kuat tarik beton (0,4 – 0,5 MR)

f_y = Tegangan leleh baja

n = $E_y/E_b \rightarrow$ modulus elastisitas baja/beton

F = Koefisien gesek antara pelat dan pondasi

$P_s \text{ min} = 0,6 \%$

h. Kontrol terhadap jarak retakan kritis

Dalam perencanaan perkerasan kaku sangat mungkin terjadinya retakan pada plat beton. Untuk itu jarak antar retakan kritisnya dihitung dengan cara :

$$L_{cr} = \frac{f_b^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_p (S \cdot E_b - f_b)}$$

Keterangan :

L_{cr} = Jarak antara retakan teoritis

f_b = Kuat tarik beton (0,4 – 0,5 MR)

- n = $E_y/E_b \rightarrow$ modulus elastisitas baja/beton
- p = Luas tulangan memanjang (m^2)
- u = $4/d$ (Keliling/Luas tulangan) $\rightarrow \frac{\pi d}{\frac{1}{4}\pi d^2}$
- fp = Tegangan lekat antara tulangan dengan beton
- = $2,16\sqrt{\frac{\sigma_{bk}}{d}}$
- S = Koefisien susut beton (400×10^6)
- Eb = Modulus elastisitas beton = $16600\sqrt{\sigma_{bk}}$

