

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 TINJAUAN UMUM

Pembahasan tentang dasar-dasar teori dari berbagai pustaka adalah sangat penting yang nantinya akan menunjang dan mengarahkan penulis untuk menyusun suatu Tugas Akhir, sehingga dalam penyusunannya penulis mendapatkan pedoman dan perumusan perencanaan serta tidak menyimpang terlalu jauh dari apa yang akan dibahas.

Sedangkan didalam suatu perencanaan jembatan terdapat beberapa aspek penunjang yang mempengaruhi tahap-tahap perencanaannya, diantara aspek-aspek tersebut antara lain :

1. Aspek topografi
2. Aspek lalu lintas
3. Aspek Hidrologi
4. Aspek tanah
5. Aspek pemilihan alternatif bangunan jembatan
6. Aspek pendukung lainnya

2.2 ASPEK TOPOGRAFI

Topografi dalam arti luas adalah permukaan tanah, atau dapat diartikan sebagai ketinggian suatu tempat yang dihitung dari permukaan air laut sehingga dapat diketahui elevasi tanah aslinya. Untuk memperkecil biaya pembangunan, suatu standar perlu disesuaikan dengan keadaan topografinya.

Sedangkan macam-macam jenis medan dibagi dalam tiga golongan umum yang dibedakan menurut besarnya lereng melintang dalam arah kurang lebih tegak lurus sumbu jalan raya. Klasifikasi medan dan besarnya lereng melintang menurut "Peraturan Perencanaan Geometrik Jalan Raya" No.13/ 1970 adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Klasifikasi Medan

NO	KLASIFIKASI MEDAN	LERENG MELINTANG (%)
1	Datar (D)	0 – 9,9
2	Perbukitan (B)	10 – 24,9
3	Pegunungan (G)	> 25,0

2.3 ASPEK LALU LINTAS

Dalam perencanaan jembatan, lebar jembatan sangat dipengaruhi oleh arus lalu lintas yang melintasi jembatan tersebut. Biasanya diukur dengan interval waktu yang diperhitungkan terhadap Lalu lintas Harian Rata-rata/ LHR maupun dalam satuan mobil penumpang / smp (*Passenger Car Unit / PCU*). Dalam penentuan LHR / volume yang lewat jembatan kali tuntang diambil beberapa analisa, antara lain dari data lalu lintas jalan yang lewat jembatan tersebut.

2.3.1 Nilai Konversi Kendaraan

Nilai konversi merupakan koefisien yang digunakan untuk mengekivalensi berbagai jenis kendaraan ke dalam satuan mobil penumpang (smp), dimana nilai konversi dari berbagai jenis kendaraan yang biasa digunakan oleh PU adalah menurut "Peraturan Perencanaan Geometrik Jalan Raya" No.13/1970 khusus jalan-jalan di daerah datar adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Ekivalen Mobil Penumpang (emp)

NO	JENIS KENDARAAN	EMP
1	Sepeda	0,5
2	Mobil penumpang/ sepeda motor	1
3	Truk ringan (berat kotor < 5ton)	2
4	Truk sedang (berat kotor > 5ton)	2,5
5	Bus	3
6	Truk besar (berat kotor > 10ton)	3
7	Kendaraan tak bermotor	7

2.3.2 Kelas Jalan dan Kelas Jembatan

Jalan dibagi dalam kelas-kelas yang penetapannya didasarkan pada kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas yang dinyatakan dalam Muatan Sumbu Terberat (MST) dalam satuan ton. Di dalam buku "*Tata Cara*

Perencanaan Geometrik untuk Jalan Antar Kota tahun” DPU 1997, klasifikasi dan fungsi jalan dibedakan seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.3 Klasifikasi Menurut Kelas Jalan

FUNGSI	KELAS	MUATAN SUMBU TERBERAT (TON)
Arteri	I	> 10
	II	10
	III A	8
Kolektor	III A	8
	III B	8

Atau kelas dan klasifikasi jalan berdasarkan volume lalu lintas harian rata-rata (smp) menurut *“Peraturan Perencanaan Geometri Jalan Raya”* No.13/1970, kelas dan fungsi jalan diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 2.4 Klasifikasi dan Fungsi Jalan

NO	KLASIFIKASI FUNGSI	KELAS	LHR (SMP)
1	Utama/primer	I	> 20000
		II A	6000 - 20000
2	Sekunder	II B	1500 – 8000
		II C	< 2000
3	Penghubung	III	-

Standar-standar geometrik di atas juga diterapkan untuk jembatan-jembatan yang terletak pada jalan tersebut. Sedangkan kelas-kelas jembatan yang umum di Indonesia menurut *“Standard Steel Bridging For Indonesia”* PU Bina Marga Republik Indonesia, adalah:

Tabel 2.5 Kelas Jembatan

KELAS	LEBAR PERKERASAN (m)	LEBAR TROTOAR (m)	PEMBEBANAN BINA MARGA (%)
A	7 m	2*1 m	100
B	6 m	2*0,5 m	70
C	4,5 m	2*0,5 m	50

2.3.3 Lebar Jalan dan Lebar Jembatan

Lebar jalan adalah lebar daerah kendaraan yang diberi perkerasan, sedangkan lebar jalan terdiri dari beberapa lebar lajur lalu lintas. Menurut *“Peraturan Perencanaan Geometri Jalan Raya”* No.13/ 1970, lebar lajur lalu

lintas normal adalah 3,50 m, kecuali jalan penghubung dan kelas IIC yang cukup menggunakan lebar lajur lalu lintas sebesar 3,00 m dan jalan-jalan raya utama yang memerlukan lebar lajur yang harus sesuai untuk lalu lintas yang sangat cepat dan sesuai dengan standar internasional, yaitu sebesar 3,75 m.

Sedangkan kebutuhan lajur menurut “*Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*” 1987 adalah seperti tabel berikut:

Tabel 2.6 Jumlah lajur Lalu Lintas

NO	LEBAR LANTAI KENDARAAN	JUMLAH LAJUR LALU LINTAS
1	5,50 sampai 8,25 m	2
2	Lebih dari 8,25 m sampai dengan 11,25 m	3
3	Lebih dari 11,25 m sampai dengan 15,00 m	4
4	Lebih dari 15,00 m sampai dengan 18,75 m	5
5	Lebih dari 18,75 m sampai dengan 32,50 m	6

Catatan : Daftar tersebut di atas hanya digunakan dalam menentukan jumlah lajur pada jembatan.

Menurut BMS 1992, lebar jembatan tidak boleh kurang dari lebar jalan pada oprit jembatan.

2.4 ASPEK HIDROLOGI

Dalam perencanaan jembatan, bentang dan ketinggian jembatan sangat dipengaruhi oleh aspek hidrologi, misalnya kondisi aliran sungai, potongan melintang sungai, debit banjir sungai, kedalaman penggerusan dasar sungai (*scouring*) dan lain-lain. Dengan mengetahui hal tersebut kemudian dapat direncanakan :

1. *Freeboard* jembatan dari muka air banjir tertinggi
2. Bentang ekonomis jembatan
3. Desain struktur bagian bawah (abutment, pilar dan pondasi)

2.4.1 Perhitungan Debit banjir Rencana

Ada beberapa metode untuk memperkirakan laju aliran puncak/ debit banjir, metode yang dipakai pada suatu lokasi lebih banyak ditentukan oleh ketersediaan data. Debit banjir rencana dapat ditentukan berdasarkan data curah hujan dan debit limpasan pada suatu bendungan, yang nantinya untuk mendimensi penampang sungai dan *Freeboard* jembatan dari muka air banjir tertinggi.

2.4.1.1 Debit Banjir Rencana Berdasarkan Curah hujan

Besarnya debit banjir rencana dapat ditentukan oleh besarnya curah hujan, waktu terjadinya hujan, luas daerah aliran sungai dan karakteristik daerah aliran sungai tersebut. Data curah hujan didapatkan dengan cara pengukuran dengan alat khusus pengukur hujan (otomatis, biasa dan dengan radar) lalu dilihat intensitasnya, sedangkan untuk menghitung hujan daerah aliran dari hujan lokal biasanya memakai metode rata-rata aljabar (untuk daerah datar) karena hasilnya lebih obyektif.

Untuk menghitung debit banjir rencana berdasarkan curah hujan dapat digunakan rumus metode *Rational* seperti pada buku "*Engineering Hydrology, Second Edition*" K. Subramanya dan buku "*Dasar-Dasar Hidrologi*" Ersin Seyhan, yaitu sebagai berikut :

1. Debit Banjir

$$Q_{tr} = 0,277 * C * I * A \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (\text{Rasiona Mulvaney 1850})$$

2. Intensitas Hujan

$$I = \frac{R}{24} * \left[\frac{24}{T_c} \right]^{0,67} \quad \text{mm/j} \quad (\text{Rasional Mononobe})$$

3. *Time Concentration*/ waktu pengaliran

$$T_c = 0,01947 * L^{0,77} * S^{-0,385} \quad \text{menit} \quad (\text{Kirpich 1940})$$

Dimana: T_c = Waktu pengaliran (jam)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

Q_{tr} = Debit banjir rencana (m^3/s)

A = Luas daerah aliran sungai/ DAS (km^2)

C = Koefisien *run off*

Besar kecilnya nilai koefisien *run off* dipengaruhi oleh kondisi topografi dan perbedaan tata guna lahan pada daerah tersebut. Nilai koefisien *run off* menurut Dr.Mononobe dalam buku "*Hidrologi untuk Pengairan*" Ir.Suyono Sosrodarsono, untuk berbagai tata guna lahan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.7 Koefisien Limpasan (*Run Off*)

NO	KONDISI DAERAH DAN PENGALIRAN	KOEFISIEN LIMPASAN
1	Daerah pegunungan yang curam	0,75 – 0,90
2	Daerah pegunungan tersier	0,70 – 0,80
3	Tanah bergelombang dan hutan	0,50 – 0,75
4	Tanah dataran yang ditanami	0,45 – 0,60
5	Persawahan yang diairi	0,70 – 0,80
6	Sungai di daerah pegunungan	0,75 – 0,85
7	Sungai kecil di dataran	0,45 – 0,75
8	Sungai besar yang lebih dari setengah daerah pengalirannya terdiri dari daratan	0,50 – 0,75

2.4.1.2 Debit Banjir Rencana Berdasarkan Data Debit Limpasan

Besar debit banjir sungai dapat ditentukan oleh besarnya debit limpasan pada suatu bendungan. Dalam hal ini harus didapatkan data debit yang cukup panjang secara statistik dan probabilitistik, yang nantinya dapat langsung dipergunakan metode analisa frekuensi dengan tidak meninjau kejadian curah hujannya. Akan tetapi bila data debit banjir rencana tidak ada atau kurang panjang perlu dikumpulkan data curah hujannya.

Dalam statistik dikenal beberapa parameter distribusi yang berkaitan dengan analisa data seperti simpangan baku, koefisien variasi dan koefisien *skewness*. Parameter distribusi ini digunakan untuk perhitungan estimasi debit banjir pada periode ulang tertentu dari data hujan atau data debit banjir maksimum tahunan yang ada. Berikut rumus-rumus parameter distribusi :

- a. Standar deviasi/ simpangan baku

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

- b. Nilai rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Dimana: X_i = Nilai kejadian/ variabel ke-i

n = Jumlah kejadian/ variabel

Distribusi frekuensi yang digunakan untuk analisa debit banjir adalah distribusi *Gumbell* yakni dengan rumus seperti pada buku “*Engineering Hydrology, Second Edition*” K. Subramanya:

$$X_T = \bar{X} + (K * S_n)$$

Faktor frekuensi K untuk harga-harga ekstrim *Gumbell* dapat dinyatakan dalam

persamaan:
$$K = \frac{Y_T - \bar{Y}_n}{S_n}$$

$$Y_T = -\left(\ln * \ln \frac{T}{T-1} \right)$$

Dimana: Y_T = *Reduce variate*, tergantung dari T

\bar{Y}_n = *Reduce mean*, tergantung jumlah sampel (n) lihat tabel lampiran

S_n = *Reduce standard deviation*, tergantung jumlah sampel (n)

lihat tabel lampiran

T = Periode ulang (tahun)

2.4.2 Analisa Debit Penampang

Setelah debit banjir rencana didapatkan, kemudian akan di analisa dimensi penampang basah sungainya yakni untuk mengetahui tinggi muka air banjir tertinggi pada periode ulang tertentu yang nantinya berguna untuk penentuan *Freeboard* jembatan. Rumus-rumus yang dipakai adalah:

1. Kecepatan aliran

$$V = 72 * \left[\frac{H}{L} \right]^{0,6} \quad \text{m/s} \quad (\text{Mononobe-Rziha})$$

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad \text{m/s} \quad (\text{Manning})$$

2. Analisa Debit Penampang

$$Q = A * V \quad \text{m}^3/\text{s}$$

Dimana : V = Kecepatan aliran (m/s)

H = Selisih elevasi antara daerah tangkapan tertinggi dengan daerah tangkapan terendah pada suatu daerah aliran sungai (m)

L = Panjang aliran (m)

Q = Debit banjir (m³/s)

A = Luas penampang basah (m²)

R = Radius hidrolis penampang = A/K (m)

K = Keliling basah penampang (m)

S = Kemiringan dasar sungai = H/L

n = Koefisien kekasaran (Manning)

Koefisien Manning tergantung dari kekasaran dinding saluran:

Tabel 2.8 Koefisien Manning

DINDING SALURAN	KONDISI	n
Pasangan batu	-Plesteran semen halus	0,010
	-Plesteran semen dan pasir	0,012
	-Beton lapis baja	0,012
	-Beton lapis kayu	0,012
	-Batu bata kosong yang baik kasar	0,015
	-Pasangan batu,keadaaan jelek	0,020
Batu kosong	-Halus,dipasang rata	0,013
	-Batu bongkaran,batu pecah,batu belah dipasang dalam semen	0,017
	-Kerikil halus,padat	0,020
Tanah	-Rata dalam keadaan baik	0,020
	-Dalam keadaan biasa	0,0225
	-Dengan batu-batu dan tumbuhan	0,025
	-Dalam keadaan jelek	0,035
	-Sebagian terganggu oleh batu-batu dan tumbuhan	0,050

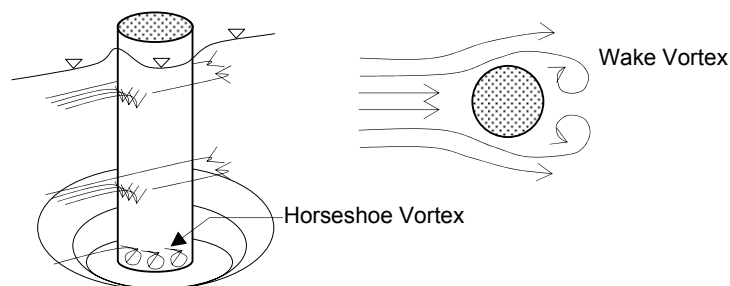
2.4.3 Perhitungan Kedalaman Penggerusan (*scouring*)

Kerusakan pada jembatan akibat banjir sebagian besar disebabkan oleh arus akibat pengurangan luas penampang sungai karena adanya bangunan bangunan jembatan ditengah-tengah arus (abutmen dan pilar), dan hampir semua kerusakan pada jembatan tetap disebabkan oleh perubahan dasar sungai atau penggerusan setempat.

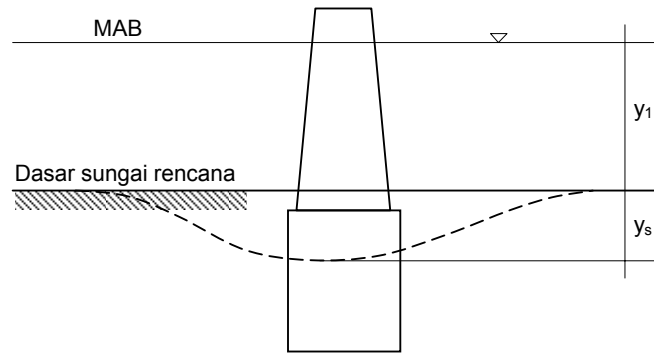
Menurut teori Richardson dan Davis 1995 dalam buku “*Hydraulic Design Handbook*” oleh Larry W.Mays, penggerusan setempat (*local scouring*) pada bangunan jembatan, disebabkan oleh pusaran arus berbentuk sepatu kuda yang mengelilingi sekitar badan bangunan tepatnya di dasar sungai. Pusaran tersebut akan menggerakkan material dasar dan membawanya ketempat lain, hal ini terjadi karena transportasi material dasar yang keluar lebih besar daripada transportasi material yang tetap ditempatnya, sehingga timbulah lobang *scouring*.

Terdapat faktor-faktor yang dapat mempengaruhi penggerusan setempat di sekitar pilar dan abutmen yaitu:

1. Kecepatan aliran (m/dt)
2. Kedalaman aliran (m)
3. Debit rencana (m^3/dt)
4. Lebar hidung bangunan jembatan (m)
5. Panjang bangunan jembatan, jika menceng dari aliran (m)
6. Ukuran dan gradasi material dasar (mm)
7. Sudut balik aliran terhadap bangunan jembatan (derajad)
8. Bentuk hidung penampang bangunan jembatan
9. Susunan kondisi dasar



Gambar 2.1 Skema Penggambaran Penggerusan pada Pilar Silinder



Gambar 2.2 Skema Kedalaman Penggerusan Lokal

Rumus yang dipakai adalah:

$$\frac{y_s}{y_1} = 2,0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * \left(\frac{a}{y_1}\right)^{0,65} * Fr^{0,43}$$

Dimana: y_s = Kedalaman penggerusan maksimum (m)

y_1 = Kedalaman dasar aliran (m)

K_1 = Faktor koreksi bentuk hidung pilar

K_2 = Faktor koreksi sudut balik aliran

K_3 = Faktor koreksi kondisi dasar

K_4 = Faktor koreksi ukuran material dasar

a = Lebar hidung pilar (m)

Fr = Bilangan *Froude* disekitar pilar

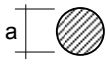
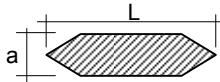
$$= \frac{V_1}{(g * y_1)^{0,5}}$$

V_1 = Kecepatan aliran disekitar pilar (m/dt)

g = Percepatan gravitasi (m/dt²)

Tabel 2.9 Faktor Koreksi Bentuk Hidung Pilar (K_1)

BENTUK HIDUNG PILAR	GAMBAR	K_1
Persegi		1,1
Bulat		1,0

Bundar		1,0
Lancip		0,9

Tabel 2.10 Faktor Koreksi Sudut Balik Aliran (K_2)

SUDUT	L/a=4	L/a=8	L/a=12
0	1,0	1,0	1,0
15	1,5	2,0	2,5
30	2,0	2,75	3,5
45	2,3	3,3	4,3
90	2,5	3,9	5,0

Tabel 2.11 Faktor Koreksi Kondisi Dasar (K_3)

KONDISI DASAR	TINGGI PASIR (m)	K_3
<i>Clear - water scour</i>	<i>Not aplicable</i>	1,1
<i>Plane bed and antidune flow</i>	<i>Not aplicable</i>	1,1
<i>Small dunes</i>	$3 > H > 0,6$	1,1
<i>Medium dunes</i>	$9 > H > 3$	1,2 – 1,1
<i>Large dunes</i>	$H > 9$	1,3

Tabel 2.12 Faktor Koreksi Ukuran Material Dasar (K_4)

UKURAN MINIMUM MATERIAL DASAR (mm)	NILAI K_4 MINIMUM	$V_R > 1,0$
$D_s > 0,06$	0,7	1,0

2.5 ASPEK TANAH

Tinjauan aspek tanah pada perencanaan jembatan meliputi tinjauan terhadap data-data tanah seperti nilai kohesi, sudut geser tanah, berat jenis tanah, nilai CBR (*California Bearing Ratio*), kadar air tanah dan *void ratio*, agar dapat ditentukan jenis bangunan bawah yang digunakan, kedalaman, serta dimensinya. Selain itu data-data tanah tersebut juga dapat untuk menentukan jenis perkuatan tanah dan kesetabilan lereng guna mendukung keamanan dari struktur yang dibuat.

Perencanaan pondasi mulai dari pemilihan tipe pondasi, kedalaman pondasi dan dimensi pondasi ditentukan oleh kondisi tanah dan besarnya pembebanan yang bekerja pada struktur, selain itu perencanaan pondasi dipengaruhi sifat, kegunaan dan pemeliharaan jembatan itu sendiri.

Dalam perencanaan pondasi, besaran tanah yang diperhitungkan adalah daya dukung tanah dan letak lapisan tanah terkeras. Daya dukung tanah yang telah dihitung harus lebih besar daripada beban ultimit yang telah dihitung terhadap faktor keamanan. Kedalaman tanah terkeras diperoleh dari serangkaian tes diantaranya tes sondir dan tes bor, dari kedua tes tersebut dapat diketahui kedalaman tanah terkeras yang selanjutnya digunakan untuk menentukan jenis pondasi.

Untuk perencanaan Abutmen dan dinding penahan tanah ditentukan oleh besar kecilnya sudut geser tanah, nilai kohesi, berat jenis tanah untuk tekanan horisontal dan gaya akibat berat tanah yang bekerja pada struktur tersebut.

Tekanan tanah dihitung dari data *soil properties* yang ada dengan cara analisis dan grafis. Gaya berat tanah ditentukan dengan menghitung volume tanah di atas Abutmen dikalikan dengan berat jenis tanah dari data *soil properties*.

Tinjauan terhadap Oprit/ jalan penghubung antara jalan utama dengan jembatan, terdiri dari beberapa lapisan yakni: *base coarse*, *subbase coarse* dan *surface coarse*, dimana tebal tiap lapisan tergantung dari nilai CBR.

2.6 ASPEK STRUKTURAL

Aspek struktural di sini berisi tentang perencanaan jembatan rangka baja dengan menggunakan konsep desain LRFD (*Load and Resistant Factor Design*). Desain LRFD merupakan konsep baru dalam desain struktur, konsep desain ini pertama kali diperkenalkan di Amerika pada tahun 1986 dengan terbitnya AISC-LRFD. Di Indonesia khususnya untuk desain jembatan, konsep tersebut mulai dipakai tahun 1992 dengan ditandainya kerjasama antara Dinas Pekerjaan Umum dengan *Australian International Development Assistance Bureau* dengan keluarnya Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan atau lebih dikenal dengan nama *Bridge Management System* (BMS 1992).

Menurut para ahli, konsep ini lebih rasional karena antara lain menggunakan angka keamanan (faktor beban) yang berbeda untuk setiap macam beban, dan kekuatan penampang (faktor resistensi/ reduksi) yang berbeda untuk setiap kondisi pembebanan. Konsep ini merupakan teori kekuatan batas (*Limit State Design*) yakni perencanaan pada pembebanan sesaat sebelum terjadi keruntuhan dengan batasan mencapai tegangan leleh (σ_y), sedangkan untuk analisa strukturnya dapat dipakai analisa elastis (jika penampang profil baja tidak kompak) dan analisa plastis (jika penampang profil baja kompak).

2.6.1 Pembebanan Struktur Pada Desain LRFD

Penentuan beban desain LRFD yang bekerja pada struktur jembatan ini disesuaikan dengan “*Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*” (PPTJ) 1992 atau yang lebih dikenal sebagai “*Bridge Management System*” (BMS) 1992, ada dua kategori aksi berdasarkan lamanya beban bekerja :

a. Aksi tetap atau beban tetap

Merupakan aksi yang bekerja sepanjang waktu dan bersumber pada sifat bahan, cara jembatan dibangun dan bangunan lain yang mungkin menempel pada jembatan.

b. Aksi transien atau beban sementara

Merupakan aksi yang bekerja dengan jangka waktu yang pendek, walaupun mungkin sering terjadi.

Menurut BMS 1992, beban dibedakan menjadi :

1. Beban Permanen :
 - Beban sendiri
 - Beban mati tambahan
2. Susut dan rangkak
3. Tekanan tanah
4. Beban lalu lintas
5. Beban lingkungan, dan lain-lain.

2.6.1.1 Beban Permanen

1. Beban Sendiri

Beban sendiri dari bagian bangunan yang dimaksud adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural yang dipikulnya, atau berat sendiri adalah berat dari bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen non struktural yang dianggap tetap. Berat isi dari berbagai bahan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.13 Berat Isi untuk Berat Sendiri

BAHAN	BERAT/SATUAN ISI kN/m³
Aspal Beton	22,0
Beton Bertulang	25,0
Baja	77,0
Air Murni	9,8

Sumber : BMS 1992

2. Beban Mati Tambahan

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

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

2.6.1.2 Beban Lalu Lintas

1. Beban Kendaraan Rencana

a. Aksi kendaraan

Beban kendaraan terdiri dari tiga komponen :

- Komponen vertikal
- Komponen rem

- Komponen sentrifugal (untuk jembatan melengkung)

b. Jenis kendaraan

Beban lalu lintas untuk rencana jembatan jalan raya terdiri dari pembebanan lajur “D” dan pembebanan truk “T”. Pembebanan lajur “D” ditempatkan melintang pada lebar penuh dari jalur lalu lintas pada jembatan dan menghasilkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan rangkaian kendaraan sebenarnya. Jumlah total pembebanan lajur “D” yang ditempatkan tergantung pada lebar jalur pada jembatan. Pembebanan truk “T” adalah kendaraan berat tunggal (*semitriller*) dengan tiga gandar yang ditempatkan dalam kedudukan jembatan pada jalur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari dua pembebanan bidang kontak yang dimaksud agar mewakili pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” yang boleh ditempatkan per spasi lajur lalu lintas rencana.

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

2. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri dari :

- a. Beban terbagi rata (UDL) dengan intensitas q kPa, dengan q tergantung pada panjang yang dibebani total (L) sebagai berikut :

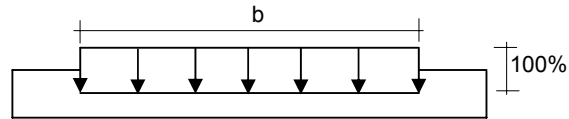
$$L \leq 30 \text{ m} \quad q = 8,0 \text{ kPa}$$

$$L \geq 30 \text{ m} \quad q = 8,0 * \left[0,5 + \frac{15}{L} \right] \text{ kPa}$$

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 UDL ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas.

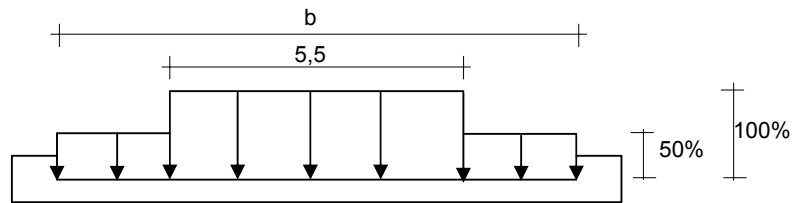
- b. Beban garis (KEL) sebesar p kN/m, ditempatkan pada kedudukan sembarang sepanjang jembatan dan tegak lurus pada arah lalu lintas.

Besar $P = 44,0 \text{ kN/m}$. Pada bentang menerus, KEL ditempatkan dalam kedudukan lateral sama yaitu tegak lurus arah lalu lintas pada dua bentang agar momen lentur negatif menjadi maksimum.



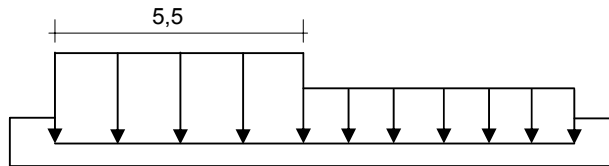
Intensitas beban

“b” kurang dari 5,5 m



Intensitas beban

“b” lebih dari 5,5 m

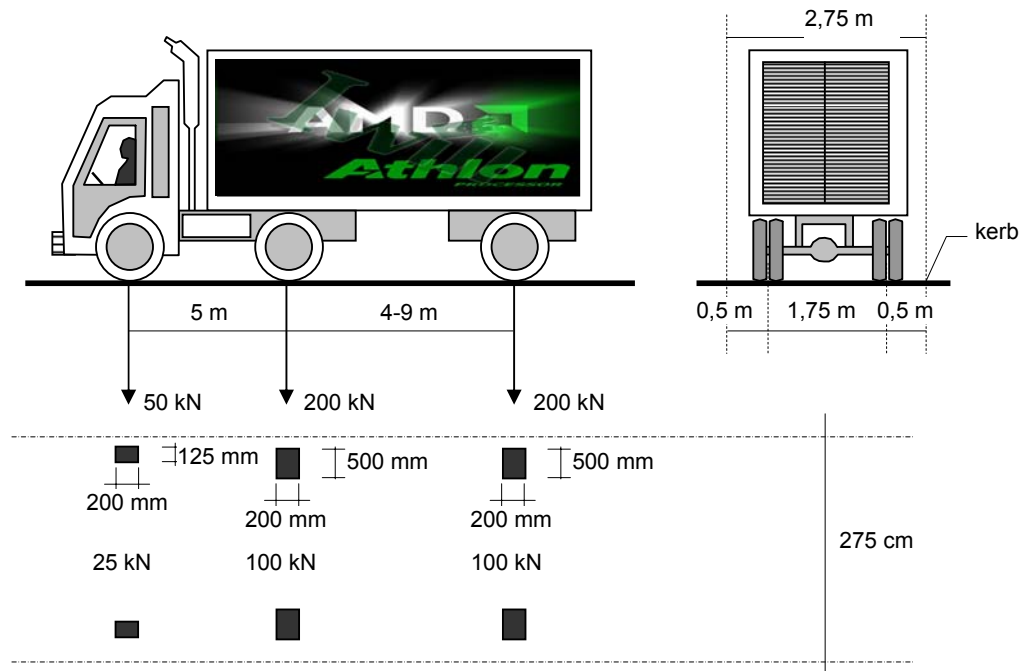


Penempatan alternatif

Gambar 2.3 Skema Penyebaran Muatan “D”

3. Beban Truk “T”

Hanya satu truk yang harus ditempatkan dalam tiap lajur lalu lintas rencana untuk panjang penuh dari jembatan. Truk “T” harus ditempatkan di tengah lajur lalu lintas. Lajur-lajur ini ditempatkan dimana saja antara kerb. Untuk lebih jelasnya lihat gambar berikut :



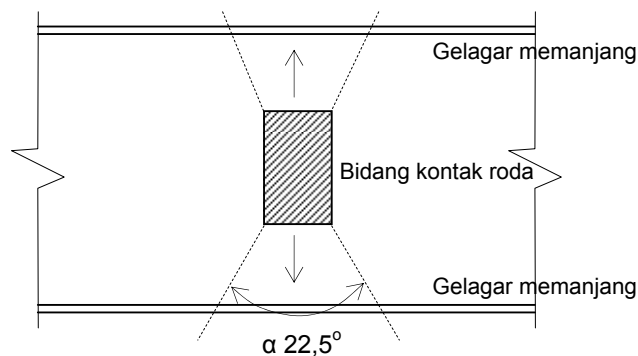
Gambar 2.4 Penyebaran Beban Truk T

a. Lantai beton

Untuk analisa lengkap dari lantai beton, beban-beban terpusat dapat dianggap disebar pada sudut 45° dari permukaan lantai sampai kedalaman sebesar setengah tebal pelat. Pembebanan dapat disebar merata pada luas penyebaran tersebut.

b. Lantai baja gelombang terisi beton

Pasal ini berlaku pada lantai jembatan dari pelat baja gelombang terisi beton, dimana beban ditahan oleh pelat baja pada lentur. Beban roda harus disebar pada gelagar berdekatan dengan sudut penyebaran $22,5^\circ$, lihat gambar berikut:



Gambar 2.5 Penyebaran Beban Roda Dalam Lantai Baja

Atau menyebar beban “T” pada gelagar memanjang dengan faktor distribusi sebagai berikut:

Tabel 2.14 Faktor Distribusi untuk Pembebanan Truk “T”

JENIS BANGUNAN ATAS	JEMBATAN JALUR TUNGGAL	JEMBATAN JALUR MAJEMUK
Pelat lantai beton: - balok baja I atau balok beton pratekan - balok beton bertulang - balok kayu	S/4,2 S/4,0 S/4,8	S/3,4 S/3,6 S/4,2
Lantai papan kayu	S/2,4	S/2,2
Lantai baja gelombang tebal 50 mm atau lebih	S/3,3	S/2,7
Kisi-kisi baja: - kurang dari tebal 100 mm - tebal 100 mm atau lebih	S/2,6 S/3,6	S/2,4 S/3,0

- Catatan:
1. Dalam hal ini beban pada tiap balok memanjang adalah reaksi beban roda dengan menganggap lantai antara gelagar sebagai balok sederhana
 2. S adalah jarak rata-rata antara balok memanjang (m)
 3. Balok geser dihitung untuk beban roda dengan reaksi 2S yang disebarkan oleh S/faktor > 0,5

4. Faktor Beban Dinamik

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

Tabel 2.15 Nilai Faktor Beban Dinamik

BENTANG EKIVALEN L_E (m)	DLA
$LE \leq 50$	0,4
$50 < LE < 90$	$0,525 - 0,0025 LE$
$LE \geq 90$	0,3

Sumber : BMS 1992

Catatan : 1. Untuk bentang sederhana $L_E =$ Panjang bentang aktual

2. Untuk bentang menerus $L_E = \sqrt{L_{rata-rata} \cdot L_{maksimum}}$

5. Gaya Rem

Pengaruh gaya rem dan percepatan lalu lintas harus dipertimbangkan sebagai gaya memanjang, gaya ini tidak tergantung pada lebar jembatan sesuai dengan tabel berikut untuk panjang struktur yang tertahan.

Tabel 2.16 Gaya Rem

PANJANG STRUKTUR (m)	GAYA REM (kN)
$L \leq 80$	250
$80 < L < 180$	$2,5 L + 50$
$L \geq 180$	500

Sumber : BMS 1992

Catatan : Gaya rem U.L.S. adalah 2,0 Gaya rem S.L.S

6. Beban Pejalan Kaki

Intensitas beban pejalan kaki untuk jembatan jalan raya tergantung pada luas beban yang dipikul oleh unsur yang direncanakan. Bagaimanapun, lantai dan gelagar yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk 5 kPa. Intensitas beban untuk elemen lain, diberikan dalam tabel berikut :

Tabel 2.17 Intensitas Beban Pejalan Kaki untuk Trotoir Jembatan Jalan Raya

LUAS TERPIKUL OLEH UNSUR (m ²)	INTENSITAS BEBAN PEJALAN KAKI NOMINAL (kPa)
$A < 10$	5
$10 < A < 100$	$5,33 - A/30$
$A > 100$	2

Bila kendaraan tidak dicegah naik ke kerb oleh penghalang rencana, trotoir juga harus direncanakan agar menahan beban terpusat 20 kN

2.6.1.3 Beban Lingkungan

Yang termasuk beban lingkungan untuk keperluan perencanaan adalah sebagai berikut :

1. Penurunan

Jembatan direncanakan agar menampung perkiraan penurunan total dan diferensial sebagai pengaruh S.L.S.

2. Gaya Angin

Gaya angin pada bangunan atas tergantung pada luas ekuivalen diambil sebagai luas padat jembatan dalam elevasi proyeksi tegak lurus. Untuk jembatan rangka ini, diambil 30% luas yang dibatasi oleh unsur rangka terluar.

Angin harus dianggap bekerja secara merata pada seluruh bangunan atas. Gaya nominal ultimate dan daya layan jembatan akibat angin tergantung kecepatan angin rencana seperti berikut:

$$T_{EW} = 0,0006 * C_W * (V_W)^2 * A_b \quad \text{kN}$$

Dimana: V_W = Kecepatan angin rencana (m/det) untuk keadaan batas yang ditinjau (lihat tabel 2.15)

C_W = Koefisien seret (lihat tabel 2.14)

A_b = Luas koefisien bagian samping jembatan (m^2)

Apabila suatu kendaraan sedang berada diatas jembatan, beban garis merata tambahan arah horisontal harus diterapkan pada permukaan lantai seperti rumus berikut:

$$T_{EW} = 0,0012 * C_W * (V_W)^2 \quad \text{kN/m}, \text{ dimana } C_W = 1,2$$

Tabel 2.18 Koefisien Seret (C_W)

TIPE JEMBATAN	C_W
Bangunan atas masif	2,1 1,5 1,25
Bangunan atas rangka	1,2

Tabel 2.19 Kecepatan Angin Rencana (V_W)

KEADAAN BATAS	LOKASI	
	Sampai 5 km dari pantai	> 5km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

3. Gaya 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.

4. Gaya Akibat Gempa

Pengaruh gempa rencana hanya ditinjau pada keadaan batas ultimate.

Beban Horisontal Statis Ekuivalen

Beban rencana gempa minimum diperoleh dari rumus berikut :

$$T'_{EQ} = K_h * I * W_T$$

$$K_h = C * S$$

Dimana: T'_{EQ} = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (kN)

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)

Untuk mencari koefisien geser dasar C sesuai dengan daerah gempa diperoleh dari tabel, gambar grafik dan peta pada lampiran atau pada BMS 1992.

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

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{W_{TP}}{g * K_p}}$$

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 (bila perlu dipertimbangkan) (kN)

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

Faktor kepentingan I yang nilainya lebih besar memberikan frekwensi lebih rendah dari kerusakan bangunan yang diharapkan selama umur jembatan.

Tabel 2.20 Faktor Kepentingan (I)

KLASIFIKASI	HARGA I MINIMUM
Jembatan memuat lebih dari 2000 kendaraan/hari, jembatan pada jalan raya utama atau arteri dan jembatan dimana tidak ada rute alternatif.	1,2
Seluruh jembatan permanen lainnya dimana rute alternatif tersedia, tidak termasuk jembatan yang direncanakan untuk mengurangi pembebanan lalu lintas	1,0
Jembatan sementara (misal : Bailey) dan jembatan yang direncanakan untuk mengurangi pembebanan lalu lintas	0,8

Sumber : BMS 1992

Tabel 2.21 Faktor Tipe Struktur Jembatan (S)

TIPE STRUKTUR JEMBATAN	FAKTOR TIPE STRUKTUR JEMBATAN		
	Struktur Jembatan Beton atau Baja dengan Sendi	Struktur Jembatan Beton Prategang dengan Sendi	
		Prategang Penuh	Prategang Parsial
Tipe A	1,0 F	1,15 F	1,30 F
Tipe B	1,0 F	1,15 F	1,30 F
Tipe C	3,0 F	3,0	3,0

Sumber : BMS 1992

Keterangan :

F = Faktor jenis rangka

$$= 1,25 - 0,025n ; f \leq 1$$

n = Jumlah sendi plastis yang menahan deformasi arah lateral pada masing-masing bagian monolit dari jembatan yang berdiri sendiri (misalnya bagian-bagian yang dipisahkan oleh *expansion joint*) yang memberikan keleluasaan untuk bergerak dalam arah lateral secara sendiri-sendiri.

2.6.2 Kombinasi Beban

Menurut BMS 1992, kombinasi beban dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.22 Kombinasi Beban Umum untuk Keadaan Ultimate

AKSI	ULTIMATE					
	1	2	3	4	5	6
Aksi Permanen :	x	x	x	x	x	x
➤ Berat sendiri						
➤ Berat mati tambahan						
➤ Susut, rangkai						
➤ Pratekan						
➤ Pengaruh beban tetap pelaksanaan						

➤ Penurunan						
➤ Aksi Transien :						
➤ Beban lajur "D" atau beban truk "T"	x	o	o	o		
➤ Gaya rem atau gaya sentrifugal	x	o	o	o		
➤ Beban pejalan kaki		x				
➤ Gesekan perletakan	o	o	o	o		o
➤ Pengaruh suhu	o	o	o	o		o
➤ Aliran/hanyutan/batang kayu dan hidrostatik/apung	o		x	o		o
➤ Beban angin	o		o	x		o
Aksi Khusus :						
➤ Gempa					x	
➤ Beban Tumbukan						
➤ Pengaruh getaran						
➤ Beban pelaksanaan						x
Keterangan :						
'x' berarti beban yang selalu aktif.						
'o' berarti beban yang boleh dikombinasi oleh beban aktif, tunggal atau seperti yang ditunjukkan.						

2.6.3 Faktor Beban

Menurut BMS 1992 faktor beban dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.23 Faktor Beban Keadaan Batas Ultimate

JENIS BEBAN	FAKTOR BEBAN KEADAAN BATAS ULTIMIT	
	Keterangan	Faktor Beban
Berat sendiri	Baja	1,1
	Beton cor ditempat	1,3
Beban mati tambahan	Kasus umum	2,0
	Kasus khusus	1,4
Beban lajur "D"	-	2,0
Beban truk "T"	-	2,0
Gaya sentrifugal		2,0
Beban pejalan kaki	-	2,0
Beban angin	-	1,2
Pengaruh susut	-	1,0
Tekanan tanah	Tekanan tanah vertikal	1,25
	Tekanan tanah lateral	
	- Aktip	1,25
	- Pasip	1,40

	- Diam	1,25
Pengaruh tetap pelaksanaan	-	1,25
Pengaruh suhu	-	1,2
Pengaruh gempa	-	1,0
Gesekan perletakan	-	1,3
Tekanan hidrostatik dan gaya apung	Nilai dalam kurung menunjukkan faktor untuk struktur penahan air dimana beban ini menentukan	1,0 (1,1)
Aliran sungai, hanyutan dan batang kayu	Jembatan besar dan penting (periode ulang 100 tahun)	2,0
	Jembatan tetap (periode ulang 50 tahun)	1,5
	Gorong-gorong (periode ulang 50 tahun)	1,0
	Jembatan sementara (periode ulang 20 tahun)	1,5

2.6.4 Faktor Reduksi

Menurut BMS 1992, faktor reduksi untuk baja adalah:

Tabel 2.24 Faktor Reduksi Kekuatan U.L.S. untuk Baja

SITUASI RENCANA	FAKTOR REDUKSI
Unsur yang memikul lentur	0,90
Unsur yang memikul tekan aksial	0,90
Unsur yang memikul tarik aksial	0,90
Unsur yang memikul aksi kombinasi	0,90
Penghubung geser	1,00
Hubungan baut	0,70
Hubungan las	0,80

Sedangkan faktor reduksi untuk beton menurut SKSNI T15-1991-03 adalah:

Tabel 2.25 Faktor Reduksi untuk Beton

SITUASI RENCANA	FAKTOR REDUKSI
Beban lentur	0,80
Gaya tekan aksial	0,80
Gaya tarik aksial	0,65
Gaya lintang dan torsi	0,60

2.6.5 Kekuatan Penampang

Kekuatan penampang sangat dipengaruhi oleh kelangsingannya, dimana kelangsingan (λ) penampang itu adalah ukuran dari kecenderungan untuk menekuk pada lentur atau beban aksial atau kombinasi keduanya. Suatu unsur dengan kelangsingan besar akan lebih mudah menekuk dibanding unsur dengan kelangsingan kecil. Berikut rumus kelangsingan menurut BMS1992:

$$\lambda = \left(\frac{b}{t}\right) * \sqrt{\frac{f_y}{250}}$$

dimana: b = Lebar bersih dari elemen pelat tekan kearah luar dari permukaan elemen pelat pendukung (mm)

t = Tebal elemen (mm)

f_y = Tegangan leleh elemen (Mpa)

Tabel 2.26 Nilai Batas Kelangsingan Elemen Pelat

DESKRIPSI	UJUNG-UJUNG DIDUKUNG	TEGANGAN SISA	BATAS PLASTIS λ_p	BATAS LELEH λ_y
Tekanan merata	Satu	HR	9	16
Tekana maksimum pada ujung tidak didukung, tekanan nol atau tarikan pada ujung didukung	Satu	HR	9	25
Tekanan merata	Dua	HR	30	45
Tekanan pada satu ujung, tarikan pada ujung lain	Dua	Any/ tiap	82	115
Penampang bulat berongga	-	HR,CF	50	120

Catatan HR= Hot Rolled sumber BMS 1992

2.6.5.1 Penampang Non Komposit

Yaitu penampang suatu unsur yang hanya mempunyai satu sifat bahan (baja atau beton saja) yang digunakan untuk menahan tegangan-tegangan yang terjadi akibat beban yang bekerja.

1. Kekuatan Unsur Terhadap Lentur

a. Kekuatan lentur yang dipengaruhi oleh tekuk lokal/kelangsingan

Kekuatan unsur terhadap momen lentur ultimit rencana (M_u) tergantung pada tekuk setempat dari elemen pelat yang membentuk penampang unsur. Dapat ditentukan dengan rumus $M_u \leq \phi * M_n$.

Jika unsur berpenampang kompak, yakni penampang yang mampu mengembangkan kekuatan lentur plastis penuh dan memikul pengaruh persendian plastis tanpa menekuk, atau dengan persyaratan $\lambda \leq \lambda_p$, maka besarnya momen nominal adalah sama dengan momen plastis ($M_n = M_p$). Besarnya momen plastis sendiri (buku “*metode plastis, analisa dan desain*” Wahyudi, Sjahril A. Rahim) adalah :

$$M_p = Z * f_y$$

$$Z = f * S$$

Dimana : Z = Modulus plastis penampang (mm^3)

f = Faktor bentuk penampang (penampang I – $f = 1,12$)

S = Modulus elastis penampang (mm^3)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan bahan

M_u = Momen ultimit unsur (Nmm)

M_n = Momen nominal penampang (Nmm)

b. Kekuatan lentur yang dipengaruhi oleh tekuk lateral

Kekuatan unsur terhadap momen lentur ultimit rencana (M_u) juga dipengaruhi oleh tekuk lateral dari suatu unsur. Yaitu kekuatan lentur unsur dengan atau tanpa penahan lateral penuh. Dapat ditentukan dengan rumus $M_u \leq \phi * M_n$.

Jika menggunakan penahan lateral penuh atau sebagian seperti penahan lateral menerus atau penahan lateral antara, dengan persyaratan

$\frac{L}{r_y} \leq (80 + 50 * \beta_m) * \sqrt{\frac{250}{f_y}}$ (penampang I dengan *flens* sama), maka besarnya

momen nominal adalah sama dengan momen plastis ($M_n = M_p$).

Dimana : L = Jarak penahan lareral antara (mm)

$$r_y = \text{Jari-jari girasi terhadap sumbu lemah (y)} = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$\beta_m = -1,0 \text{ atau } -0,8$$

2. Kekuatan Unsur badan

Kekuatan unsur terhadap gaya geser ultimit rencana (V_u) ditentukan oleh ketahanan badan seperti kekuatan geser badan. Dapat dinyatakan dengan rumus:

$$V_u \leq \phi * V_n$$

Jika unsur berpenampang kompak $\lambda_w \leq 82$ maka $V_n = V_w$

$$V_w = 0,6 * f_y * A_w \quad (\text{BMS 1992})$$

Dimana : V_u = Kekuatan geser ultimit unsur (N)

V_n = Kekuatan geser nominal penampang (N)

V_w = Kekuatan geser nominal badan (N)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan bahan

A_w = Luas elemen badan (mm^2)

λ_w = Kelangsingan badan

3. Kekuatan Unsur Terhadap Tekan

Unsur yang memikul gaya tekan cukup besar dapat runtuh dalam salah satu dari dua cara yakni tekuk setempat dari elemen pelat yang membentuk penampang melintang dan tekuk lentur dari seluruh unsur. Rumus-rumusny adalah:

$$N_u \leq \phi * N_n \quad (1)$$

$$N_u \leq \phi * N_c \quad (2)$$

$$N_n = K_f * A_n * f_y$$

$$N_c = \alpha_c * N_n \leq N_s \quad (\text{BMS 1992})$$

Dimana : N_u = Kapasitas tekan aksial terfaktor (N)

N_n = Kapasitas tekan aksial nominal penampang (N)

N_c = Kapasitas tekan aksial unsur (N)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan bahan

α_c = Faktor reduksi kelangsingan unsur (tabel BMS 1992)

A_n = Luas penampang bersih (mm^2)

K_f = Faktor bentuk = $\frac{A_e}{A_g}$, untuk penampang kompak $K_f=1$

4. Kekuatan Unsur Terhadap Tarik

Kekuatan unsur terhadap gaya tarik ultimit rencana (N_u) ditentukan oleh persyaratan sebagai berikut:

$$N_u \leq \phi * N_t$$

$$\text{Nilai } N_t \text{ diambil terkecil dari } N_t = A_g * f_y \quad (\text{BMS1992})$$

$$N_t = 0,85 * k_t * A_n * f_u$$

Dimana : N_u = Gaya tarik aksial terfaktor (N)

N_t = Gaya tarik aksial nominal penampang (N)

ϕ = Faktor reduksi kekuatan bahan

A_g = Luas penampang penuh (mm^2)

A_n = Luas penampang bersih (mm^2)

f_u = Tegangan tarik/ putus bahan (Mpa)

f_y = Tegangan leleh bahan (Mpa)

k_t = Faktor koreksi untuk pembagian gaya

= Untuk hubungan yang simetris $k_t = 1$

= Untuk hubungan yang asimetris $k_t = 0,85$ atau $0,9$

= Hubungan penampang I atau kanal pada kedua sayap $k_t = 0,85$

2.6.5.2 Penampang Komposit

Yaitu penampang suatu unsur yang mempunyai lebih dari satu sifat bahan. Penampang unsur seperti ini terbentuk oleh kerjasama dari dua bahan yang sama maupun berbeda dengan memanfaatkan sifat menguntungkan dari masing-masing bahan tersebut, sehingga kombinasinya akan menghasilkan elemen struktur yang lebih kuat dan efisien, contoh: komposit baja dengan beton, seperti pada struktur kolom komposit, rantai komposit dan balok komposit.

1. Rantai Komposit

Rantai komposit adalah rantai yang terdiri dari dua kekuatan bahan yang berbeda yang berfungsi menahan tegangan lentur akibat bentuk struktur atau beban yang bekerja. Kedua bahan tersebut ada yang menahan tekan maupun tarik yang terjadi pada struktur, misal rantai dari bahan beton dan baja tulangan.

Pada kasus perencanaan jembatan Kali Tuntang Gubug ini lantai jembatan menggunakan bahan beton dan *metal deck*.

Metal deck/ dek baja berfungsi sebagai cetakan/bekisting beton plat lantai permanen sekaligus sebagai penahan lentur atau sebagai tulangan positif searah plat lantai. Menurut AISC dalam pemasangannya terdapat dua cara yaitu:

- a. Gelombang dek tegak lurus balok penumpu, maka:
 - Beton dibawah puncak dek tidak boleh ikut dalam perhitungan sifat penampang komposit, luas penampang pelat beton dan perhitungan jumlah paku/ *stud*.
 - Jarak antara paku/ *stud* arah memanjang balok tidak boleh lebih dari 32 inch.
 - Untuk mencegah *uplift* dek baja harus diikat pada balok dengan jarak maksimum 16 inch. Pengikatan dapat menggunakan paku/ *stud*, baut atau kombinasi paku/ *stud* dan las.
 - Kuat geser paku/ *stud* harus dikalikan dengan faktor reduksi:

$$R_{pe} = \left(\frac{0,85}{\sqrt{N_r}} \right) * \left(\frac{w_r}{h_r} \right) * \left(\frac{H_s}{h_r} - 1 \right) \leq 1,0$$

- b. Gelombang dek sejajar balok penumpu, maka:
 - Beton dibawah puncak dek boleh ikut dalam perhitungan sifat penampang komposit, luas penampang pelat beton dan harus dimasukkan dalam perhitungan jumlah paku/ *stud*.
 - Pemasangan dek baja di atas balok penumpu boleh dipisah, agar penampang luasan beton menjadi lebih besar.
 - Kuat geser paku/ *stud* harus dikalikan dengan reduksi:

$$R_{pa} = 0,60 * \left(\frac{w_r}{h_r} \right) * \left(\frac{H_s}{h_r} - 1 \right) \leq 1,0$$

Dimana: N_r = Jumlah paku/ *stud* (maks 3 buah)

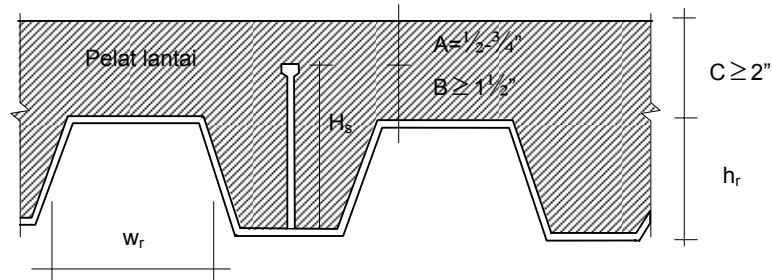
w_r = Lebar rata-rata rusuk (inch)

h_r = Tinggi rusuk (inch)

H_s = Panjang paku/ *stud* terpasang (inch)

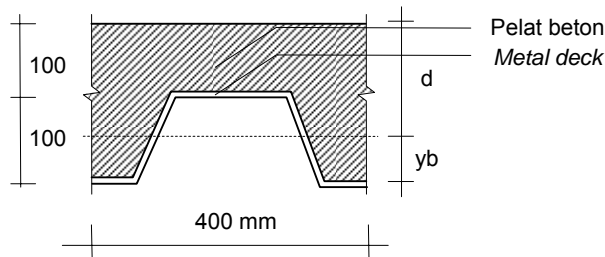
Di dalam buku “*Struktural Steel Designers Handbook Third Edition*” Roger LB, Frederick SM. bahwa tinggi rusuk dek baja adalah 1½, 2 dan 3 inch, akan tetapi dalam keadaan khusus misalnya untuk konstruksi bentang panjang, tinggi rusuk dek baja bisa mencapai ukuran 4, 4½, 6 dan 7½ inch. Berikut beberapa syarat dari ASCE mengenai dek baja untuk komposit :

1. Tebal pelat beton di atas puncak dek minimum 2 inch
2. Tinggi sisa paku/ *stud* di atas puncak dek minimum 1½ inch
3. Tinggi antara kepala paku/ *stud* sampai puncak pelat ½-¾ inch

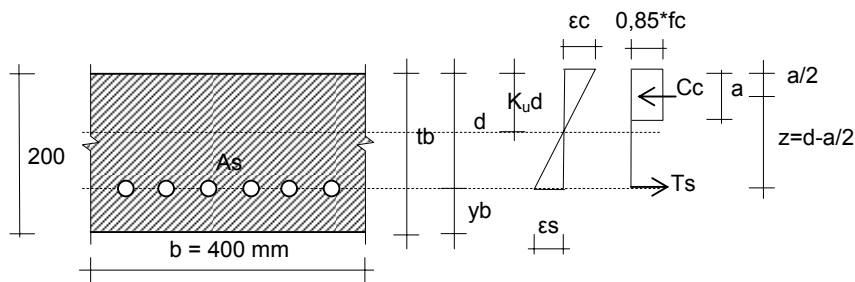


Gambar 2.6 Syarat Penampang Lantai Komposit dengan *Metal deck*

Besarnya momen penampang lantai komposit dengan *metal deck* adalah ($M_u \leq \phi * M_n$):



Gambar 2.7 Penampang Pelat Lantai Per Segmen *Metal Deck*



Gambar 2.8 Diagram Regangan-Tegangan Pelat Lantai

Dimana: d = Tinggi efektif pelat (mm)

y_b = Jarak titik berat *Metal deck* dari serat bawah (mm)

$K_u * d$ = Tinggi daerah tekan pada pelat (mm)

ϵ_c = Regangan tekan beton pada serat atas = 0,003

ϵ_s = Regangan tarik baja = f_y / E_s

a = Tinggi blok tegangan tekan beton = $\gamma * K_u * d$ (mm)

γ = Dari peraturan jembatan
= $0,85 - 0,007 * (f_c - 28)$ dan $0,65 \leq \gamma \leq 0,85$

z = Jarak lengan gaya (mm)

C_c = Gaya tekan beton (N)

T_s = Gaya tarik baja (N)

A_s = Luasan baja (mm²)

ϕ = Factor reduksi kekuatan lentur bahan

M_n = $C_c * z = T_s * z$ (Nmm)

$M_n = T_s * z = A_s * f_y * z$, $z = d - a/2 = d * (1 - 0,5 * \gamma * K_u)$ (Nmm)

$C_c = T_s$ $0,85 * f_c * b * \gamma * K_u * d = A_s * f_y$

$K_u = \frac{1}{0,85} * \frac{A_s}{b * d} * \frac{f_y}{f_c} * \frac{1}{\gamma}$

$M_n = f_y * A_s * d * \left(1 - 0,6 * \frac{A_s}{b * d} * \frac{f_y}{f_c} \right)$

$M_u \leq \phi * M_n$

2. Balok Komposit

Pada kasus perencanaan jembatan Kali Tuntang Gubug ini balok jembatan menggunakan bahan dari profil baja. Untuk balok komposit pelat beton yang berada di atas balok baja bersatu dengan baja untuk menahan beban. Lekatan antara beton dengan baja dapat dipertinggi dengan memasang penghubung geser (*shear connector*) di atas *flange* baja. Diantara keuntungan menggunakan balok komposit adalah:

1. Menghemat penggunaan baja kurang lebih 20%
2. Tinggi balok baja dapat lebih rendah

3. Meningkatkan kekuatan pelat lantai
4. Bentang balok dapat lebih besar

Pelat beton yang bersatu dengan balok baja hanya selebar b_e (lebar efektif) yang ditentukan sebagai berikut (BMS 1992):

Yakni diambil nilai terkecil dari:

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| a. Untuk gelagar tengah | b. Untuk gelagar tepi |
| - $b_e \leq L/5$ | - $b_e \leq (L/10)+c$ |
| - $b_e \leq 12*t_{min}$ | - $b_e \leq 6*t_{min}$ |
| - $b_e \leq A$ | - $b_e \leq (a/2)+c$ |

Dimana A = Jarak antar gelagar (mm)

t_{min} = Tebal pelat lantai minimum (mm)

L = Panjang gelagar (mm)

c = Jarak bebas tepi pelat/ *overhang* (mm)

Desain penampang komposit pada umumnya dapat ditentukan dengan 2 cara yaitu: aksi komposit penuh (*full composit*) dan aksi komposit sebagian (*partial composit*).

a. Distribusi Tegangan Plastis

Dalam konsep desain LRFD penentuan tegangan yang terjadi pada balok komposit terutama yang berpenampang kompak adalah dengan distribusi tegangan plastis. Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah (AISC-LRFD):

1. Cek kekompakan penampang ($\lambda \leq \lambda_p$) idem
2. Menentukan lebar efektif pelat beton (b_e) idem
3. Menghitung gaya tekan (C)

Diambil nilai terkecil dari:

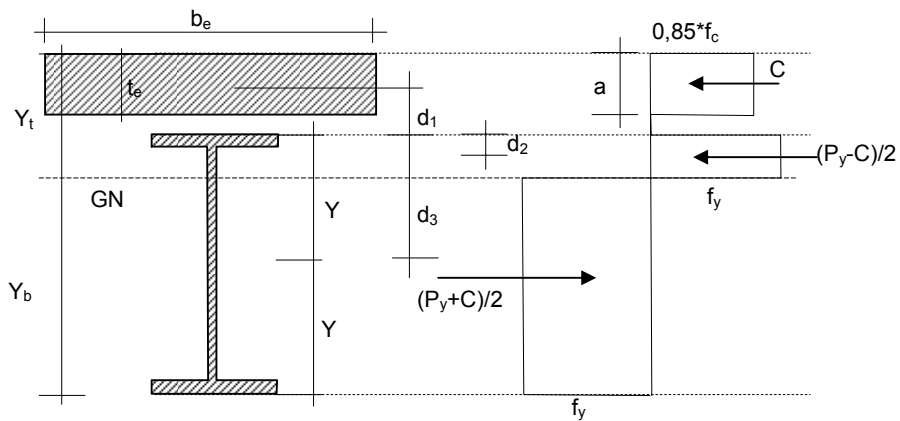
- | | | |
|--------------------|--------------------------|---|
| - Baja | $C_s = A_s * f_y$ | N |
| - Beton | $C_c = 0,85 * f_c * A_c$ | N |
| - Penghubung geser | $C_{sc} = \Sigma Q_n$ | N |

Dimana: A_s = Luas profil (mm²)

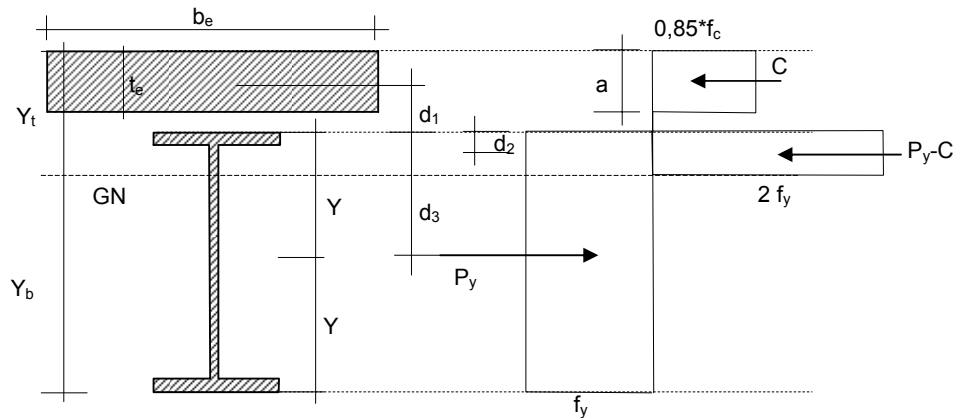
A_c = Luas beton = $b_e * t$ (mm²)

Q_n = Kekuatan nominal penghubung geser (N)

- Untuk komposit penuh nilai C_{sc} tidak menentukan.
- Menentukan letak garis netral penampang komposit
Menurut AISC letak garis netral dapat ditentukan dari hubungan antara C_c , C_s dan kuat leleh badan ($P_{yw} = A_w * f_y$) yaitu:
 - Letak garis netral pada badan baja ($C_c \leq P_{yw}$)
 - Letak garis netral pada tebal sayap baja ($P_{yw} \leq C_c \leq C_s$)
 - Letak garis netral pada plat beton ($C_c \geq C_s$)
 - Menentukan jarak-jarak centroid gaya-gaya yang bekerja
 - d_1 = Jarak dari pusat gaya tekan C ke tepi atas penampang baja (mm)
 - d_2 = Jarak dari pusat gaya tekan di penampang baja ke tepi atas penampang baja (mm), untuk komposit penuh nilai $d_2 = 0$ (baja dianggap tidak ada tekan)
 - d_3 = Jarak dari pusat gaya tarik P_y ke tepi atas penampang baja (mm)Tinggi tekan efektif pada pelat beton ($a = C / (0,85 * f_c * b_e)$) mm
 - Menghitung kapasitas lentur nominal



Gambar 2.9 Distribusi Tegangan Plastis untuk Momen Positif pada Penampang Komposit



Gambar 2.10 Modifikasi Distribusi Tegangan Plastis

Dengan memodifikasi distribusi tegangan plastis di atas diharapkan dapat mempermudah perhitungannya, yaitu dengan rumus :

$$P_y = f_y * A_s \quad \text{N}$$

$$M_n = C * (d_1 + d_2) + P_y * (d_3 - d_2) \quad \text{Nmm}$$

$$M_u \leq \phi * M_n$$

b. *Shear Connector/ Penghubung Geser*

Shear connector digunakan untuk menahan gaya geser horisontal memanjang yang terjadi pada bidang pertemuan pelat beton dengan balok baja. Kekuatan nominal *shear connector* jenis paku/ *stud* adalah (AISC-LRFD):

$$Q_n = 0,5 * A_{sc} * \sqrt{f_c * E_c} \leq A_{sc} * f_u \quad \text{N}$$

$$E_c = 4700 * \sqrt{f_c} \quad \text{Mpa}$$

Dimana: A_{sc} = Luas penampang paku/ *stud* (mm^2)

E_c = Modulus elastis beton (Mpa)

f_u = Tegangan putus (Mpa)

Kalau paku/ *stud* ditanam pada balok komposit yang menggunakan dek baja maka nilai Q_n di atas harus dikalikan dengan sebuah faktor reduksi (R_p) yang besarnya tergantung cara pemasangan dek baja terhadap balok penumpunya, seperti pada penjelasan di atas.

$$\text{Syarat ukuran paku/ stud (AASHTO-LRFD)} = \frac{H_s}{d_s} \geq 4$$

Syarat pemasangan paku/ stud

- AISC: memanjang $6*d_s \leq s \leq 36 \text{ inch}$
melintang $s \geq 4*d_s$ dan max 3 buah stud
- BMS 1992: memanjang $s \leq 600 \text{ mm}$ atau $s \leq 4*H_s$

Dimana: H_s = Tinggi paku/ stud (mm)

d_s = Diameter paku/ stud (mm)

s = Jarak paku/ stud (mm)

Penentuan kapasitas *shear connector* ada 2 cara tergantung desain penampang kompositnya yaitu:

1. Untuk aksi komposit penuh, gaya geser horizontal ditentukan oleh kapasitas tekan beton (C_c) atau kapasitas tarik baja (C_s)

Diambil nilai terkecil dari :

$$C_c = 0,85*f_c*A_c \quad \text{N}$$

$$C_s = A_s*f_y \quad \text{N}$$

$$n = C / (Q_n*R_p)$$

2. Untuk aksi komposit sebagian, gaya geser horizontal ditentukan oleh kapasitas penghubung geser atau beban yang bekerja. Untuk penentuan kapasitas *shear connector* menggunakan rumus penurunan dari item BMS 1992 yang berbunyi: “ ukuran dan jarak antara penghubung geser dapat dipertahankan konstan pada setiap panjang dimana gaya geser rencana maksimum per satuan panjang tidak melebihi kapasitas geser dengan lebih dari 10% ” yaitu:

$$n_n = \frac{D_n - (10\% * D_n)}{Q_n}$$

Dimana: n_n = Jumlah *shear connector* per bagian

Q_n = Kekuatan nominal *shear connector* (N)

D_n = Gaya lintang per bagian (N)

n = Jumlah *shear connector* setengah bentang

$$V_n = n * Q_n \quad \text{N}$$

$$V_u \leq \phi * V_n$$

2.6.6 Hubungan

Elemen hubungan terdiri dari komponen hubungan (pelat penyambung, pelat pertemuan, pelat pendukung, pelat penghubung) dan penghubung (baut, pen, las). Hubungan harus direncanakan sedemikian rupa agar mampu menahan dan menyalurkan semua aksi rencana. Kekuatan rencana tiap elemen tidak boleh kurang dari aksi rencana yang dihitung.

Klasifikasi hubungan ada 2 macam yaitu hubungan konstruksi kaku dan hubungan konstruksi tidak kaku.

2.6.6.1 Hubungan dalam Unsur Utama

Hubungan dan sambungan dalam unsur utama hanya boleh digunakan baut mutu tinggi dalam sambungan gesek, tetapi tidak untuk hubungan unsur sekunder seperti ikatan dan kerangka melintang atau untuk hubungan unsur sekunder dengan unsur utama.

2.6.6.2 Luas Lubang

Dalam menghitung pengurangan akibat lubang pengencang, luas penuh dari lubang dalam bidang sumbunya harus digunakan, ada 2 jenis lubang yaitu:

1. Lubang tidak selang-seling

Untuk lubang yang tidak selang-seling, luas yang dikurangi adalah jumlah maksimum luas lubang dalam tiap penampang melintang tegak lurus pada arah aksi rencana unsur.

2. Lubang selang-seling

Untuk lubang selang-seling, luas yang dikurangi harus yang terbesar dari

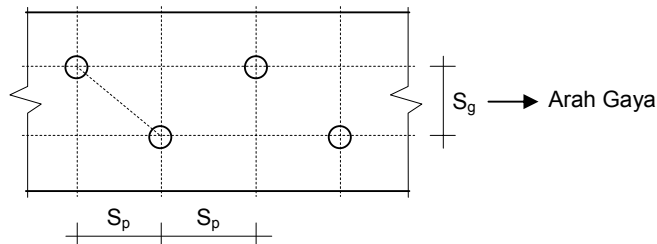
- Pengurangan untuk lubang tidak selang-seling
- Jumlah luas semua lubang dalam tiap garis selang-seling yang menerus melintang unsur.

$$\frac{S_p^2 * t}{4 * S_g}$$

Dimana: S_p = Jarak lubang searah gaya (mm)

S_g = Jarak lubang tegak lurus gaya (mm)

t = Tebal bahan yang dilubangi (mm)



Gambar 2.11 Lubang Selang-seling

2.6.6.3 Perencanaan Baut

- Mutu baut dan luas penampang baut dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 2.27 Mutu Baut

MUTU BAUT	KEKUATAN TARIK MINIMUM/ f_{uf} (Mpa)
4.6	400
8.8	830
10.9	1000

Tabel 2.28 Luas Penampang Baut

DIAMETER NOMINAL BAUT/ d_f (mm)	LUAS BAUT (mm ²)		
	A_c	A_s	A_o
M16	144	157	201
M20	225	245	314
M24	324	353	452
M30	519	561	706
M36	759	817	1016

A_c = Luas inti baut (mm²)

A_s = Luas untuk menghitung kekuatan tarik (mm²)

A_o = Luas nominal polos baut (mm²)

- Kekuatan nominal baut

- Kekuatan geser nominal baut

$$V_f = 0,62 * f_{uf} * k_r * (n_c * A_c + n_o * A_o) \quad N \quad V_u \leq \phi * V_f$$

Bila menggunakan elemen pelat pengisi dengan tebal 6-20 mm, maka kekuatan geser nominal baut harus direduksi dengan 15%.

- Kekuatan tarik nominal baut

$$N_f = A_s * f_y \quad N \quad N_u \leq \phi * N_f$$

- Kekuatan tumpu nominal pelat lapis

$$V_b = 3,2 * d_f * t_p * f_{up} \quad \text{N}$$

Untuk pelat lapis yang memikul komponen gaya yang bekerja menuju suatu ujung, kekuatan tumpu nominal pelat lapis harus nilai terkecil dari rumus di atas dan di bawah ini:

$$V_b = a_e * t_p * f_{up} \quad \text{N} \qquad V_{up} \leq \phi * V_b$$

Dimana: k_r = Faktor reduksi panjang yang dibaut

n = Jumlah bidang geser yang melalui baut

f_{uf} = Kuat tarik minimum baut (Mpa)

f_{up} = Kuat tarik minimum pelat lapis (Mpa)

d_f = Diameter baut (mm)

t_p = Tebal pelat lapis (mm)

a_e = Jarak minimum antara lubang ke ujung pelat lapis (mm)

V_u = Kapasitas geser rencana baut (N)

N_u = Kapasitas tarik rencana baut (N)

V_{up} = Kapasitas tumpu rencana pelat lapis (N)

Tabel 2.29 Faktor Reduksi Panjang Yang Dibaut (k_r)

PANJANG mm	$L_j < 300$	$300 < L_j < 1300$	$L_j > 1300$
k_r	1,0	$1,075 - L_j/4000$	0,75

3. Baut yang memikul kombinasi geser dan tarik

$$\text{Syarat: } \left(\frac{V_u}{\phi * V_f} \right)^2 + \left(\frac{N_u}{\phi * N_{tf}} \right)^2 \leq 1$$

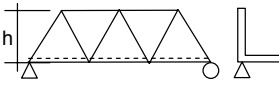
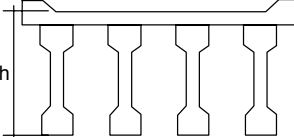
2.7 PERENCANAAN BANGUNAN ATAS

Di sini diuraikan tentang pemilihan alternatif bangunan utama jembatan, dan beberapa dasar perencanaan elemen-elemen dari bangunan atas seperti sandaran, trotoar, pelat lantai jembatan dan lain-lain.

2.7.1 Pemilihan Bangunan Atas/Utama Jembatan

Pada umumnya bangunan atas jembatan untuk jalan raya di Indonesia menggunakan bahan baja dan beton pratekan. Adapun penjelasannya menurut BMS 1992 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.30 Alternatif Bangunan Atas Jembatan di Indonesia

JENIS BANGUNAN ATAS	BANGUNAN ATAS BAJA : RANGKA LANTAI BAWAH PELAT BETON	JEMBATAN BETON PRATEKAN: GELAGAR I DENGAN LANTAI BETON KOMPOSIT DALAM BENTANG MENERUS
Bentuk bentang utama		
Variasi bentang	30-100 m	20-40 m
Perbandingan h/L tipikal tinggi/bentang	1/8 – 1/11	1/17,5
Penampilan	Kurang/fungsional	fungsional

2.7.2 Perencanaan Sandaran

Sandaran merupakan pembatas antara daerah kendaraan dengan tepi jembatan yang berfungsi sebagai pengaman bagi pemakai lalu lintas yang melewati jembatan tersebut. Konstruksi sandaran umumnya terdiri dari :

1. Tiang sandaran (*Raill Post*), biasanya dibuat dari konstruksi beton bertulang untuk jembatan dengan balok girder beton, sedangkan untuk jembatan rangka tiang sandaran menyatu dengan struktur rangka utama.
2. Sandaran (*Hand Raill*), biasanya dari pipa besi, kayu dan beton bertulang.

Menurut BMS 1992 sandaran untuk pejalan kaki harus direncanakan untuk dua pembebanan rencana daya layan yaitu $q=0,75$ kN/m, yang bekerja secara bersamaan dalam arah menyilang dan vertikal pada sandaran serta tidak ada ketentuan beban ultimit untuk sandaran. Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah:

1. Menentukan mutu dan profil sandaran (pipa baja)

2. Menentukan panjang sandaran yang menumpu pada rangka jembatan
3. Menganggap sandaran sebagai konstruksi yang tertumpu menerus di atas beberapa tumpuan
4. Menentukan pembebanan arah Vertikal (qV) dan Horizontal (qH)
5. Analisa struktur (manual atau program)
6. Cek tegangan

- a. Tegangan lentur

$$\sigma = M/W \leq \sigma_{ijin}$$

- b. Tegangan geser

$$\tau = D/A \leq \tau_{ijin} = 0,58 * \sigma$$

dimana:

M = Momen yang terjadi (Nmm)

W = Momen tahanan bahan (mm^3)

D = Gaya lintang yang terjadi (N)

A = Luas penampang bahan (mm^2)

8. Cek kekakuan/lendutan (manual)

$$\bar{\Delta} = \frac{L}{300} \geq \Delta \quad \text{dimana: } \Delta = \text{Lendutan yang terjadi (mm)}$$

$$\bar{\Delta} = \text{Lendutan ijin (mm)}$$

$$\Delta = \frac{q * L^4}{384 * E * I} \quad L = \text{Bentang (mm)}$$

q = Beban merata (N/mm)

E = Modulus elastisitas bahan (Mpa)

I = Momen Inersia (mm^4)

2.7.3 Perencanaan Pelat Lantai

Pelat lantai berfungsi sebagai konstruksi penahan beban lalu lintas terutama beban truk "T". Sistem pelat lantai ada 2 macam yaitu sistem pelat satu arah yaitu rasio antara tumpuan pelat memanjang dengan tumpuan pelat melintang > 2 sehingga bisa diasumsikan beban-beban didistribusikan ke tumpuan terdekat/memanjang saja dan yang satunya lagi adalah sistem pelat dua arah yaitu

rasio antara tumpuan pelat memanjang dengan tumpuan pelat melintang ≤ 2 dimana beban-beban akan didistribusikan ke 4 sisi-sisinya yaitu tumpuan melintang dan memanjang seperti sistim amplop.

Menurut BMS 1992 beban pada pelat lantai jembatan berupa beban truk “T” yang merupakan beban roda ganda sebesar 100 kN, dari kendaraan truk *semitriller* yang mempunyai bidang kontak seluas $20 \times 50 \text{ cm}^2$. Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah:

1. Menentukan mutu beton (f_c), mutu baja tulangan dan profil (f_y)
2. Menentukan tebal plat (t) dan dimensi *Metal deck*
3. Menentukan sistim lantai dan asumsi bentuk struktur yang terjadi
4. Menentukan pembebanan pada struktur tersebut
5. Analisa struktur (manual atau program) M_u
6. Cek kapasitas momen penampang ($M_u \leq \phi \cdot M_n$) idem
7. Menghitung tulangan susut (arah x dan y) pada serat atas pelat lantai

Menurut SKSNI T15-1991-03 besar tulangan susut atau pembagi adalah:

Untuk $f_y = 240 \text{ Mpa} : A_s = 25\% \cdot b \cdot h$

Untuk $f_y = 400 \text{ Mpa} : A_s = 18\% \cdot b \cdot h$

2.7.4 Perencanaan Trotoar

Trotoar berfungsi untuk memberikan pelayanan yang optimal kepada pejalan kaki baik dari segi keamanan maupun kenyamanan. Konstruksi trotoar direncanakan sebagai pelat beton yang terletak di atas pelat lantai jembatan bagian tepi, maka penulangan trotoar hanya sebagai penahan susut.

Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah:

1. Menentukan mutu beton (f_c) dan mutu tulangan (f_y) yang dipakai
2. Menentukan dimensi plat trotoar yang direncanakan (h, L, b)
3. Menghitung tulangan susut (arah x dan y) idem

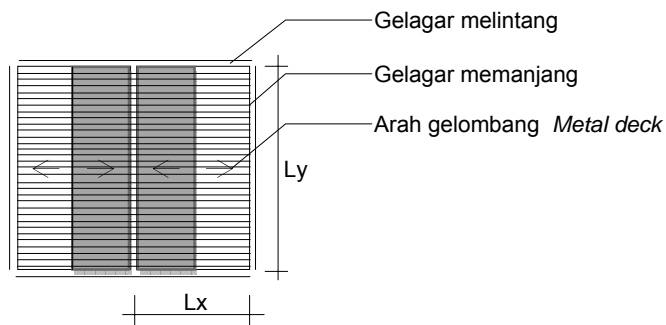
2.7.5 Perencanaan Gelagar Memanjang (Non Komposit)

Gelagar memanjang berfungsi menahan beban pelat lantai, beban perkerasan, beban air hujan, beban *Metal deck*, beban lalu lintas “D” dan tambahan beban truk “T” jika lantainya berupa lantai baja gelombang terisi beton

(BMS 1992), kemudian menyalurkannya ke gelagar melintang. Gelagar ini tidak direncanakan sebagai struktur komposit karena bentangnya pendek ($L=5\text{m}$), namun tetap saja diberikan elemen pengikat (baut) antara *flange* profil gelagar dengan dek baja pada lantai yang berfungsi juga sebagai pengikat lateral gelagar memanjang.

Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah:

1. Menentukan profil yang digunakan beserta mutu bajanya (f_y)
2. Menghitung pembebanan (karena menggunakan *Metal deck* penyaluran bebannya hanya searah yaitu distribusi ke gelagar memanjang saja)



Gambar 2.12 Penyaluran Beban pada Gelagar Memanjang

3. Analisa struktur (momen dan gaya lintang) yang paling menentukan/ terbesar
4. Cek kekompakan penampang (idem)
5. Cek kapasitas lentur dan geser (idem)
6. Cek kekakuan/lendutan (program atau manual)
Lendutan ditinjau pada beban elastis (ASD)

2.7.6 Perencanaan Gelagar Melintang

Karena pelat menggunakan *Metal deck* maka gelagar melintang hanya berfungsi menahan reaksi beban dari gelagar memanjang dan beban KEL (beban garis D) saja, kemudian menyalurkannya ke rangka utama jembatan. Gelagar ini direncanakan sebagai struktur komposit karena bentangnya panjang ($L\pm 9\text{m}$). Ditandai dengan adanya hubungan antara profil gelagar dengan pelat lantai beton berupa paku (*stud*) yang berfungsi sebagai penghubung geser (*shear connector*).

Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah:

1. Menentukan profil yang digunakan beserta mutu bajanya (f_y)
2. Menghitung pembebanan (reaksi beban gelagar memanjang tanpa beban P/KEL dan beban KEL)
3. Analisa struktur (momen dan gaya lintang)
4. Cek kapasitas momen positif pada penampang komposit dengan distribusi tegangan plastis (idem)
5. Cek terhadap kapasitas geser (idem)
6. Cek kekakuan/ lendutan (idem)
7. Menghitung *shear connector* (idem)

2.7.7 Perencanaan Ikatan Angin

Ikatan angin berfungsi untuk menahan gaya yang diakibatkan oleh tekanan angin samping, sehingga struktur dapat lebih kaku. Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah:

1. Menentukan profil yang digunakan beserta mutu bajanya (f_y)
2. Menghitung pembebanan akibat tekanan angin yang terjadi (seperti penjelasan awal BMS 1992), semua beban dikonversikan per joint/ simpul ikatan angin.
3. Menghitung gaya-gaya batang (manual atau program)
4. Menentukan batang tekan atau batang tarik
5. Cek kekuatan/ tegangan dan kelangsingan (idem)
6. Menghitung alat penyambung

2.7.8 Perencanaan Rangka Baja

Rangka baja berfungsi menahan semua beban yang bekerja pada bangunan atas jembatan dan menyalurkannya pada tumpuan/abutmen untuk disalurkan ke tanah dasar melalui pondasi.

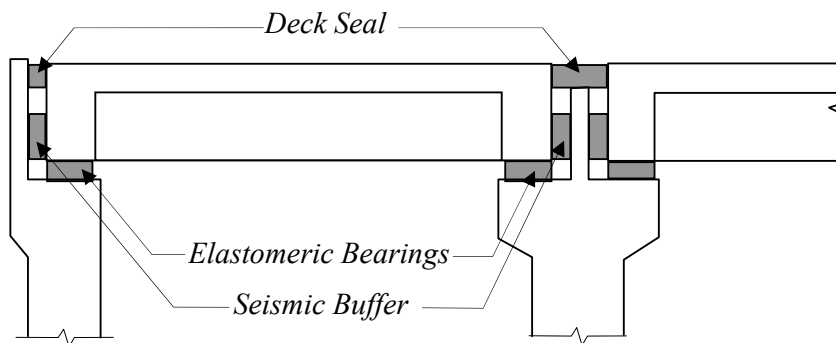
Adapun langkah-langkah perencanaannya adalah:

1. Menentukan profil yang digunakan beserta mutu bajanya (f_y)
2. Menghitung pembebanan yang terjadi:

- a. Beban mati berupa berat sendiri profil, beban trotoir, beban pelat lantai, beban perkerasan, beban gelagar-gelagar, beban ikatan angin, dan lain-lain
 - b. Beban hidup berupa beban “D”
 - c. Beban akibat tekanan angin
 - d. Semua beban dikonversikan per joint/ simpul rangka
3. Menghitung gaya-gaya batang (manual atau program) untuk tiap pembebanan
 4. Menghitung kombinasi beban yang terjadi akibat DD,LL dan WL, ambil gaya yang terbesar untuk batang tekan atau batang tarik
 5. Cek kekuatan/ tegangan (idem)
 6. Menghitung alat penyambung

2.7.9 Andas Jembatan

Merupakan perletakan dari jembatan yang berfungsi untuk menahan beban baik yang vertikal maupun horisontal. Disamping itu juga untuk meredam getaran sehingga abutment tidak mengalami kerusakan. Untuk penjelasan yang lebih lanjut dapat dilihat pada BMS 1992.



Gambar 2.13 Andas Jembatan

2.7.10 Oprit

Oprit adalah jalan pendekat/ peralihan dari jalan raya ke jalan di jembatan, dibangun untuk memberikan kenyamanan bagi pengguna jalan saat

akan lewat jalan di jembatan. Oprit juga dilengkapi dengan dinding penahan. Pada perencanaan oprit, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. Tipe dan kelas jalan ataupun jembatan
- b. Volume lalu lintas
- c. Tebal perkerasan

2.7.11 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan disini yakni pada jalan pendekat/ oprit yang berfungsi:

1. Menyebarkan beban lalu-lintas di atasnya ketanah dasar
2. Melindungi tanah dasar dari rembesan air hujan
3. Faktor kenyamanan bagi pemakai jalan

Ada dua macam perkerasan yang biasa digunakan yaitu perkerasan kaku/ *rigid pavement* dari beton dan perkerasan lentur/ *flexible pavement* dari campuran aspal beton sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapis pondasinya.

2.8 PERENCANAAN BANGUNAN BAWAH

Bangunan bawah pada struktur jembatan seperti pangkal/ *abutment*, pilar/ *peir* dan pondasi adalah berfungsi untuk menahan beban dari struktur atas serta mengadakan peralihan beban tersebut ke tanah dasar. Biasanya bangunan bawah stukturnya bisa dari beton bertulang, beton pratekan atau baja.

2.8.1 Pilar/ Peir

Pilar identik dengan *abutment*, perbedaannya hanya pada letak konstruksinya saja yakni diantara dua *abutment*. Jadi pilar belum tentu ada pada suatu jembatan. Fungsi pilar adalah menyalurkan gaya-gaya vertikal dan horisontal dari bangunan atas ke pondasi. Pada jembatan melintasi sungai/ aliran air bentuk pilar dibuat bulat atau oval.

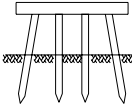
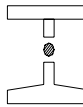
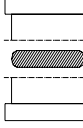
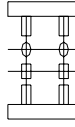
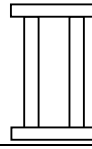
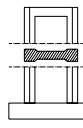
Menurut buku ajar “*Perencanaan Jembatan*” Ir.Bambang Pudjianto,MT dkk Tahun 2004, bentuk keseluruhan pilar dianjurkan kolom jika bangunan atasnya menggunakan lantai beton bertulang, jika bangunan atasnya menggunakan material lain bentuk pilar adalah rangka kaku bertingkat satu (*single-stratum*

rigid-frame) sampai ketinggian 10,00 meter, bertingkat dua (*double-stratum rigid-frame*) untuk tinggi mencapai 25,00 meter, dan bentuk I jika lebih dari 25,00 meter. Pilar terdiri dari bagian-bagian antara lain :

- a. Kepala pilar (*pierhead*)
- b. Kolom pilar
- c. *Pile cap*

Bentuk umum pilar, seperti terlihat dalam tabel di bawah ini :

Tabel 2.31 Jenis Pilar Tipikal

JENIS PILAR		TINGGI TIPIKAL (m)			
		0	10	20	30
PILAR BALOK CAP TIANG SEDERHANA - Dua baris tiang adalah umumnya minimal					
PILAR KOLOM TUNGGAL - Dianjurkan kolom sirkulasi pada aliran arus			5	15	
PILAR TEMBOK - Ujung bundar dan alinemen tembok sesuai arah aliran membantu- mengurangi gaya aliran dan gerusan lokal.			5		25
PILAR PORTAL SATU TINGKAT (KOLOM GANDA ATAU MAJEMUK) - Dianjurkan kolom sirkulasi pada aliran arus. - Pemisahan kolom dengan 2D atau lebih membantu kelancaran aliran arus			5	15	
PILAR PORTAL SATU TINGKAT				15	25
PILAR TEMBOK – PENAMPANG I - Penampang ini mempunyai karakteristik tidak baik terhadap aliran arus dan dianjurkan untuk penggunaan di darat.					25

Sumber : BMS 1992

Dalam mendesain pilar dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

1. Menentukan bentuk dan dimensi rencana penampang pilar serta mutu beton serta tulangan yang diperlukan.
2. Menentukan pembebanan yang terjadi pada pilar :
 - a. Beban mati berupa rangka baja, lantai jembatan, trotoar, perkerasan jembatan (*pavement*), sandaran, dan air hujan
 - b. Beban hidup berupa beban merata dan garis serta beban di trotoar
 - c. Beban sekunder berupa beban gempa, rem dan traksi, koefisien kejut, beban angin dan beban akibat aliran dan tumbukan benda-benda hanyutan.
3. Menghitung momen, gaya normal dan gaya geser yang terjadi akibat kombinasi dari beban – beban yang bekerja.
4. Mencari dimensi tulangan dan cek apakah pilar cukup memadai untuk menahan gaya – gaya tersebut.

2.8.2 Pangkal/ Abutment

Abutment/ pangkal menyalurkan gaya vertikal dan horisontal dari bangunan atas ke pondasi dengan fungsi tambahan untuk mengadakan peralihan tumpuan dari timbunan jalan pendekat ke bangunan atas jembatan.

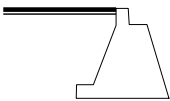
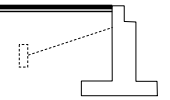
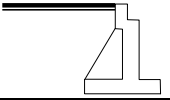
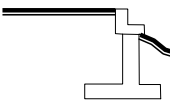
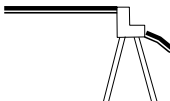
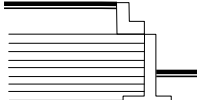
Tiga jenis pangkal adalah :

1. Pangkal tembok penahan
Dinamakan demikian karena timbunan jalan tertahan dalam batas-batas pangkal dengan tembok penahan yang didukung oleh pondasi.
2. Pangkal kolom “*Spill-Through*”.
Dinamakan demikian karena timbunan diijinkan berada dan melalui portal pangkal yang sepenuhnya tertanam dalam timbunan. Portal terdiri dari balok kepala dan tembok kepala yang didukung oleh rangkaian kolom-kolom pada pondasi atau secara sederhana terdiri dari balok kepala yang didukung langsung oleh tiang-tiang.
3. Pangkal tanah bertulang.

Ini adalah sistem paten yang memperkuat timbunan agar menjadi bagian pangkal.

Untuk lebih jelasnya, jenis pangkal/ *Abutment* dapat dilihat di bawah ini :

Tabel 2.32 Jenis Pangkal Tipikal

JENIS PANGKAL		TINGGI PANGKAL (m)			
		0	10	20	30
Pangkal tembok penahan gravitasi			3 4		
Pangkal tembok penahan kantilever			8		
Pangkal tembok penahan kontrafort			6 8		
Pangkal kolom <i>Spill Through</i>					
Pangkal balok cap tiang sederhana					
Pangkal tanah bertulang			5	15	

Sumber : BMS 1992

Dalam hal ini perhitungan *Abutment* meliputi :

1. Menentukan bentuk dan dimensi rencana penampang abutment serta mutu beton serta tulangan yang diperlukan.
2. Menentukan pembebanan yang terjadi pada abutment :
 - a. Beban mati berupa rangka baja, lantai jembatan, trotoir, perkerasan jembatan (*pavement*), sandaran, dan air hujan.
 - b. Beban hidup berupa beban merata dan garis serta beban di trotoar.
 - c. Beban sekunder berupa beban gempa, tekanan tanah aktif, rem dan traksi, koefisien kejut, beban angin dan beban akibat aliran dan tumbukan benda – benda hanyutan.

3. Menghitung momen, gaya normal dan gaya geser yang terjadi akibat kombinasi dari beban – beban yang bekerja.
4. Mencari dimensi tulangan dan cek apakah abutment cukup memadai untuk menahan gaya – gaya tersebut.
5. Ditinjau juga kestabilan terhadap *sliding* dan bidang runtuh tanah.
6. Ditinjau juga terhadap *settlement* (penurunan tanah).

2.8.3 Pondasi

Pondasi menyalurkan beban-beban terpusat dari bangunan bawah kedalam tanah pendukung dengan cara sedemikian rupa, sehingga hasil tegangan dan gerakan tanah dapat dipikul oleh struktur keseluruhan.

Alternatif tipe pondasi menurut diktat kuliah “*Rekayasa Pondasi II*” Ir. Indrastono Dwi Atmanto, M.Ing. yang dapat digunakan untuk perencanaan jembatan antara lain:

1. Pondasi Telapak/ langsung

- a. Termasuk pondasi dangkal ($D_r/B < 4$)

D_r = Kedalaman alas pondasi

B = Lebar terkecil alas pondasi

Jenis pondasi ini digunakan apabila:

- Letak tanah keras relatif dangkal 0,60-2 m atau maksimal 5m.
 - Kapasitas dukung ijin tanah $> 2,0 \text{ kg/cm}^2$
 - Untuk pondasi jembatan kedalaman alas pondasi terletak > 3 m dibawah dasar sungai/ tanah setempat dan bebas dari bahaya penggerusan vertikal maupun horisontal.
- b. Bentangan jembatan sedemikian rupa sehingga tidak mengurangi profil basah sungai.
 - c. Penggunaan pondasi langsung/ dangkal pada jembatan sama sekali tidak disarankan pada sungai-sungai yang dapat diperkirakan perilakunya (gerusan, benda-benda hanyutan) pada waktu banjir.
 - d. Pondasi pangkal jembatan/ *abutment*
 - Aman terhadap geser dan guling ($n > 1,5$)

– $H <$ tinggi kritis timbunan (H_{cr})

$$H_{cr} = (C_u * N_c) / \gamma_{timbunan}$$

Dimana: - Nilai N_c berkisar 5,5 -5,7

- C_u (kuat geser undrained) dari hasil sondir, *direct shear test* atau *triaxial test*.

- Faktor aman diambil 1,5- 3,0

2. Pondasi Sumuran

- a. Pondasi sumuran digunakan untuk kedalaman tanah keras maksimal 15 m. Daya dukung ijin tanah $>3,0 \text{ kg/cm}^2$ atau $4 \leq D_r/B < 10$.
- b. Pondasi sumuran dibuat dengan cara menggali tanah berbentuk lingkaran minimum berdiameter 80 cm (pekerja masih dapat masuk).
- c. Usahakan digunakan pondasi sumuran berdiameter > 3 m untuk lebih menjamin kemudahan mengambil tanah dan lebih mudah penanganannya bila terjadi penyimpangan dalam pelaksanaan penurunan sumuran.
- d. Tidak dianjurkan pelaksanaan penurunan sumuran dengan cara penggalian terbuka karena akan merusak struktur tanah disekitar sumuran (gaya gesekan tanah dengan sumuran menjadi hilang).
- e. Pada pangkal jembatan perlu diperhitungkan terhadap bahaya penggerusan dan tinggi kritis timbunan.
- f. Untuk pondasi jembatan kedalaman alas pondasi terletak >4 m dibawah dasar sungai/ tanah setempat dan bebas dari bahaya penggerusan vertikal maupun horisontal.

3. Pondasi Bored Pile

Pondasi bored pile merupakan jenis pondasi tiang yang dicor di tempat, yang sebelumnya dilakukan pengeboran dan penggalian. Sangat cocok digunakan pada tempat-tempat yang padat oleh bangunan-bangunan, karena tidak terlalu bising dan getarannya tidak menimbulkan dampak negatif terhadap bangunan di sekelilingnya.

4. Pondasi Tiang Pancang

- a. Pondasi tiang pancang, umumnya digunakan jika lapisan tanah keras / lapisan pendukung beban berada jauh dari dasar sungai dan kedalamannya 8 - 40 m atau $D_r/B > 10$.
- b. Tiang-tiang tersebut disatukan oleh *poer/ pile cap*. Bentuk penampang tiang dapat berbentuk lingkaran, segi empat, segi delapan, atau tak beraturan.
- c. Jika dalam pemancangan terdapat tanah cukup keras atau lapisan dengan nilai tahanan konus $q_c = 60- 80 \text{ kg/cm}^2$, agar terjadi tanah cukup keras atau besar perlu dilakukan penggalian dahulu (*preboring*).

Rumus daya dukung tiang tunggal:

A. Dengan data sondir

- Menurut Boegemann adalah:

$$P_{ult} = \frac{(A * q_c)}{3} + \frac{(JHP * O)}{5}$$

- Menurut Mayerhof 1956 adalah:

$$P_{ult} = (q_c * A_b) + (\sigma_s * A_s)$$

- Atau dengan cara umum :

$$P_{ult} = \frac{K_b * q_c * A + K_s * JHP * O}{Fk}$$

Dimana : P_{ult} = Daya dukung untuk tiang tunggal (kg)

A = Luas penampang tiang pancang (cm^2) = A_b

q_c = Nilai *conus resistance* (kg/cm^2)

JHP = Jumlah Hambatan Pelekat/ *total friction* (kg/cm)

O = Keliling tiang pancang (cm) = A_s

Fk = Faktor keamanan 2 - 2,5

K_s = 0,75

K_b = 0,5 - 0,75

σ_s = $q_c/200 < 1$ untuk tiang pancang beton

B. Dengan data SPT

Menurut Mayerhof 1956 adalah:

$$P_{ult} = (40 * N_b * A_b) + (0,2 * \bar{N} * A_s)$$

Dimana : P_{ult} = Daya dukung untuk tiang tunggal (kg)

A_b = Luas penampang dasar tiang (cm^2)

N_b = Nilai N-SPT pada elevasi dasar tiang

\bar{N} = Nilai N-SPT rata-rata

A_s = Luas selimut tiang (cm^2)

Jarak aman antar tiang diambil $2,5d - 4,0d$ untuk menghindari kemungkinan *overlapping* dari *bulb pressure* yang akan menekan tanah yang *overlap* sebesar 2 kali lipat. Bila punya grup tiang maka besarnya kapasitas/kemampuan besarnya grup perlu adanya pengurangan, karena adanya *overlapping* tadi, maka timbul istilah yang disebut *Effisiensi factor* ($E = \%$) tiang pancang menurut *formula converse laborre* adalah :

$$E = 1 - \frac{\theta}{90} \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{mn} \right] \%$$

Dimana: s = Jarak antara tiang

m = Jumlah deret tiang

n = Jumlah tiang setiap deret

θ = arc tan (d/s) dalam derajat

Sehingga daya dukung tiang grup adalah :

$$P_{tot} = n * P_{ult} * E$$

Dimana: n = Banyaknya tiang

P_{ult} = Daya dukung tiang tunggal (ton)

E = Faktor efisiensi (%)

Menurut BMS 1992 jenis pondasi yang dapat digunakan ditunjukkan dalam tabel di bawah ini :

Tabel 2.33 Dimensi Pondasi Tipikal dan Beban Rencana Keadaan Batas Ultimit

BUTIR	PONDASI LANGSUNG	SUMURAN	TIANG PANCANG			
			Baja Tiang H	Baja Tiang Pipa	Tiang Beton Bertulang Pracetak	Tiang Beton Pratekan Pracetak
Diameter nominal (mm)	-	3000	100*100 – 400*400	300 - 600	300 - 600	400 - 600
Kedalaman	5	15	Tidak	Tidak	30	60

maksimum (m)			terbatas	terbatas		
Kedalaman optimum (m)	0,3 - 3	7 - 9	7 - 40	7 - 40	12 - 15	18 - 30
Beban maksimum ULS(kN) untuk keadaan biasa	20000+	20000+	3750	3000	1300	13000
Variasi optimum beban ULS(kN)	-	-	500 - 1500	600 - 1500	500 - 1000	500 - 5000

2.8.4 Dinding Penahan Tanah/ *Retaining Wall*

Kondisi geologis sungai yang membelok tepat pada struktur jembatan menyebabkan gerusan air menjadi lebih besar. Oleh karena itu diperlukan suatu struktur yang berfungsi untuk melindungi struktur jembatan dari pengikisan akibat gerusan aliran air sungai. Dinding penahan tanah mutlak dibangun pada bagian-bagian yang rentan dan rawan terkena pengikisan .

Dinding penahan tanah juga direncanakan untuk mencegah bahaya keruntuhan tanah yang curam ataupun lereng dan dibangun pada tempat-tempat yang stabilitas dan kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tersebut, serta untuk menahan tanah timbunan dan menjaga stabilitas jalan pendekat/ oprit pada jembatan.

Data tanah yang diperlukan untuk keperluan perencanaan dinding penahan tanah antara lain nilai kohesi tanah (c), sudut geser tanah (ϕ), berat jenis tanah (γ) dan data *soil properties* lainnya. Struktur dinding penahan tanah biasanya direncanakan dari bahan batu kali dengan mempertimbangkan pada segi ekonomis tanpa mengesampingkan mutu dan kekuatan dari bahan itu sendiri.

2.8.5 Drainase

Fungsi drainase adalah untuk membuat air hujan secepat mungkin dialirkan ke luar dari jembatan, sehingga tidak terjadi genangan air dalam waktu yang lama, yang akan mempercepat kerusakan pada struktur jembatan. Saluran drainase ditempatkan pada tepi kanan dan kiri dari lantai jembatan.

2.9 ASPEK PENDUKUNG

Dalam perencanaan jembatan ini, diantara aspek pendukung yang harus diperhatikan adalah pelaksanaan dan pemeliharaan yaitu:

1. Baja sangat baik digunakan untuk jembatan dengan bentang yang panjang karena kekuatan lelehnya tinggi sehingga diperoleh dimensi profil yang optimal.
2. Konstruksi baja yang digunakan merupakan hasil pabrikasi dengan standar yang telah disesuaikan dengan bentang jembatan sehingga mempercepat proses pelaksanaan dilapangan.
3. Struktur yang dihasilkan bersifat permanen dengan cara pemeliharaan yang tidak terlalu sukar.