

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Tinjauan Umum

Jembatan adalah suatu konstruksi yang dibangun untuk mempermudah laju transportasi yang sebelumnya terhalang oleh sungai, jurang maupun lembah yang dalam. Mengingat fungsi dari jembatan yaitu sebagai penghubung dua ruas jalan yang dilalui rintangan, maka jembatan dapat dikatakan merupakan bagian dari suatu jalan, baik jalan raya atau jalan kereta api. Konstruksi ini sengaja dibuat agar laju transportasi tidak terganggu sehingga kebutuhan setiap orang terpenuhi.

3.2. Baja

Baja adalah logam paduan, logam besi yang berfungsi sebagai unsur dasar dicampur dengan beberapa elemen lainnya, termasuk unsur karbon. Pembuatan baja dilakukan dengan pembersihan dalam temperatur tinggi, dimana pembuatan baja dengan menggunakan proses dapur tinggi dengan bahan mentahnya biji besi (Fe) dengan oksigen (O) dan bahan-bahan lainnya.

Bahan material baja unggul jika ditinjau dari segi kekuatan, kekakuan, dan daktilitasnya. Selain itu, kelebihan material baja dibandingkan material lainnya adalah karena material tersebut buatan pabrik, yang tentunya mempunyai kontrol produksi yang baik, dan sebagai akibatnya mutu produknya terjaga. Tinjauan dari segi kekuatan, kekakuan, dan daktilitas sangat cocok dipakai untuk mengevaluasi struktur yang memikul pembebanan. (Dewobroto, 2016).

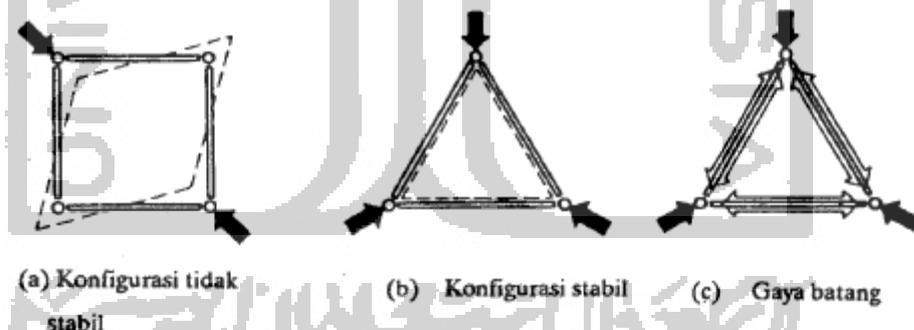
Adapun dalam perencanaan struktur baja SNI 03-1729-2002 dapat diambil beberapa sifat mekanik dari material baja yang sama yaitu:

Modulus Elastisitas (E)	= 200.000 MPa
Modulus Geser (G)	= 80.000 MPa
Angka Poison	= 0,3
Koefisien muai panjang (α)	= $12 \cdot 10^{-6}$ / $^{\circ}$ C

3.3. Struktur Rangka Batang

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linier yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga menjadi bentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk bila diberi beban eksternal tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya. Setiap elemen tersebut dianggap tergabung pada titik hubungannya dengan sambungan sendi. Sedangkan batang-batang tersebut dihubungkan sedemikian rupa sehingga semua beban dan reaksi hanya terjadi pada titik hubung.

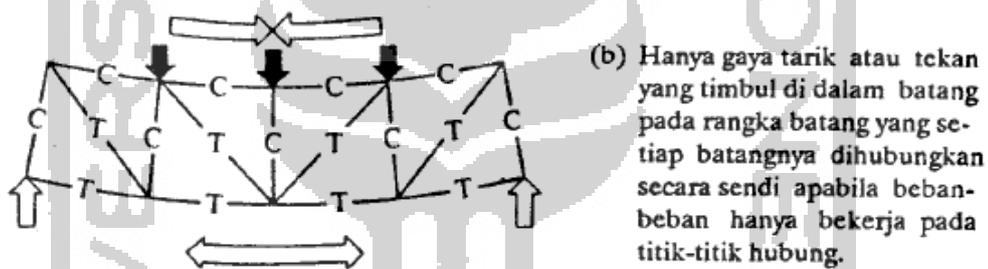
Prinsip utama yang mendasari penggunaan rangka batang sebagai struktur pemikul beban adalah penyusunan elemen menjadi konfigurasi segitiga yang menghasilkan bentuk stabil. Pada bentuk segiempat atau bujursangkar, bila struktur tersebut diberi beban, maka akan terjadi deformasi masif dan menjadikan struktur tak stabil. Bila struktur ini diberi beban, maka akan membentuk suatu mekanisme runtuh (collapse). Struktur yang demikian dapat berubah bentuk dengan mudah tanpa adanya perubahan pada panjang setiap batang. Sebaliknya, konfigurasi segitiga tidak dapat berubah bentuk atau runtuh, sehingga dapat dikatakan bahwa bentuk ini stabil.



Gambar 3.1 Susunan Batang Stabil dan Tidak Stabil

Pada struktur stabil, setiap deformasi yang terjadi relatif kecil dan dikaitkan dengan perubahan panjang batang yang diakibatkan oleh gaya yang timbul di dalam batang sebagai akibat dari beban eksternal. Selain itu, sudut yang terbentuk antara dua batang tidak akan berubah apabila struktur stabil tersebut dibebani. Hal ini sangat berbeda dengan mekanisme yang terjadi pada bentuk tak stabil, dimana sudut antara dua batangnya berubah sangat besar.

Pada struktur stabil, gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang. Gaya-gaya tersebut adalah gaya tarik dan tekan. Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertikal, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan, dan pada batang tepi bawah umumnya timbul gaya tarik. Gaya tarik atau tekan ini dapat timbul pada setiap batang, yang mungkin saja terjadi pola berganti-ganti tarik dan tekan. Hal yang amat penting pada rangka batang ialah bahwa struktur tersebut hanya dibebani oleh beban-beban terpusat. Apabila beban-beban tersebut bekerja langsung pada batang, maka akan timbul tegangan lentur pada batang tersebut, selain juga tegangan aksial tekan atau tarik yang umum ada pada rangka batang. Dengan kata lain, lentur (bending) tidak akan terjadi selama gaya eksternal berada pada titik nodal (titik simpul).



Gambar 3.2 Timbulnya Gaya Tarik dan Tekan

Sebuah konstruksi rangka batang bisa bersifat statis tertentu atau statis tidak tentu, yang dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$m = 2j - r \quad (3.1)$$

m = jumlah batang

j = jumlah titik buhul

r = jumlah reaksi

dengan kondisi:

$m > 2j - r$ maka merupakan rangka batang statis tak tentu

$m = 2j - r$ maka merupakan rangka batang stabil.

$m < 2j - r$ maka merupakan rangka batang tak stabil.

dalam perhitungan struktur statis tertentu, juga terdapat tiga konsep keseimbangan terpenting yang harus terpenuhi:

$$\Sigma V = 0 \text{ (komponen gaya vertikal = 0)}$$

$$\Sigma H = 0 \text{ (komponen gaya horizontal = 0)}$$

$$\Sigma M = 0 \text{ (jumlah momen disekitar suatu titik tertentu = 0)}$$

3.3.1. Batang Tarik

Batang tarik adalah batang yang mendukung tegangan tarik aksial yang diakibatkan oleh bekerjanya gaya tarik aksial pada ujung – ujung batang. Kestabilan batang ini sangat baik sehingga tidak perlu ditinjau lagi dalam perencanaan, bahkan tegangan tarik batas dapat dicapai dengan mudah bila sambungan ujung direncanakan lebih kuat dari pada kekuatan batangnya. Ditinjau dari segi besar dan distribusi tegangannya, batang tarik merupakan batang yang paling efisien dalam hal penggunaan material baja struktur.

Kuat tarik rencana, adalah nilai terkecil dari dua tinjauan batas keruntuhan yang terjadi pada penampang utuh dan penampang berlubang. Apabila kondisi leleh yang menentukan maka tahanan nominal dari batang tarik memenuhi persamaan:

$$P_n = F_y \cdot A_g \quad (3.2)$$

A_g = luas penampang kotor (mm^2)

F_y = kuat leleh material (MPa)

Apabila kondisi sambungan yang menentukan maka tahanan nominal dari batang tersebut memenuhi persamaan:

$$P_n = F_u \cdot A_e = F_u \cdot A_n \cdot U \quad (3.3)$$

A_e = luas penampang efektif (mm^2)

A_n = luas netto penampang (mm^2)

U = koefisien reduksi

F_u = tegangan tarik putus (MPa)

Dengan Φ adalah faktor tahanan, yang besarnya, adalah:

$\Phi = 0,90$ untuk kondisi leleh, dan

$\Phi = 0,75$ untuk kondisi fraktur

3.3.2. Batang Tekan

Batang tekan hanya memikul/mentransfer gaya aksial antara dua titik pada struktur, akan tetapi sifat gaya aksial yang diterima adalah gaya aksial tekan sehingga pengaruh tekuk (*buckling*) atau lenturan tiba-tiba akibat ketidakstabilan

merupakan persoalan yang mendapat perhatian lebih pada batang tekan. Dengan ungkapan lain, kekuatan batang tekan tidak hanya dipengaruhi kekuatan bahannya akan tetapi turut dipengaruhi bentuk geometris penampang (jari-jari girasi penampang). Model keruntuhan yang mungkin terjadi pada elemen batang tekan di antaranya; leleh (tekuk plastik), tekuk inelastik dan tekuk elastik. Komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris, akibat beban terfaktor P_u , memenuhi:

$$P_u < \Phi \cdot P_n \quad (3.4)$$

$$\Phi = 0.90$$

P_u = beban terfaktor

P_n = kuat tekan nominal komponen struktur = $A_g \cdot F_{cr}$

3.4. Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Panjang Bentang

Menurut panjang bentangnya jembatan dapat diklasifikasikan menjadi tiga tipe. Pengklasifikasian ini berguna untuk menentukan tipe struktur atas apa yang cocok untuk digunakan.

1. Untuk jembatan dengan bentang-bentang 5 – 30 m dapat dipilih jenis beton bertulang dengan tipe bervariasi mulai dari tipe pelat, pelat berongga, kanal pracetak, gelagar T atau gelagar box, tergantung dari panjang bentang yang akan digunakan.
2. Untuk jembatan dengan bentang 16 – 50 m dapat dipilih jenis beton prategang dengan tipe bervariasi mulai dari gelagar I dengan lantai komposit, gelagar I pra peregangan dengan lantai komposit, gelagar T pasca peregangan, gelagar box pasca para peregangan dengan lantai komposit, atau gelagar box monolitik dalam bentang sederhana, tergantung dari panjang bentang yang akan digunakan.
3. Untuk jembatan-jembatan bentang panjang 35 - 100 m, dapat digunakan jembatan rangka baja.

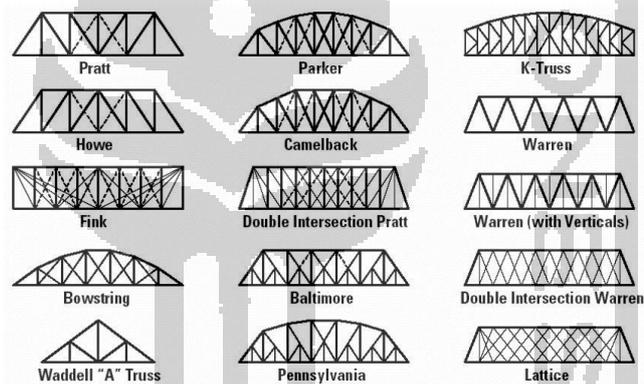
3.5. Jenis-jenis Jembatan Rangka Baja

Dalam perencanaan Jembatan Lemah Abang ini memakai jenis jembatan rangka baja yang digunakan pada jembatan jalan raya (*highway bridge*) dengan

panjang bentang yang termasuk ke dalam kategori jembatan bentang menengah. Terdapat berbagai macam jenis jembatan rangka baja, diantaranya adalah:

1. *Warren truss*
2. *Double warren truss*
3. *Howe truss*
4. *Pratt truss*
5. *Curve chord pratt truss*
6. *Baltimore truss*
7. *Pensylvania truss*
8. *Through truss*, dan lain-lain.

Berikut ini adalah gambar dari jenis-jenis jembatan rangka baja.



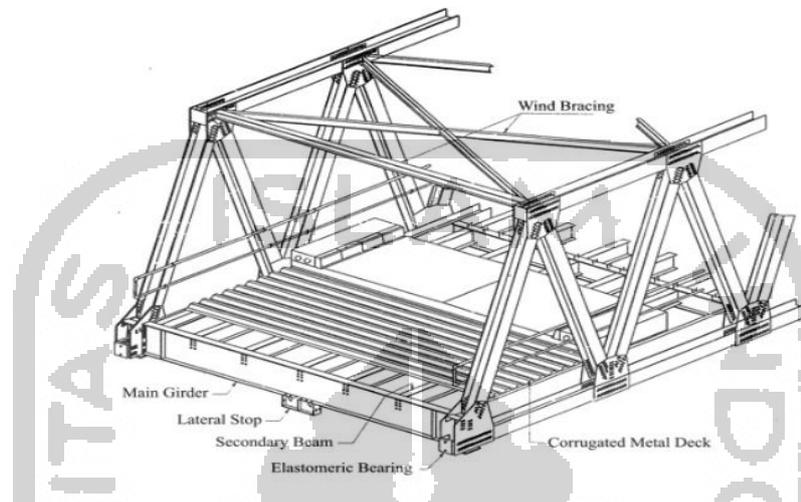
Gambar 3.3 Jenis-jenis Jembatan Rangka

Dari berbagai macam jenis jembatan rangka baja yang ada, Jembatan Lemah Abang ini akan didesain menggunakan sistem rangka baja tipe *warren*. Tipe *warren* ini dinilai lebih umum dipakai untuk daerah Indonesia dan juga mudah dalam konstruksinya tanpa mengurangi nilai dan kekuatannya.

3.5.1. Rangka Baja Tipe Warren

Jembatan rangka baja tipe *warren* merupakan jembatan rangka baja yang sederhana dalam strukturnya dan penerapannya di lapangan. Struktur utama rangkanya dibuat trapesium dan rangka batangnya dibuat dalam bentuk segitiga sehingga struktur seperti ini akan stabil dalam menahan gaya aksial dan lateralnya. Batang-batang diagonal pada rangka utama dan ikatan angin berfungsi mengikat

joint-joint pada batang utamanya sehingga menjadi batang yang stabil. Berikut ini adalah gambar bagian-bagian jembatan rangka baja:



Gambar 3.4 Jembatan Warren Truss

3.6. Pembebanan Menurut SNI 1725-2016

SNI 1725-2016 adalah standar menetapkan ketentuan pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan jembatan jalan raya termasuk jembatan pejalan kaki dan bangunan-bangunan sekunder yang terkait dengan jembatan. Beban-beban tersebut diantaranya adalah beban permanen, beban lalu lintas, dan beban lingkungan. Selain daripada beban-beban yang diderita oleh jembatan, terdapat juga faktor beban. Faktor beban adalah pengali numerik yang digunakan pada aksi nominal untuk menghitung aksi rencana.

Terdapat tiga macam beban yang diatur dalam SNI 1725-2016. Berikut ini adalah beban-beban tersebut.

3.6.1. Beban Permanen

Massa setiap bagian bangunan dihitung berdasarkan dimensi dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan tersebut adalah massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah $9,81 \text{ m/detik}^2$. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan diberikan dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1 Berat Isi untuk Beban Mati

No	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapatan massa (kg/m ³)
1	Lapisan permukaan beraspal (bituminous wearing surfaces)	22,0	2245
3	Timbunan tanah dipadatkan (compacted sand, silt or clay)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (rolled gravel, macadam or ballast)	18,8 – 22,7	1920-2315
5	Beton aspal (asphalt concrete)	22,0	2245
7	Beton $f'c < 35$ Mpa	22,0 – 25,0	2320
	$35 < f'c < 105$ Mpa	$22 + 0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
8	Baja (steel)	78,5	7850

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

1. Berat Sendiri (*MS*)

Menurut SNI 1725-2016, berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Persamaan yang digunakan untuk menghitung berat sendiri adalah sebagai berikut.

$$MS = b \times h \times \gamma \quad (3.5)$$

keterangan:

b = lebar berat yang ditinjau (m),

h = tebal berat yang ditinjau (m),

γ = berat jenis (kN/m³)

2. Beban Mati Tambahan (*MA*)

Menurut SNI 1725-2016, beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non-struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan.

3. Beban Akibat Tekanan Tanah (*TA*)

Menurut SNI 1725-2016, koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung dari sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Tekanan tanah lateral dapat dihitung berdasarkan nilai nominal dari berat jenis tanah (γ_s), kohesi tanah (c), dan sudut geser tanah (ϕ).

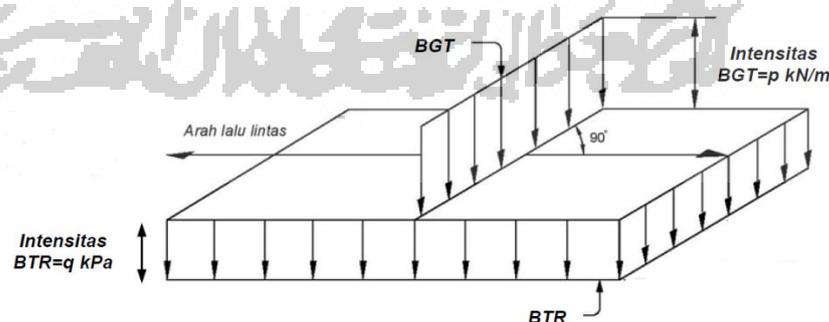
3.6.2. Beban Lalu Lintas

Menurut SNI 1725-2016, beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri.

Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan tiga gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri atas dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana. Beban lalu lintas terdiri dari:

1. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Beban Lajur “D”

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

a. Beban terbagi merata (*BTR*)

Beban terbagi rata (*BTR*) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut.

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

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

keterangan:

q = intensitas beban terbagi rata (*BTR*) arah memanjang jembatan (kPa)

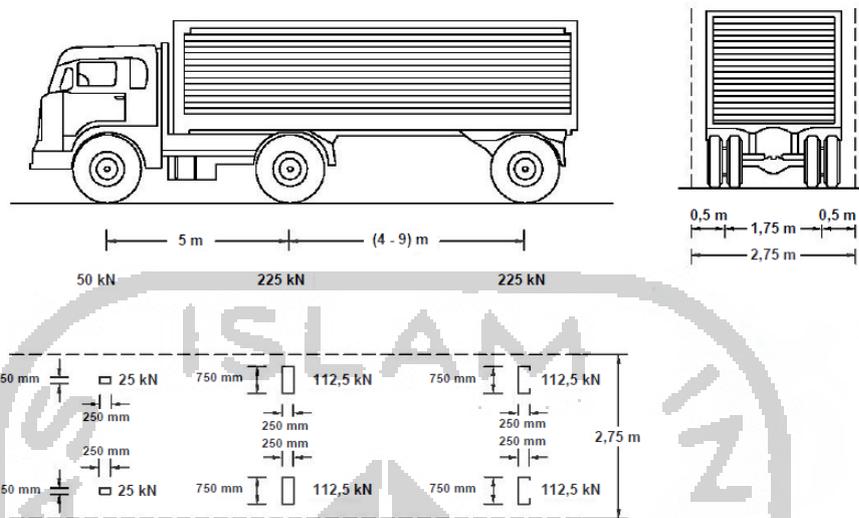
L = panjang total jembatan yang dibebani (meter).

b. Beban garis terpusat (*BGT*)

Beban garis terpusat (*BGT*) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, *BGT* kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya

2. Beban Truk “T” (*TT*)

Selain beban “D”, terdapat beban lalu lintas lainnya yaitu beban truk “T”. Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Pembebanan truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap as terdiri dari 2 bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat.



Gambar 3.6 Pembebanan Truk “T” (500 kN)

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

Dalam pendistribusian beban truk, besarnya beban yang akan diakumulasi pada plat lantai jembatan yaitu sebesar beban titik pada roda truk dalam kN, sehingga persamaan beban truk adalah sebagai berikut.

$$P_{TT} = (1 + FBD) \times T \quad (3.6)$$

keterangan:

FBD = faktor beban dinamis

T = beban roda truk dalam kN.

3. Gaya Rem (TB)

Berdasarkan SNI 1725-2016, gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain atau
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR.

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

4. Beban Pejalan Kaki (TP)

Menurut SNI 1725-2016, semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan.

3.6.3. Aksi Lingkungan

Menurut SNI 1725-2016, besarnya beban rencana yang diberikan dalam standar ini dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat.

1. Aliran Air, Benda Hnyutan dan Tumbukan dengan Batang Kayu

Gaya seret nominal ultimit dan daya layan pada pilar akibat aliran air tergantung pada kecepatan air rata-rata sesuai dengan persamaan 3

$$T_{EF} = 0,5 C_D V_s^2 A_d \quad (3.7)$$

keterangan:

T_{EF} = gaya seret (kN),

V_s = kecepatan air rata-rata berdasarkan data lapangan (m/s),

C_D = koefisien seret,

A_d = luas proyeksi pilar tegak lurus arah aliran dengan tinggi sama dengan kedalaman air (m²)

Bila pilar tipe dinding membuat sudut dengan arah aliran, gaya angkat melintang akan semakin meningkat. Nilai nominal dari gaya angkat dalam arah tegak lurus gaya seret adalah

$$T_{EF} = 0,5 C_L V_s^2 A_L \quad (3.8)$$

keterangan:

T_{EF} = gaya angkat (kN),

V_s = kecepatan air rata-rata berdasarkan data lapangan (m/s),

C_L = koefisien angkat,

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

Nilai koefisien seret (C_D) dan angkat (C_L) untuk berbagai pilar telah diatur dalam SNI 1725-2016 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.2 Koefisien Seret (C_D) dan Angkat (C_L) untuk Berbagai Pilar

Bentuk pilar	Koefisien seret (C_D)	Koefisien angkat (C_L)
 $\theta < 90^\circ$	0,8	θ C_L 0° 0 5° 0,5 10° 0,9 20° 0,9 $\geq 30^\circ$ 1,0
 θ	1,4	
 θ	0,7	
	0,7	Tidak dapat digunakan
	0,7	Tidak bisa dipakai

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

Gaya akibat benda hanyutan dihitung menggunakan persamaan yang sama dengan gaya seret dengan:

$$C_D = 1,04$$

Jika tidak ada data yang lebih tepat, luas proyeksi benda hanyutan bisa dihitung seperti berikut:

- Untuk jembatan di mana permukaan air terletak di bawah bangunan atas, luas benda hanyutan yang bekerja pada pilar dihitung dengan menganggap bahwa kedalaman minimum dari benda hanyutan adalah 1,2 m dibawah muka air banjir. Panjang hamparan dari benda hanyutan diambil setengahnya dari jumlah bentang yang berdekatan atau 20 m, diambil yang terkecil dari kedua harga ini.
- Untuk jembatan di mana bangunan atas terendam, kedalaman benda hanyutan diambil sama dengan kedalaman bangunan atas termasuk

sandaran atau penghalang lalu lintas ditambah minimal 1,2 m. Kedalaman maksimum benda hanyutan boleh diambil 3 m kecuali apabila menurut pengalaman setempat menunjukkan bahwa hamparan dari benda hanyutan dapat terakumulasi. Panjang hamparan benda hanyutan yang bekerja pada pilar diambil setengah dari jumlah bentang yang berdekatan.

Gaya akibat tumbukan dengan batang kayu dihitung dengan menganggap bahwa batang dengan massa minimum sebesar 2 ton hanyut pada kecepatan aliran rencana harus bisa ditahan dengan gaya maksimum berdasarkan lendutan elastis ekuivalen dari pilar dengan rumus:

$$T_{EF} = \frac{M V_a^2}{d} \quad (3.9)$$

keterangan:

M = massa batang kayu sebesar 2 ton,

V_a = kecepatan air permukaan (m/s) pada keadaan batas yang ditinjau.

Dalam hal tidak adanya penyelidikan yang terperinci mengenai bentuk diagram kecepatan dilokasi jembatan, V_a bisa diambil 1,4 kali kecepatan rata-rata V_s

d_{ev} = lendutan elastis ekuivalen (m)

Tabel 3.3 Lendutan Ekuivalen untuk Tumbukan Batang Kayu

Tipe Pilar	d_{ev} (m)
Pilar beton massif	0,075
Tiang beton perancah	0,150
Tiang kayu perancah	0,300

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

2. Beban Angin (EW)

a. Tekanan angin horizontal

Menurut SNI 1725-2016, tekanan angin diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan

adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang diambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus di variasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponen. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3.10)$$

keterangan:

V_{DZ} = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (km/jam),

V_{10} = kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam),

V_B = kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 10000 mm,

Z = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm),

V_0 = kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik metereologi, sebagaimana ditrntukan dalam Tabel 3.5, untuk berbagai macam tipe permukaan di ulu jembatan (km/jam), dan

Z_0 = panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik metereologi, ditentukan pada Tabel 3.5 (mm).

V_{10} dapat diperoleh dari:

- grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- survei angin pada lokasi jembatan, dan
- jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 3.4 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
---------	---------------	-----------	------

V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

1) Beban angin pada struktur (EW_s)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan persamaan berikut ini.

$$P_D = P_B \left(\frac{VDZ}{VB} \right)^2 \quad (3.11)$$

keterangan:

P_B adalah tekanan angin dasar seperti ditentukan dalam Tabel 3.5

Tabel 3.5 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

Gaya total beban angin tidak boleh diambil kurang dari 4,4 kN/mm pada bidang tekan dan 2,2 kN/mm pada bidang hisap pada struktur rangka dan pelengkung, serta tidak kurang dari 4,4 kN/mm pada balok atau gelagar.

2) Gaya angin pada kendaraan (EW_i)

Menurut SNI 1725-2016, tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan

angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika ditentukan dalam pasal ini, jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang berkerja tegak lurus maupun parallel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.6

Tabel 3.6 Komponen Beban Angin yang Bekerja pada Kendaraan

Sudut derajat	Komponen Tegak Lurus N/mm	Komponen Sejajar N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

3) Gaya angin yang langsung bekerja pada struktur bawah

Menurut SNI 1725-2016, gaya melintang dan longitudinal yang harus dikerjakan secara langsung pada bangunan bawah harus dihitung berdasarkan tekanan angin dasar sebesar 0,0019 MPa. Untuk angin dengan sudut serang tidak tegak lurus terhadap bangunan bawah, gaya ini harus diuraikan menjadi komponen yang bekerja tegak lurus terhadap bidang tepi dan bidang muka dari bangunan bawah. Komponen-komponen ini bekerja tegak lurus terhadap pada masing-masing permukaan yang mengalami tekanan dan perencana harus menerapkan gaya-gaya tersebut bersamaan dengan beban angin yang bekerja pada struktur atas.

b. Tekanan angin vertikal

Menurut SNI 1725-2016, kecuali ditentukan lain dalam pasal 9.6.3, jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang

merepresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar $9,6 \times 10^{-4}$ MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk prapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal.

c. Instabilitas aerolastik

Menurut SNI 1725-2016 pasal 9.6.3, pengaruh gaya aerolastik harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan dan komponen-komponennya yang rentan terhadap beban angin. Untuk tujuan pasal ini, semua jembatan dengan rasio panjang bentang terhadap lebar jembatan lebih besar dari 30 dianggap sebagai jembatan yang rentan terhadap pengaruh aerolastik angin. Pada kasus ini, perencana juga harus meninjau kasus getaran kabel karena adanya induksi kabel dengan angin dan atau hujan.

3. Pengaruh Gempa

Menurut SNI 2833-2016, jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastic (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R) dengan formulasi sebagai berikut.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (3.12)$$

Dengan,

$$C_{sm} = \frac{1,2 \cdot A \cdot S}{T^{2/3}} \text{ dengan syarat } C_{sm} \leq 2,5 \cdot A \quad (3.13)$$

Dengan,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g.K}} \quad (3.14)$$

keterangan:

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN),

C_{sm} = koefisien respons gempa elastis,

R = faktor modifikasi respons,

W_t = berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN).

A = percepatan/akselerasi puncak PGA di batuan dasar

S = amplifikasi di permukaan sesuai tipe tanah

T = periode alami struktur

g = gravitasi

K = kekakuan struktur

Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional. Pemilik pekerjaan harus menentukan dan menyetujui ketentuan yang sesuai untuk jembatan nonkonvensional. Ketentuan ini tidak perlu digunakan untuk struktur bawah tanah, kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan.

Pengaruh gempa terhadap gorong-gorong persegi dan bangunan bawah tanah tidak perlu diperhitungkan kecuali struktur tersebut melewati patahan aktif. Pengaruh ketidakstabilan keadaan tanah (misalnya: likuifasi, longsor, dan perpindahan patahan) terhadap fungsi jembatan harus diperhitungkan. Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa.



Gambar 3.7 Peta Zona Gempa Indonesia

Peta gempa untuk periode ulang 50 tahun, 100 tahun, 200 tahun, 500 tahun, dan 1000 tahun, menunjukkan akselerasi di batuan dasar untuk beberapa wilayah sebagai berikut

Tabel 3.7 Akselerasi Puncak PGA di Batuan Dasar

PGA (g)	50 tahun	100 tahun	200 tahun	500 tahun	1000 tahun
Wilayah 1	0,34-0,38	0,40-0,46	0,47-0,53	0,53-0,60	0,59-0,67
Wilayah 2	0,29-0,32	0,35-0,38	0,40-0,44	0,46-0,50	0,52-0,56
Wilayah 3	0,23-0,26	0,27-0,30	0,32-0,35	0,36-0,40	0,40-0,45
Wilayah 4	0,17-0,19	0,20-0,23	0,23-0,26	0,26-0,30	0,29-0,34
Wilayah 5	0,10-0,13	0,11-0,15	0,13-0,18	0,15-0,20	0,17-0,22
Wilayah 6	0,03-0,06	0,04-0,08	0,04-0,09	0,05-0,10	0,06-0,11

(Sumber SNI 2833-2008 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan)

Konfigurasi tanah terbagi dalam tiga jenis: tanah teguh dengan kedalaman batuan (0 m sampai dengan 3 m), tanah sedang dengan kedalaman batuan (3 m sampai dengan 25 m), tanah lembek dengan kedalaman batuan melebihi 25 m. Tanah tersebut memiliki koefisiennya tersendiri sebagai berikut

Tabel 3.8 Koefisien Tanah

S (tanah teguh)	S (tanah sedang)	S (tanah lembek)
$S_1 = 1,0$	$S_2 = 1,2$	$S_3 = 1,5$

(Sumber SNI 2833-2008 Standar Ketahanan Gempa untuk Jembatan)

Bangunan atas jembatan diletakkan di atas bangunan bawah jembatan, baik di atas kepala jembatan atau di atas pilar. Faktor modifikasi respon untuk bangunan tersebut sebagai berikut.

Tabel 3.9 Faktor Modifikasi Respon

	Kolom atau pilar	Penghubung bangunan atas pada		
		Kepala jembatan (b)	Kolom, pilar, atau tiang (c)	Sambungan dilatasi
Pilar tipe dinding	2 (sumbu kuat) 3 (sumbu lemah)	0,8	1,0	0,8
Kolom tunggal	3-4			
Kolom majemuk	5-6			
Pile cap beton	2-3			
Catatan:				
a. Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar				
b. Untuk jembatan bentang tunggal digunakan faktor $R_d = 2,5$ untuk hubungan pada kepala jembatan				
c. Sebagai alternatif hubungan kolom dapat direncanakan untuk gaya maksimum yang dikembangkan oleh sendi plastis kolom				

(Sumber SNI 2833-2008 Standar Ketahanan Gempa untuk Jembatan)

3.7. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Q = \sum \eta_i y_i Q_i \quad (3.15)$$

keterangan,

η_i = faktor pengubah respons,

y_i = faktor beban, dan

Q_i = gaya atau beban yang bekerja pada jembatan.

Faktor beban untuk setiap kombinasi pembebanan harus diambil seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.11.



Tabel 3.10 Kombinasi Beban dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	EW _s	EW _L	BF	EU _n	TG	ES	Gunakan salah satu		
										EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (<i>TD</i> dan <i>TR</i>)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

beban permanen

- MS = beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan,
- MA = beban mati perkerasan dan utilitas,
- TA = gaya horizontal akibat tekanan tanah,
- PL = gaya-gaya yang terjadi pada struktur jembatan yang disebabkan oleh proses pelaksanaan, termasuk semua gaya yang terjadi akibat perubahan statika yang terjadi pada konstruksi segmental, dan
- PR = prategang.

beban transien

- SH = gaya akibat susut/rangkak,
- TB = gaya akibat rem,
- TR = gaya sentrifugal,
- TC = gaya akibat tumbukan kendaraan,
- TV = gaya akibat tumbukan kapal,
- EQ = gaya gempa,
- BF = gaya friksi,
- TD = beban lajur "D",
- TT = beban truk "T",
- TP = beban pejalan kaki,
- SE = beban akibat penurunan,
- ET = gaya akibat temperatur gradien,
- EU_n = gaya akibat temperatur seragam,
- EF = gaya apung,
- EW_S = beban angin pada struktur,
- EW_L = beban angin pada kendaraan, dan
- EU = beban arus dan hanyutan.

3.8. Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban yang mencakup beban permanen, beban lalu lintas, dan aksi lingkungan. Dari struktur atas beban akan diturunkan ke struktur bawah. Perencanaan struktur atas pada

perencanaan Jembatan Lemah Abang ini meliputi perencanaan tiang sandaran, trotoar, dan lantai kendaraan.

3.8.1. Trotoar

Trotoar merupakan tempat pejalan kaki untuk melintasi jembatan. Secara umum, lebar trotoar minimum adalah $\pm 100-150$ cm. Perhitungan tulangan pada trotoar jembatan ditinjau selebar satu meter menggunakan rumus-rumus dan tahapan sebagai berikut.

1. Momen ultimit rencana

$$M_u = K.MS + K.TP \quad (3.16)$$

keterangan:

MS = momen yang ditimbulkan akibat berat sendiri,

MA = momen yang ditimbulkan akibat beban pejalan kaki

2. Momen nominal awal

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} \quad (3.17)$$

3. Nilai R_n

$$R_n = \frac{M_n}{b.d} \quad (3.18)$$

keterangan:

b = panjang slab jembatan yang ditinjau (mm) dan

d = tebal efektif slab beton (mm).

4. Nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85.f'c} \quad (3.19)$$

keterangan:

f_y = kuat tarik baja (MPa)

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa).

5. Rasio tulangan ρ

Rasio tulangan minimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.20)$$

Rasio tulangan *balance*

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (3.21)$$

Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \rho_b \quad (3.22)$$

Rasio tulangan perlu

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (3.23)$$

6. Luas tulangan pokok yang diperlukan

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho \times b \times d \quad (3.24)$$

7. Jarak tulangan pokok

$$S_{\text{pokok}} = \frac{A_1 d \cdot b}{A_{s_{\text{perlu}}}} \quad (3.25)$$

8. Perencanaan tulangan susut

Adapun rumus yang digunakan untuk mencari luas tulangan susut yang dibutuhkan adalah seperti Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Luas Tulangan Susut yang Dibutuhkan

Mutu Baja (f_y)	Luas tulangan susut
\leq BJTD-30	$0,0020 \cdot b \cdot h$
BJTD-40	$0,0018 \cdot b \cdot h$
\geq BJTD-40	$0,0018 \cdot b \cdot h \cdot \left(\frac{400}{f_y} \right)$

Sedangkan untuk menghitung jarak tulangan yang diperlukan digunakan rumus berikut ini.

$$s = \frac{A\phi b}{A_s} \quad (3.26)$$

3.8.2. Pelat Lantai

Lantai jembatan berfungsi sebagai lantai untuk lalu lintas, merupakan balok yang disusun sedekimian sehingga mampu mendukung beban. Biasanya dipasang dalam arah melintang jembatan, di atas gelagar. Pada perencanaan lantai jembatan Lemah Abang direncanakan menggunakan pelat satu arah. Pelat satu arah yaitu pelat yang hanya ditumpu pada dua sisi yang saling berhadapan, ataupun pelat yang ditumpu pada keempat sisinya tetapi $L_y/L_x > 2$, sehingga hampir seluruh beban dilimpahkan pada sisi pendek.

Perhitungan tulangan pada lantai jembatan ditinjau selebar satu meter menggunakan rumus-rumus dan tahapan sebagai berikut.

1. Momen ultimit rencana

$$Mu = K.MS + K.MA + K.TT + K.EW \quad (3.27)$$

keterangan:

MS = momen yang ditimbulkan akibat berat sendiri,

MA = momen yang ditimbulkan akibat beban mati tambahan,

TT = momen yang ditimbulkan akibat beban truk,

EW = momen yang ditimbulkan akibat beban angin, dan

K = faktor beban ultimit.

2. Momen nominal awal

$$Mn = \frac{Mu}{0,9} \quad (3.28)$$

3. Nilai Rn

$$Rn = \frac{Mn}{b.d} \quad (3.29)$$

keterangan:

b = panjang slab jembatan yang ditinjau (mm) dan

d = tebal efektif slab beton (mm).

4. Nilai m

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \quad (3.30)$$

keterangan:

f_y = kuat tarik baja (MPa)

f'_c = kuat tekan beton (MPa).

5. Rasio tulangan ρ

Rasio tulangan minimum

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} \quad (3.31)$$

Rasio tulangan balance

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (3.32)$$

Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \rho_b \quad (3.33)$$

Rasio tulangan perlu

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \quad (3.34)$$

6. Luas tulangan pokok yang diperlukan

$$A_{\text{perlu}} = \rho \times b \times d \quad (3.35)$$

7. Jarak tulangan pokok

$$S_{\text{pokok}} = \frac{A_1 d \cdot b}{A_{\text{perlu}}} \quad (3.36)$$

8. Perencanaan tulangan susut

Adapun rumus yang digunakan untuk mencari luas tulangan susut yang dibutuhkan adalah seperti Tabel 3.12.

Tabel 3.12 Luas Tulangan Susut yang Dibutuhkan

Mutu Baja (f_y)	Luas tulangan susut
\leq BJTD-30	$0,0020.b.h$
BJTD-40	$0,0018.b.h$
\geq BJTD-40	$0,0018.b.h.\left(\frac{400}{f_y}\right)$

Sedangkan untuk menghitung jarak tulangan yang diperlukan digunakan rumus berikut ini.

$$s = \frac{A\phi b}{A_s} \quad (3.37)$$

3.8.3. Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang adalah gelagar yang membentang sepanjang jalan. Gelagar ini berfungsi untuk menahan beban yang memanjang diatas jalan. Adapun perencanaan gelagar memanjang menggunakan rumus-rumus dan tahapan-tahapan di bawah ini

1. Desain komponen struktur lentur

Ketentuan lentur desain, $\phi_b M_n$, dan kekuatan lentur yang diizinkan, M_n/Ω_b , harus ditentukan sebagai berikut.

$$\phi_b = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_b = 1,67 \text{ (DKI)}$$

dan kekuatan lentur nominal, M_n , harus ditentukan sesuai perhitungan.

a. Untuk $h/t_w \leq 3,76\sqrt{E/F_y}$, M_n harus ditentukan dari distribusi tegangan plastis pada penampang komposit untuk keadaan batas leleh (momen plastis).

b. Untuk $h/t_w > 3,76\sqrt{E/F_y}$, M_n harus ditentukan dari superposisi tegangan elastis, dengan memperhitungkan efek penopangan, untuk keadaan batas leleh (momen leleh).

2. Transfer beban antara balok baja dan pelat beton

Geser horizontal keseluruhan di muka dalam antara balok baja dan pelat beton harus diasumsikan disalurkan melalui *steel headed stud* atau angkur kanal baja, kecuali untuk balok dibungkus. Untuk aksi komposit dengan beton yang menahan tekan lentur, gaya geser nominal antara balok baja dan pelat beton disalurkan melalui angkur baja, antara titik dari momen positif maksimum dan titik dari momen nol harus ditentukan sebagai nilai terendah sesuai dengan keadaan batas dari kehancuran beton, leleh tarik dari penampang baja, atau kekuatan geser dari angkur baja

a. Kehancuran beton

$$V' = 0,85 \cdot f'c \cdot A_c \quad (3.38)$$

b. Leleh tarik dari penampang baja

$$V' = F_y \cdot A_s \quad (3.39)$$

c. Kekuatan geser dari *steel headed stud*

$$V' = \sum Q_n \quad (3.40)$$

keterangan:

A_c = luas pelat beton di lebar efektif (mm^2),

A_s = luas penampang melintang baja (mm^2)

$\sum Q_n$ = jumlah kekuatan geser nominal dari *steel headed stud* (kN)

3. Desain komponen untuk geser

a. Ketentuan umum

Kekuatan geser desain, $\phi_v V_n$, dan kekuatan geser izin, V_n / Ω_v , harus ditentukan sebagai berikut.

$$\Phi_v = 0,75 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_v = 2,00 \text{ (DKI)}$$

b. Sambungan geser

Bila gaya yang disalurkan pada suatu komponen struktur komposit dibungkus atau diisi beton melalui sambungan geser, kekuatan geser yang tersedia dari *steel headed stud* harus ditentukan sebagai berikut:

$$R_c = \sum Q_{cv} \quad (3.41)$$

keterangan:

$\sum Q_{cv}$ = jumlah dari kekuatan geser yang tersedia (kN)

3.8.4. Gelagar Melintang

Gelagar melintang adalah gelagar yang menahan beban secara melintang jalan. Terletak di bawah gelagar memanjang sehingga ukuran gelagar melintang lebih besar dari gelagar memanjang. Adapun perencanaan gelagar memanjang menggunakan rumus-rumus dan tahapan-tahapan di bawah ini

1. Desain komponen struktur lentur

a. Ketentuan umum

Ketentuan lentur desain, $\phi_b M_n$, dan kekuatan lentur yang diizinkan, M_n/Ω_b , harus ditentukan sebagai berikut.

1) Untuk semua ketentuan

$$\phi_b = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_b = 1,67 \text{ (DKI)}$$

dan kekuatan lentur nominal, M_n , harus ditentukan sesuai perhitungan.

2) Ketentuan berdasarkan asumsi bahwa titik-titik penumpu balok dan gelagar rotasi di sumbu longitudinalnya.

3) Untuk komponen struktur simetris tunggal dalam lengkungan tunggal dan semua komponen struktur simetris ganda:

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (3.42)$$

keterangan:

C_b = faktor modifikasi tekuk torsi-lateral untuk diagram momen nonmerata,

M_{maks} = nilai mutlak momen maksimum dalam segmen tanpa dibreising,

M_A = nilai mutlak momen pada titik $1/4$ dari segmen tanpa dibreising,

M_B = nilai mutlak momen pada sumbu segmen tanpa dibreising, dan

M_C = nilai mutlak momen pada titik $3/4$ segmen tanpa dibreising.

4) Pada komponen struktur simetris tunggal yang menahan lentur lengkungan terbalik, kekuatan tekuk torsi-lateral harus diperiksa untuk kedua sayap. Kekuatan lentur yang tersedia harus lebih besar dari atau

sama dengan momen perlu maksimum yang menyebabkan tekan di sayap diperhitungkan.

- b. Komponen struktur profil I kompak simetris ganda dan anal melengkung di sumbu major

Kekuatan lentur nominal, M_n , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh (momen plastis) dan tekuk torsi –lateral.

- 1) Pelelehan

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (3.43)$$

Keterangan:

F_y = tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari tipe baja yang digunakan dan

Z_x = modulus penampang plastis di sumbu x.

- 2) Tekuk torsi lateral

a) Bila $L_b \leq L_p$, keadaan batas dari tekuk torsi-lateral tidak boleh digunakan.

b) Bila $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,75F_y S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.44)$$

c) Bila $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (3.45)$$

dengan,

$$F_{cr} = \frac{Cb\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{rts}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{rts}\right)^2} \quad (3.46)$$

keterangan:

L_b = panjang antara titik-titik,

E = modulus elastisitas baja,

J = konstanta torsi,

S_x = modulus penampang di sumbu x, dan

h_0 = jarak antara titik berat sayap.

Pembatasan panjang L_p dan L_r ditentukan sebagai berikut.

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.47)$$

$$L_r = 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}} \quad (3.48)$$

dengan,

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x} \quad (3.49)$$

dan koefisien c ditentukan sebagai berikut

i. Untuk profil I simetris ganda $c = 1$ dan

ii. Untuk kanal $c = \frac{h_0}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

2. Desain komponen untuk geser

a. Ketentuan umum

Kekuatan geser desain, $\phi_v V_n$, dan kekuatan geser izin, V_n/Ω_v , harus ditentukan sebagai berikut.

$$\Phi_v = 0,90 \text{ (DFBK)}$$

$$\Omega_v = 1,67 \text{ (DKI)}$$

b. Komponen struktur dengan badan tidak diperkaku atau diperkaku

Kekuatan geser nominal, V_n , dari badan tidak diperkaku atau diperkaku menurut keadaan batas dari pelelehan geser dan tekuk geser adalah sebagai berikut.

$$V_n = 0,6 F_y A_{web} C_v \quad (3.50)$$

1) Untuk badan komponen struktur profil I canai panas dengan $h/t_w \leq$

$$2,24 \sqrt{E/F_y}$$

$$\Phi_v = 0,90 \text{ (DFBK)}$$

$$\Omega_v = 1,67 \text{ (DKI)}$$

dan,

$$C_v = 1,0$$

2) Untuk badan dari semua profil simetris ganda dan profil simetris tunggal serta kanal lainnya, kecuali PSB bundar, koefisien geser badan, C_v , ditentukan sebagai berikut.

a) Bila $h/t_w \leq 1,10\sqrt{K_v E/F_y}$

$$C_v = 1,0$$

b) Bila $1,10\sqrt{E/F_y} < h/t_w < 1,37\sqrt{K_v E/F_y}$

$$C_v = \frac{1,10\sqrt{K_v E/F_y}}{h/t_w}$$

c) Bila $h/t_w > 1,37\sqrt{K_v E/F_y}$

$$C_v = \frac{1,51K_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y}$$

keterangan:

A_{web} = luas badan (mm^2),

h = untuk profil canai panas, jarak bersih antara sayap dikurangi las sudut,

t_w = ketebalan badan (mm), dan

Koefisien tekuk geser pelat badan, K_v , ditentukan sebagai berikut.

i. Untuk badan tanpa pengaku transversal dan dengan $h/t_w < 260$, kecuali untuk badan profil T dimana $K_v = 1,2$.

ii. Untuk badan dengan pengaku transversal

$$K_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

keterangan:

a = jarak bersih antara pengaku transversal (mm)

3.8.5. Rangka Utama

Rangka utama merupakan struktur utama yang mendukung seluruh beban yang bekerja pada struktur jembatan rangka baja, baik beban eksternal maupun beban akibat berat sendiri yang diterima batang-batang pada rangka sehingga mengalami gaya tarik dan gaya tekan.

1. Batang tarik

Kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$, dan kekuatan tarik tersedia, P_n/Ω_t , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto

a. Kekuatan leleh tarik pada penampang bruto

$$P_n = F_y A_g \quad (3.51)$$

Keterangan:

F_y = tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari tipe baja yang digunakan dan

A_g = luas bruto dari komponen struktur

b. Kekuatan keruntuhan tarik pada penampang neto

$$P_n = F_u A_e \quad (3.52)$$

Dengan,

$$A_e = A_n U \quad (3.53)$$

Keterangan:

F_y = tegangan tarik minimum yang disyaratkan dari tipe baja yang digunakan dan

A_e = luas neto efektif

U = faktor shear lag

2. Batang tekan

a. Ketentuan umum

Kekuatan tekan desain, $\phi_c P_n$, dan kekuatan tekan tersedia, P_n/Ω_c , harus ditentukan sebagai berikut.

$$\Phi_v = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_v = 1,67 \text{ (DKI)}$$

b. Komponen struktur profil I tanpa elemen langsing

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari tekuk lentur dan tekuk torsi.

1) Tekuk lentur

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3.54)$$

dengan,

- a) Bila $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$, maka nilai F_{cr} yang digunakan adalah

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] \quad (3.55)$$

- b) Bila $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$, maka nilai F_{cr} yang digunakan adalah

$$F_{cr} = [0,877 F_e] \quad (3.56)$$

dengan,

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \right]$$

Keterangan:

F_{cr} = tegangan kritis

A_g = luas bruto dari komponen struktur

F_e = tegangan tekuk kritis elastis

K = faktor panjang efektif

L = panjang bentang

r = jari-jari girasi

2) Tekuk torsi

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3.57)$$

dengan,

- a) Tegangan tekuk elastis untuk komponen struktur simetris ganda

$$F_e = \left[\left(\frac{\pi^2 x E x C_w}{(KL)^2} \right) + (GJ) \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (3.58)$$

dengan,

$$C_w = \frac{I_y h_o^2}{4} \quad (3.59)$$

$$J = \frac{1}{3} [(2t f^3 b) + (t w^3 h_o)] \quad (3.60)$$

$$G = 77200 \text{ MPa} \quad (3.61)$$

Keterangan:

F_{cr} = tegangan kritis

A_g = luas bruto dari komponen struktur

F_e = tegangan tekuk kritis elastis

C_w = konstanta pilin

J = konstanta torsi

G = modulus elastis geser baja

3.8.6. Ikatan Angin

Ikatan angin berfungsi menahan gaya arah lateral pada rangka yang diakibatkan oleh gaya angin. Struktur ini berupa rangka batang, diletakkan pada batang atas dan batang bawah rangka utama.

1. Batang tarik

Kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$, dan kekuatan tarik tersedia, P_n / Ω_t , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto

a. Kekuatan leleh tarik pada penampang bruto

$$P_n = F_y A_g \quad (3.62)$$

Keterangan:

F_y = tegangan leleh minimum yang disyaratkan dari tipe baja yang digunakan dan

A_g = luas bruto dari komponen struktur

b. Kekuatan keruntuhan tarik pada penampang neto

$$P_n = F_u A_e \quad (3.63)$$

Dengan,

$$A_e = A_n U \quad (3.64)$$

Keterangan:

F_y = tegangan tarik minimum yang disyaratkan dari tipe baja yang digunakan dan

A_e = luas neto efektif

U = faktor shear lag

2. Batang tekan

a. Ketentuan umum

Kekuatan tekan desain, $\phi_c P_n$, dan kekuatan tekan tersedia, P_n / Ω_c , harus ditentukan sebagai berikut.

$$\Phi_v = 0,90 \text{ (DFBK)} \quad \Omega_v = 1,67 \text{ (DKI)}$$

b. Komponen struktur profil I tanpa elemen langsing

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari tekuk lentur dan tekuk torsi.

1) Tekuk lentur

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3.65)$$

dengan,

a) Bila $\frac{KL}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$, maka nilai F_{cr} yang digunakan

adalah

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] \quad (3.66)$$

b) Bila $\frac{KL}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$, maka nilai F_{cr} yang digunakan

adalah

$$F_{cr} = [0,877F_e] \quad (3.67)$$

dengan,

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \right]$$

Keterangan:

- F_{cr} = tegangan kritis
- A_g = luas bruto dari komponen struktur
- F_e = tegangan tekuk kritis elastis
- K = faktor panjang efektif
- L = panjang bentang
- r = jari-jari girasi

2) Tekuk torsi

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (3.68)$$

dengan,

a) Tegangan tekuk elastis untuk komponen struktur simetris ganda

$$F_e = \left[\left(\frac{\pi^2 E I_x C_w}{(KL)^2} \right) + (GJ) \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (3.69)$$

dengan,

$$C_w = \frac{I_y h_o^2}{4} \quad (3.70)$$

$$J = \frac{1}{3} [(2t f^3 b) + (t w^3 h_o)] \quad (3.71)$$

$$G = 77200 \text{ MPa} \quad (3.72)$$

Keterangan:

- F_{cr} = tegangan kritis
- A_g = luas bruto dari komponen struktur
- F_e = tegangan tekuk kritis elastis

- C_w = konstanta pilin
 J = konstanta torsi
 G = modulus elastis geser baja

3.8.7. Sambungan

Struktur baja terdiri dari elemen-elemen kecil yang digabung satu dengan lainnya membentuk elemen struktur lain yang lebih besar. Jenis-jenis alat sambung pada konstruksi baja adalah paku keling, baut, dan las. Pada perencanaan kali ini, alat sambung yang digunakan adalah jenis baut mutu tinggi yang dari segi biaya, kepraktisan dan kinerjanya mengungguli alat sambung lainnya.

Fungsi sambungan adalah mengalihkan gaya momen internal dari satu komponen struktur ke komponen lain sehingga pembebanan dapat diteruskan ke pondasi. Setiap komponen struktur, termasuk sambungan harus direncanakan minimal sama atau lebih besar dari gaya internal tadi, atau sekuat profil yang disambung.

1. Ukuran dan Penggunaan Lubang

Diameter lubang diberikan toleransi pelaksanaan untukantisipasi ketidakpresisian ukuran, bentuk toleransi diberikan dalam bentuk ukuran lubang baut yang diperbesar dari ukuran bautnya seperti yang ditunjukkan tabel 3.13 di bawah ini.

Tabel 3.13 Standarisasi Diameter Lubang Baut

Diameter Baut (mm)	Dimensi Lubang	
	Standar (mm)	Ukuran Lebih (mm)
M16	18	20
M20	22	24
M22	24	28
M24	27	30
M27	30	35
M30	33	38
\geq M36	$d + 3$	$d + 8$

(Sumber SNI 1729-2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural)

2. Spasi minimum dan jarak tepi minimum

Syarat jarak spasi antar baut minimum adalah $s \geq 3d$, di mana d = diameter baut nominal, sedangkan syarat untuk jarak tepi minimum adalah $st \geq 1,25d$, di mana d = diameter baut nominal. Jarak tepi minimum untuk berbagai ukuran lubang dapat dilihat pada Tabel 3.14 berikut ini.

Tabel 3.14 Jarak Tepi Minimum untuk Berbagai Ukuran Baut

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum (mm)
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	1,25d

(Sumber SNI 1729-2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural)

3. Kekuatan nominal baut

Baut memiliki kekuatan nominal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.15 di bawah ini.

Tabel 3.15 Kekuatan Nominal Baut

Deskripsi Baut	Kuat Tarik Nominal, F_{nt} (MPa)	Kuat Geser Nominal, F_{nv} (MPa)
Baut A307	310	188
Baut grup A (A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	620	457
Baut grup A (A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	780	457

Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	780	579
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,45 F_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,563 F_u$

(Sumber SNI 1729-2015 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural)

4. Kapasitas satu baut

$$Rn = F_{nv} \cdot A_b \quad (3.73)$$

Keterangan:

F_{nv} = kuat geser nominal baut

A_b = luas penampang baut

5. Jumlah kebutuhan baut

$$n = \frac{T_n}{R_n} \quad (3.74)$$

Keterangan:

T_n = kuat tarik atau tekan ultimate profil

R_n = kapasitas satu baut

6. Kekuatan sambungan

a. Kuat tumpu (geser) pelat

$$R_{na} = 1,5 \cdot l \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot b \cdot t \cdot F_u \quad (3.75)$$

$$R_{nb} = 1,5 \cdot l \cdot c \cdot t \cdot F_u \leq 3 \cdot d \cdot b \cdot t \cdot F_u \quad (3.76)$$

dengan,

$$\phi Rn = 0,75.[(n1.Rna) + (n2.Rnb)] \quad (3.77)$$

Keterangan:

$lc1$ = jarak bersih antara baut dan tepi pelat terluar

$lc2$ = jarak bersih antara baut dan baut

t = tebal profil

Fu = tegangan putus minimum

$n1$ = jumlah jarak bersih antara baut dan tepi pelat terluar

$n2$ = jumlah jarak bersih antara baut dan baut

b. Kuat geser blok

$$Rn = 0,6.Fu.A_{nv} + U_{bs}.Fu.A_{nt} \leq 0,6.Fy.A_{gv} + U_{bs}.Fu.A_{nt} \quad (3.78)$$

Keterangan:

A_{nv} = luas neto (dengan lubang) potongan mengalami gaya geser yaitu garis batas blok searah gaya

A_{gv} = luas utuh (tanpa lubang) potongan mengalami gaya geser yaitu garis batas blok searah gaya

A_{nt} = luas neto (dengan lubang) potongan mengalami gaya tarik yaitu garis batas blok tegak lurus gaya

Fy = tegangan leleh minimum

Fu = tegangan putus minimum

U_{bs} = untuk tegangan tarik merata $U_{bs} = 1$, dan yang tidak merata $U_{bs} = 0,5$

3.9. Analisis Jembatan Rangka Baja Berdasarkan Metode LRFD

Dalam perencanaan struktur baja ada dua metode yang sering digunakan. Metode tersebut adalah perencanaan berdasarkan tegangan kerja/allowable stress design (ASD) dan perencanaan kondisi batas/ load and resistance factor design (LRFD). Perencanaan struktur baja mulai beralih dalam 20 tahun terakhir dari ASD ke konsep LRFD, karena metode ini jauh lebih rasional. Metode LRFD adalah metode-metode perencanaan kondisi batas/limit states design metode ini didasarkan

pada ilmu probabilitas, sehingga dapat mengantisipasi segala ketidakpastian dari material maupun beban (Setiawan, 2008). Secara umum struktur dikatakan aman apabila memenuhi persyaratan tahanan atau kekuatan dari sebuah komponen lebih besar dibandingkan dengan beban yang harus dipikul struktur tersebut, atau dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\Phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (3.79)$$

Dimana,

R_n : Tahanan nominal

Φ : Faktor Tahanan

Q_i : Beban (beban angin, beban mati, beban hidup, gempa, dan lain-lain)

γ_i : Faktor beban

3.10. Perencanaan Struktur Bawah Jembatan

Perencanaan struktur bawah merupakan perencanaan pada bagian jembatan di bawah struktur atas yang merupakan struktur rangka baja. Perencanaan struktur bawah berfungsi mendukung struktur di atasnya. Perencanaan struktur bawah meliputi *abutment*, pilar, dan pondasi.

3.10.1. *Abutment*

Abutment adalah bangunan bawah jembatan yang terletak pada kedua ujung jembatan, berfungsi sebagai pemikul seluruh beban hidup (angin, kendaraan, dll) dan mati (beban gelagar, dll) pada jembatan. *Abutment* merupakan suatu peralihan dari jembatan kepada badan lintasan dari tanah dan biasanya menutupi badan lintasan ini tegak lurus dan berfungsi untuk meneruskan beban dari bangunan atas, baik beban mati atau beban hidup, berat sendiri dari *abutment* dan tekanan tanah ke tanah pondasi.

Abutment jembatan memiliki banyak tipe dan jenisnya, seperti *abutment* tipe balok kepala, *abutment* tipe T terbalik, *abutment* tipe T terbalik dengan penopang, *abutment* tipe semi gravitasi, dan *abutment* tipe gravitasi. Pemilihan tipe-tipe *abutment* tersebut dipilih berdasarkan tinggi pemakaian *abutment*. Berikut ini diberikan tabel atau grafik yang menunjukkan hubungan antara tipe *abutment* dengan tinggi pemakaian.

Tabel 3.16 Hubungan Antara Tipe Abutment dan Tinggi Pemakaian

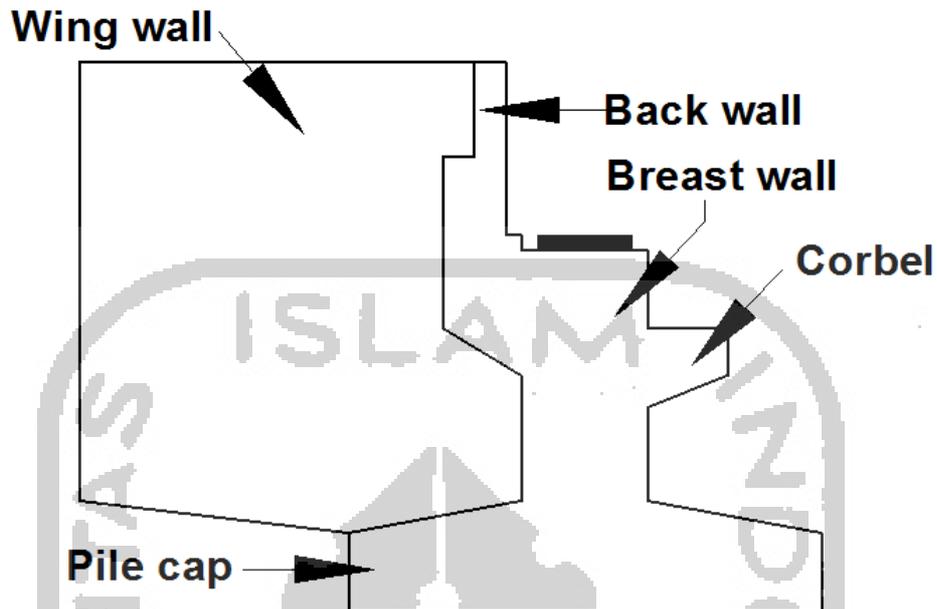
Tipe	Tinggi Pemakaian (m)									
	1		5		10		15		20	
Tipe T Terbalik dengan Penopang										
Tipe T Terbalik										
Tipe Semi Gravitasi										
Tipe Gravitasi										

(Sumber Mekanika Tanah & Teknik Pondasi, Penerjemah Ir. L. Taulu dkk, Ir. Suyono Sosrodarsono – Kazuto Nakazawa - 1981)



Gambar 3.8 Tipe-tipe Abutment

Abutment pada perencanaan ulang Jembatan Lemah Abang terdiri dari beberapa bagian, yaitu *pile cap*, *back wall*, *breast wall*, *corbel*, dan *wing wall*. Bagian-bagian abutment tersebut untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 3.9 Abutment Jembatan

Menurut RSNI T-02-2005, kombinasi beban untuk perencanaan *abutment* dihitung berdasarkan tegangan kerja berlebih. Aksi tetap harus digabungkan dan dihitung bekerja bersama-sama, akan tetapi apabila aksi tetap bekerja mengurangi pengaruh total, kombinasi beban harus diperhitungkan dengan menghilangkan aksi tersebut, apabila kehilangan tersebut bisa diterima. Kombinasi beban lalu lintas harus terdiri dari 1) pembebanan lajur "D" atau pembebanan truk "T", ditambah gaya sentrifugal, dan pembebanan pejalan kaki; 2) pembebanan lajur "D" atau pembebanan truk "T", ditambah gaya rem, dan pembebanan pejalan kaki. Kombinasi yang digunakan untuk beban lalu lintas harus diambil yang paling berbahaya. Pengaruh dari gesekan pada perletakan harus dimasukkan sebagai aksi tetap atau pengaruh temperatur, diambil mana yang cocok. Beban angin harus termasuk beban angin yang bekerja pada beban hidup kalau pembebanan lajur "D" termasuk dalam kombinasi.

Menurut RSNI T-02-2005, beberapa kombinasi beban mempunyai probabilitas kejadian yang rendah dan jangka waktu yang pendek. Untuk kombinasi yang demikian maka tegangan yang berlebihan diperbolehkan berdasarkan prinsip

tegangan kerja. Tegangan berlebihan yang diberikan dalam Tabel 3.17 di bawah ini adalah sebagai persentase dari tegangan kerja yang diizinkan.

Tabel 3.17 Kombinasi Beban untuk Perencanaan Tegangan Kerja

Aksi	Kombinasi No.						
	1	2	3	4	5	6	7
Aksi tetap	X	X	X	X	X	X	X
Beban lalu lintas	X	X	X	X	-	-	X
Pengaruh temperatur	-	X	-	X	-	-	-
Arus/hanyutan/hidro/gaya apung	X	X	X	X	X	-	-
Beban angin	-	-	X	X	-	-	-
Pengaruh gempa	-	-	-	-	X	-	-
Beban tumbukan	-	-	-	-	-	-	X
Beban pelaksanaan	-	-	-	-	-	X	-
Tegangan berlebihan yang diperbolehkan	0%	25%	25%	40%	50%	30%	50%

(Sumber RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan Jembatan)

Abutment harus direncanakan aman terhadap gaya guling dan gaya geser yang bekerja pada *abutment* tersebut, baik dari arah memanjang jembatan maupun dari arah melintang jembatan. Perhitungan kontrol stabilitas terhadap gaya guling dan gaya geser menggunakan rumus seperti berikut ini

1. Kontrol stabilitas guling pada *abutment*:

$$M_p = P \times \frac{B}{2} \times (1 + k) \quad (3.80)$$

$$SF = \frac{M_p}{M} \geq 2,2 \quad (3.81)$$

keterangan:

M_p = momen penahan guling,

M = momen penyebab guling,

B = lebar *abutment*,

k = persen kelebihan yang diizinkan,

SF = angka aman

2. Kontrol stabilitas geser pada *abutment*:

$$H = [(C \cdot Bx \cdot By) + (P \cdot \tan \phi)] \times (1 + k) \quad (3.82)$$

$$SF = \frac{H}{T} \geq 2,2 \quad (3.83)$$

keterangan:

H = gaya penahan geser,

T = gaya penyebab geser,

P = gaya aksial dari atas,

ϕ = sudut gesek dalam,

Bx = lebar abutment arah memanjang jembatan,

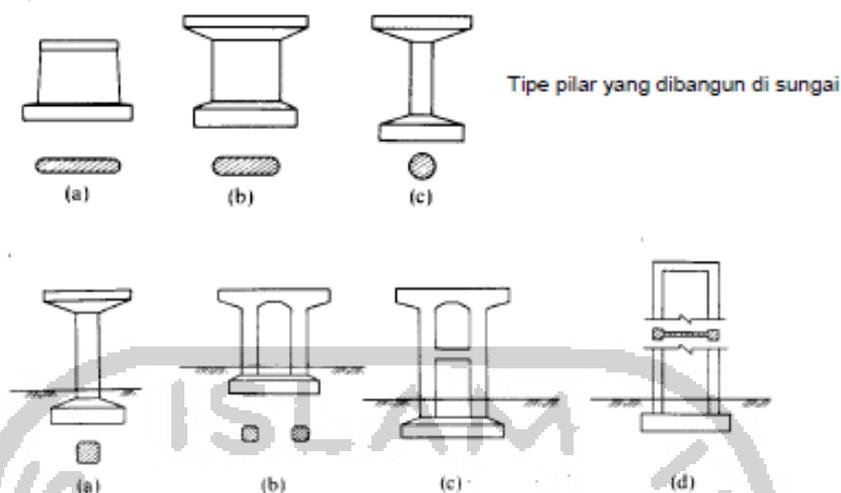
By = lebar abutment arah melintang jembatan,

k = persen kelebihan yang diizinkan,

SF = angka aman

3.10.2. Pilar

Pilar adalah suatu bangunan yang didesain untuk meneruskan beban dari bangunan atas, baik beban mati atau beban hidup, berat sendiri dari pilar ke tanah pondasi. Dari segi jenis, pilar dibuat dari beton bertulang minimal mutu sedang. Pemilihan bentuk pilar dipilih berdasarkan penempatan pilar tersebut, apakah ditempatkan di sungai atau tidak. Apabila pilar jembatan ditempatkan di sungai, maka yang harus dipertimbangkan adalah memilih bentuk pilar yang sekecil mungkin mempengaruhi arus air sungai terutama pada waktu banjir. Bentuk-bentuk umum pilar yang dibangun di sungai serta di darat adalah sebagai berikut.



Gambar 3.10 Tipe-Tipe Pilar

(Sumber Mekanika Tanah & Teknik Pondasi, Penerjemah Ir. L. Taulu dkk, Ir. Suyono Sosrodarsono – Kazuto Nakazawa - 1981)

Menurut RSNI T-02-2005, kombinasi beban untuk perencanaan pilar dihitung berdasarkan tegangan kerja berlebih. Aksi tetap harus digabungkan dan dihitung bekerja bersama-sama, akan tetapi apabila aksi tetap bekerja mengurangi pengaruh total, kombinasi beban harus diperhitungkan dengan menghilangkan aksi tersebut, apabila kehilangan tersebut bisa diterima. Kombinasi beban lalu lintas harus terdiri dari 1) pembebanan lajur “D” atau pembebanan truk “T”, ditambah gaya sentrifugal, dan pembebanan pejalan kaki; 2) pembebanan lajur “D” atau pembebanan truk “T”, ditambah gaya rem, dan pembebanan pejalan kaki. Kombinasi yang digunakan untuk beban lalu lintas harus diambil yang paling berbahaya. Pengaruh dari gesekan pada perletakan harus dimasukkan sebagai aksi tetap atau pengaruh temperatur, diambil mana yang cocok. Beban angin harus termasuk beban angin yang bekerja pada beban hidup kalau pembebanan lajur “D” termasuk dalam kombinasi.

Menurut RSNI T-02-2005, beberapa kombinasi beban mempunyai probabilitas kejadian yang rendah dan jangka waktu yang pendek. Untuk kombinasi yang demikian maka tegangan yang berlebihan diperbolehkan berdasarkan prinsip tegangan kerja. Tegangan berlebihan yang diberikan dalam tabel 3.18 di bawah ini adalah sebagai persentase dari tegangan kerja yang diizinkan.

Tabel 3.18 Kombinasi Beban untuk Perencanaan Tegangan Kerja

Aksi	Kombinasi No.						
	1	2	3	4	5	6	7
Aksi tetap	X	X	X	X	X	X	X
Beban lalu lintas	X	X	X	X	-	-	X
Pengaruh temperatur	-	X	-	X	-	-	-
Arus/hanyutan/hidro/gaya apung	X	X	X	X	X	-	-
Beban angin	-	-	X	X	-	-	-
Pengaruh gempa	-	-	-	-	X	-	-
Beban tumbukan	-	-	-	-	-	-	X
Beban pelaksanaan	-	-	-	-	-	X	-
Tegangan berlebihan yang diperbolehkan	0%	25%	25%	40%	50%	30%	50%

(Sumber RSNI T-02-2005 Standar Pembebanan Jembatan)

Pilar harus direncanakan aman terhadap gaya guling dan gaya geser yang bekerja pada pilar tersebut, baik dari arah memanjang jembatan maupun dari arah melintang jembatan. Perhitungan kontrol stabilitas terhadap gaya guling dan gaya geser menggunakan rumus seperti berikut ini

1. Kontrol stabilitas guling pada pilar:

$$M_p = P \times \frac{B}{2} \times (1 + k) \quad (3.84)$$

$$SF = \frac{M_p}{M} \geq 2,2 \quad (3.85)$$

keterangan:

M_p = momen penahan guling,

M = momen penyebab guling,

B = lebar pilar,

k = persen kelebihan yang diizinkan,

SF = angka aman

2. Kontrol stabilitas geser pada pilar:

$$H = [(C \cdot Bx \cdot By) + (P \cdot \tan \phi)] \times (1 + k) \quad (3.86)$$

$$SF = \frac{H}{T} \geq 2,2 \quad (3.87)$$

keterangan:

H = gaya penahan geser,

T = gaya penyebab geser,

P = gaya aksial dari atas,

ϕ = sudut gesek dalam,

Bx = lebar pilar arah memanjang jembatan,

By = lebar pilar arah melintang jembatan,

k = persen kelebihan yang diizinkan,

SF = angka aman

3.10.3. Pondasi

Pondasi adalah suatu bagian dari konstruksi bangunan yang memiliki fungsi untuk menempatkan bangunan dan meneruskan beban yang disalurkan dari struktur atas ke tanah dasar dan tidak melampaui kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila kekuatan tanah dilampaui, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi, kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada di atas pondasi. Persyaratan umum yang harus dipenuhi oleh pondasi antara lain:

1. Terhadap tanah dasar:
 - a. Pondasi harus mempunyai bentuk, ukuran dan struktur sedemikian rupa sehingga tanah dasar mampu memikul gaya-gaya yang bekerja.
 - b. Penurunan yang terjadi tidak boleh terlalu besar/tidak merata.
 - c. Bangunan tidak boleh bergeser atau mengguling.
2. Terhadap struktur pondasi sendiri:
 - a. Struktur pondasi harus cukup kuat sehingga tidak pecah akibat gaya yang bekerja

Pemilihan jenis pondasi yang akan digunakan sebagai struktur bawah dipengaruhi oleh berbagai faktor antara lain kondisi tanah dasar, beban yang diterima pondasi, peraturan yang berlaku, biaya, kemudahan pelaksanaannya dan

sebagainya. Berdasarkan elevasi kedalamannya, maka pondasi dibedakan menjadi pondasi dangkal (shallow foundation) dan pondasi dalam (deep foundation) (Das, 1998).

Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang, dan pondasi rakit. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi tiang. Pada prinsipnya, pondasi dalam adalah pondasi yang di dalam mendukung beban bangunan mengandalkan tahanan ujung dan tahanan gesek dindingnya. Sedangkan pondasi dangkal hanya mengandalkan tahanan ujungnya saja, karena tahanan gesek dindingnya kecil. (Hardiyatmo, 2002).

Berdasarkan ketentuan umum yang ada, pemilihan pondasi yang digunakan berdasarkan nilai rasio kedalaman tanah yang mampu mendukung beban yang bekerja (D) dengan lebar pondasi (B). Jika $\frac{D}{B} < 4$, tipe pondasi yang digunakan adalah tipe pondasi telapak langsung (dangkal). Jika $\frac{D}{B} \geq 10$, tipe pondasi yang digunakan adalah tipe pondasi tiang (dalam). Jika $4 \leq \frac{D}{B} < 10$, tipe pondasi yang digunakan adalah tipe pondasi sumuran (peralihan). (Suryolelono, 1995).

Langkah-langkah perancangan pondasi adalah sebagai berikut (Hardiyatmo, 2010):

1. Menentukan jumlah beban efektif yang akan ditransfer ke tanah di bawah pondasi.
2. Menentukan nilai kapasitas dukung ijin (q_a). Luas dasar pondasi, secara pendekatan ditentukan dari membagi jumlah beban efektif dengan kapasitas dukung ijin (q_a).
3. Didasarkan pada tekanan yang terjadi pada dasar pondasi, dapat dilakukan perancangan struktur dari pondasinya, yaitu dengan menghitung momen-momen lentur dan gaya-gaya geser yang terjadi.

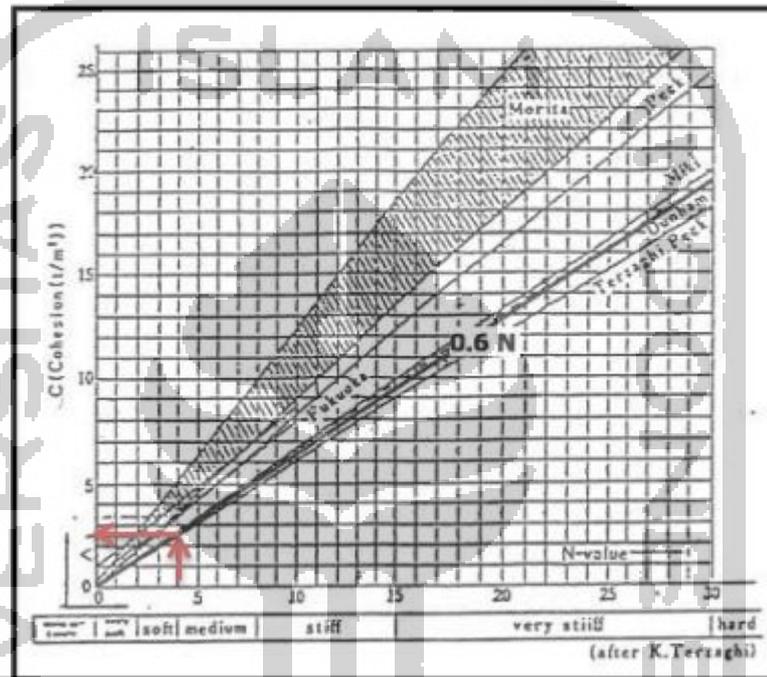
3.11. Korelasi Nilai SPT dengan Nilai-nilai Parameter Tanah

Seorang perencana dalam kapasitas sebagai mahasiswa, tidak bisa dipungkiri ada kalanya terkendala dengan yang namanya keterbatasan data. Oleh karena itu, untuk mengakali kendala tersebut perencana bisa melakukan korelasi data yang ada

untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan seperti yang dicontohkan di bawah ini.

3.11.1. Korelasi Nilai SPT terhadap Kohesi (C_u)

Nilai Kohesi (C_u) menunjukkan besarnya kohesi tanah dalam kondisi tak terdrainase undrained shear strength (C_u). Berdasarkan grafik pada gambar, secara umum nilai C_u dapat diambil sebesar 0,6 kali nilai NSPT



Gambar 3.11 Hubungan Nilai SPT dengan Kohesi

(Sumber: Terzaghi, 1943)

3.11.2. Korelasi Nilai SPT terhadap Sudut Geser Dalam (ϕ)

Nilai sudut geser dalam (ϕ) merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam (ϕ) adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya. Berdasarkan tabel di bawah nilai sudut geser dalam (ϕ) dapat ditentukan jika nilai SPT sudah didapat.

Tabel 3.19 Hubungan Nilai SPT dengan Sudut Geser Dalam (ϕ)

Nilai NSPT	Sudut Geser Dalam (ϕ)
< 4	< 30
4 – 10	30 – 35
10 – 30	35 – 40
30 – 50	40 – 45
> 50	> 45

(Sumber: Begemann, 1965)

3.11.3. Korelasi Jenis Tanah terhadap Berat Volume Tanah (γ_s)

Nilai berat volume tanah (γ_s) merupakan rasio antara berat tanah dengan volume tanah. Berdasarkan Tabel 3.20 di bawah nilai berat volume tanah (γ_s) dapat ditentukan jika jenis tanah sudah didapat.

Tabel 3.20 Hubungan Jenis Tanah dengan Berat Volume Tanah (γ_b)

Jenis Tanah	Berat Volume Tanah (kN/m^3)
Kerikil	15 – 17
Pasir	13 – 16
Lanau	14 – 18
Lempung	14 - 21

(Sumber: John Wiley & Sons, 2000)