

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Dasar Perancangan dan Pemilihan Bentuk Jembatan

Pemilihan jembatan sistem rangka pelengkung di pilih dalam studi ini dengan alasan ketika jembatan sistem rangka pelengkung menahan beban akibat berat sendiri dan beban lalu lintas, setiap bagian pelengkung menerima gaya tekan yang membuat jembatan pelengkung lebih efisien dari jembatan balok. Kekuatan struktur jembatan pelengkung juga masih dibatasi. Untuk jembatan yang struktur utamanya diatas lantai kendaraan, semakin besar sudut kelengkungannya (semakin tinggi lengkungannya) maka pengaruh gaya tekan akan semakin kecil, namun itu berarti bentangnya menjadi lebih kecil. Jika diinginkan membuat jembatan pelengkung dengan bentang panjang, maka sudut pelengkung harus diperkecil sehingga gaya tekan menjadi lebih besar dan diperlukan abutmen yang lebih besar untuk menahan gaya horizontal tersebut. Bentang jembatan pelengkung dibatasi dari 50 sampai 150 m.

Bentuk jembatan pelengkung adalah inovasi dari peradaban manusia yang memiliki nilai estetika tinggi namun memiliki struktur yang sangat kuat yang terbukti jembatan pelengkung Romawi kuno masih berdiri sampai sekarang (*civil in action*, 2009). Hal tersebut merupakan dasar dalam pemilihan bentuk Jembatan Tedong Tedong yang dibahas dalam tugas akhir ini. Bentang jembatan yang direncanakan dalam tugas akhir ini sebesar 60 m, sehingga dapat dirancang dengan sistem rangka pelengkung dengan menggunakan

rangka baja sebagai struktur utama. Jembatan Tedong Tedong dirancang tidak memiliki pilar untuk menghindari terjadinya tumbukan pada jembatan.

3.2. Pembebanan pada Jembatan

Standar acuan yang dipakai pada perencanaan adalah SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan, beban dan gaya yang digunakan dalam perhitungan pembebanan jembatan dibagi menjadi beban permanen, beban lalu lintas, aksi lingkungan dan aksi lainnya.

3.2.1. **Beban permanen**

Massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian bangunan adalah massa dikalikan dengan percepaan gravitasi (g). Percepatan gravitasi yang digunakan dalam standar ini adalah $9,81 \text{ m/s}^2$. 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 (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35 \text{ MPa}$	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105 \text{ MPa}$	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$

Tabel 3.2. Lanjutan Berat Isi untuk Beban Mati

8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu ringan	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Sumber: SNI 1725:2016

1. Berat sendiri (Beban mati)

Berat sendiri (beban mati) dari jembatan adalah berat dari bagian jembatan tersebut, elemen-elemen struktural dan non-struktural yang dipikul. Bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen non-struktural yang dianggap tetap. Faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Faktor Beban untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^s)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^u)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja,	1,0	1,10	0,90
	Aluminium	1,0	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,0	1,20	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,30	0,75
	Kayu	1,0	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725:2016

2. Beban mati tambahan / utilitas

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. Semua jembatan harus direncanakan untuk bisa memikul beban tambahan yang berupa aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali kemudian hari, kecuali ditentukan lain oleh instansi yang berwenang.

Pengaruh dari alat pelengkap dan sarana umum yang ditempatkan pada jembatan seperti pipa saluran air bersih, saluran air kotor dan lain-lainnya harus dihitung setepat mungkin dan beratnya ditinjau pada keadaan kosong dan penuh sehingga kondisi yang paling membahayakan dapat diperhitungkan.

Tabel 3.4. Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^s)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^u)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,0	1,40	0,80

Catatan⁽¹⁾: faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk beban utilitas

Sumber: SNI 1725:2016

3.2.2. Beban lalu lintas

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. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar jalur kendaraan.

Beban truk “T” adalah suatu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Tiap gandar terdiri dari dua bidang kontak pembebanan yang dimaksud sebagai simulasi pengaruh roda kendaraan berat. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

Secara umum, beban “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang sampai panjang, sedangkan beban “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

1. Lajur lalu lintas rencana

Jumlah jalur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *interger* dari hasil pembagian lebar jembatan (w) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Perencana harus memperhitungkan kemungkinan berubahnya lebar bersih jembatan dimasa depan sehubungan dengan perubahan fungsi dari bagian jembatan.

Tabel 3.5. Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w < 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10.000$	3
	$10.000 \leq w < 12.500$	4
	$12.500 \leq w < 15.250$	5
	$w \geq 15.250$	6
Dua Arah, dengan Median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10.750$	3
	$11.000 \leq w \leq 13.500$	4
	$13.750 \leq w \leq 16.250$	5
	$w \geq 16.500$	6
Catatan (1) : Untuk tipe jembatan tipe lain, jumlah lajur lalu lintas rencana harus ditentukan oleh instansi yang berwenang.		
Catatan (2) : Lebar jalur kendaraan adalah jarak minimum antara kerb. atau rintangan untuk satu arah atau jarak antara kerb/rintangan/median untuk banyak arah.		

Sumber: SNI 1725:2016

2. Beban lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" terdiri dari beban tersebar merata (BTR) " q " yang digabung dengan beban garis (BGT) " p " seperti yang terlihat di Gambar

3.1. Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa, dimana besarnya q tergantung pada panjang total yang dibebani " L " seperti berikut:

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}, \quad (3-1)$$

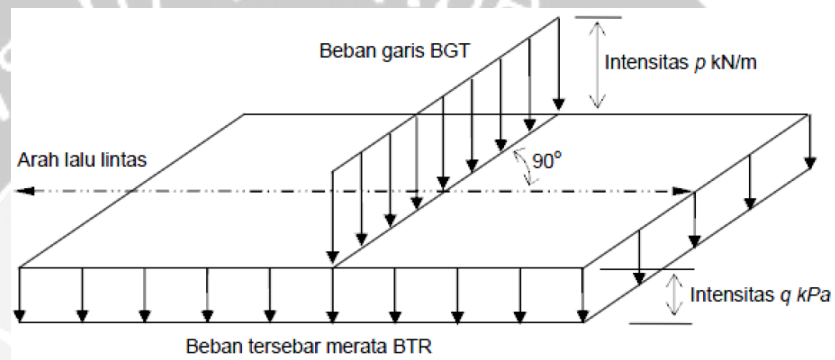
$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa}. \quad (3-2)$$

keterangan:

q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan.

L = panjang total jembatan yang dibebani (m)

$$1 \text{ kPa} = 0,001 \text{ Mpa} = 0,01 \text{ kg/cm}^2$$



Sumber: SNI 1725:2016

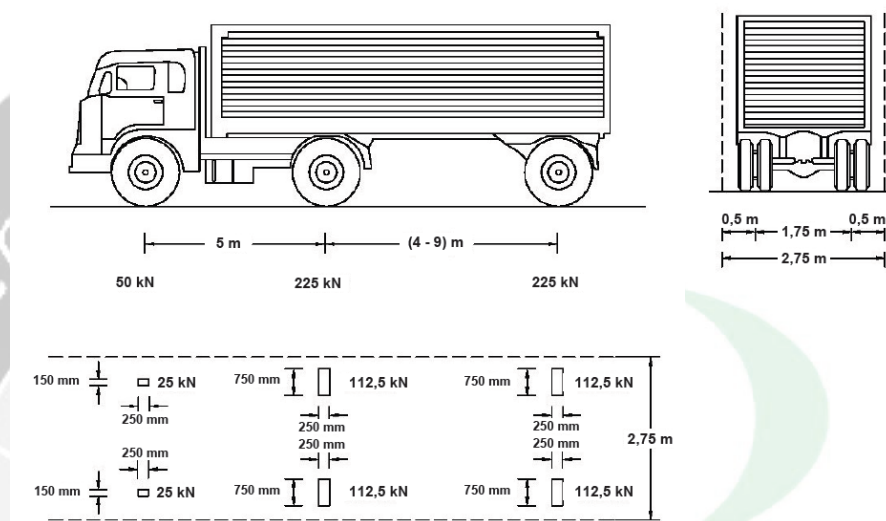
Gambar 3.1. Beban Lajur “D”

Beban garis (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m.

3. Beban truk “T” (TT)

Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti terlihat dalam Gambar 3.2. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 (dua) beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 (dua) as tersebut bisa diubah-ubah antara 4,0 m sampai 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang

jembatan. Terlepas dari panjang jembatan atau susunan bentang, hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana.



Sumber: SNI 1725:2016

Gambar 3.2. Pembebanan Truk “T” (500 kN)

4. Faktor beban dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan. Besarnya FBD tergantung kepada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya 2 sampai 5 Hz untuk kendaraan berat dan frekuensi dari getaran dan lentur. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen. FBD ini diterapkan pada keadaan batas daya layan dan batas ultimit.

Untuk pembebanan “D”, FBD merupakan fungsi dari panjang bentang ekuivalen seperti tercantum dalam Gambar 3.3. Untuk bentang tunggal panjang bentang ekuivalen diambil sama dengan panjang bentang

sebenarnya. Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{av}L_{max}} \quad (3-3)$$

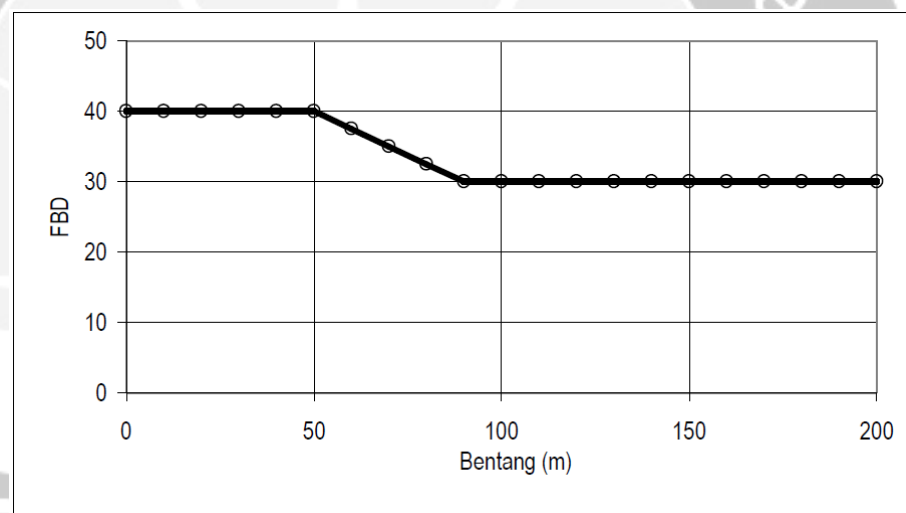
keterangan:

L_E = panjang bentang ekuivalen

L_{av} = panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambung secara menerus

L_{max} = panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambung secara menerus

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%.



Sumber: RSNI T-02-2005

Gambar 3.3. FBD untuk BGT pada Pembebanan Lajur "D"

5. Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil 25% dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR)

Gaya rem tersebut ditempatkan di semua lajur rencana dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini dianggap bekerja horizontal dengan jarak 1800 mm di atas permukaan jalan.

6. Beban pejalan kaki

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

7. Beban fatik

Beban fatik merupakan satu beban truk dengan tiga gandar, dimana jarak gandar dan gandar belakang merupakan jarak yang konstan sebesar 5000 mm. Frekuensi beban fatik harus diambil sebesar Lalu Lintas Harian (LHR) untuk satu jalur lalu lintas rencana. Frekuensi ini harus digunakan untuk semua komponen jembatan, juga komponen jembatan yang memikul jumlah truk yang lebih sedikit. Jika tidak ada informasi yang lebih lengkap dan akurat, maka perencana dapat menentukan jumlah truk harian rata-rata satu jalur sebesar:

$$LHR_{SL} = p_t \times LHR \quad (3-4)$$

keterangan:

LHR = jumlah truk rata-rata per hari dalam satu arah selama umur rencana

LHR_{SL} = jumlah truk rata-rata per hari dalam satu lajur selama umur rencana

P_t = fraksi truk dalam satu lajur (Tabel 3.6).

Tabel 3.6. Fraksi Lalu Lintas Truk dalam Satu Lajur (p)

Jumlah lajur truk	p_t
1	1,00
2	0,85
3 atau lebih	0,80

Sumber: SNI 1725:2016

Bila tidak terdapat informasi yang akurat mengenai lalu lintas harian rata-rata, maka dapat digunakan LHR berdasarkan klasifikasi jalan sesuai dengan tabel berikut:

Tabel 3.7. LHR berdasarkan Klasifikasi Jalan

Kelas fungsional		Kelas rencana		
		Tipe I : kelas	Tipe II	
			LHR	kelas
Primer	Arteri	I	Semua lalu lintas	I
	Kolektor	II	≥ 10.000 < 10.000	I II
Sekunder	Arteri	II	≥ 20.000	I
			< 20.000	II
	Kolektor	N/A	≥ 6.000	II
			< 6.000	III
	Lokal	N/A	≥ 500 < 500	III IV

Sumber: SNI 1725:2016

3.2.3. Aksi lingkungan

Aksi lingkungan terdiri dari pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa dan penyebab-penyebab alamiah lainnya.

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. Perencana mempunyai tanggung jawab untuk mengidentifikasi kejadian-kejadian khusus setempat dan harus memperhitungkannya dalam perencanaan.

1. Gaya akibat deformasi

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur. Prosedur ini digunakan untuk

perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar yang terbuat dari beton dan baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 3.8. Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (Δ_T) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut:

$$\Delta_T = \alpha L (T_{\max \text{ design}} - T_{\min \text{ design}}) \quad (3-5)$$

keterangan:

L = panjang komponen jembatan (mm)

α = koefisien muai temperatur (mm/mm/°C)

Tabel 3.8. Temperatur Jembatan Rata-rata Nominal

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton diatas gelagar atau boks beton	15°C	40°C
Lantai beton diatas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	40°C
Lantai pelat baja diatas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	45°C
CATATAN (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m di atas permukaan laut		

Sumber: SNI 1725:2016

Besarnya nilai koefisien perpanjangan dan modulus elastisitas yang digunakan untuk menghitung besarnya pergerakan dan gaya yang terjadi diberikan dalam tabel berikut:

Tabel 3.9. Sifat Bahan Rata-rata Akibat Pengaruh Temperatur

Bahan	Koefisien Perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastisitas (MPa)
Baja	12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	200.000
Beton: Kuat tekan <30 MPa	10×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	$4700\sqrt{f_c'}$
Kuat tekan >30 MPa	11×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$	$4700\sqrt{f_c'}$

Sumber: SNI 1725:2016

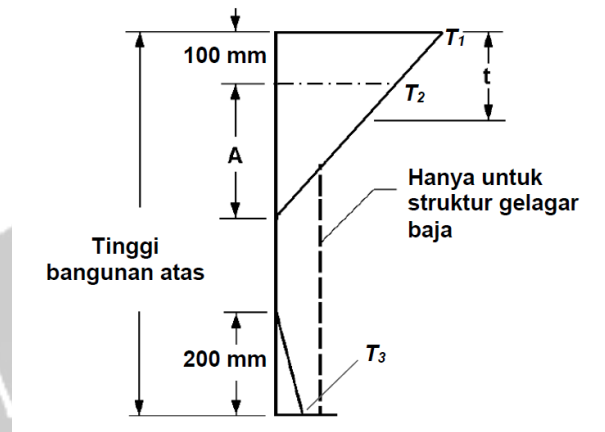
Variasi temperatur (EG) di dalam bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang pada bagian atas permukaan lantai dan pelapisan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam. Gradien temperatur nominal arah vertical untuk bangunan atas beton dan baja dapat dilihat pada Gambar 3.4. Parameter yang digunakan untuk mencakup T_1 , T_2 dan T_3 dengan nilai sesuai pada tabel berikut.

Tabel 3.10. Parameter T_1 , T_2 dan T_3

Lokasi Jembatan	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	T_3 ($^{\circ}\text{C}$)
< 500 m di atas permukaan laut	12	8	$0 \leq T_3 < 5$
> 500 m di atas permukaan laut	17	11	

Sumber: SNI 1725:2016

Nilai T_3 dapat diambil sebesar 0 kecuali bila dilakukan kajian spesifik situs, tetapi nilai T_3 diambil tidak melebihi 5°C



Sumber: SNI 1725:2016

Gambar 3.4. Gardien Temperatur Vertikal Bangunan Atas Beton dan Baja

2. Beban angin

a. Tekanan angin horizontal

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. Untuk jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10.000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana (V_{DZ}) harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (3-6)$$

keterangan:

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

V_{10} = kecepatan angin pada elevasi 10.000 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 10.000 mm.

- Z = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10.000$ mm)
 V_0 = kecepatan gesekan angin (km/jam)
 Z_0 = panjang gesekan di hulu jembatan (mm)

b. Beban angin pada struktur (EW_s)

Perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3-7)$$

keterangan:

P_B = tekanan angin dasar (MPa)

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.

c. Gaya angin pada kendaraan (EW_l)

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.

d. Tekanan angin vertikal

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang mempersentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar $9,6 \times 10^{-4}$ Mpa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet 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.

3. Pengaruh gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (3-8)$$

keterangan:

E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = koefisien respons gempa elastis

R_d = faktor modifikasi respons

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

Koefisien respons elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Perhitungan pengaruh gempa terhadap jembatan termasuk beban gempa, cara analisis, peta gempa, dan detail struktur mengacu pada SNI 2833:2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan.

3.2.4. Aksi lainnya

1. Gesekan pada perletakan

Gesekan pada perletakan termasuk pengaruh kekakuan geser dari perletakan elastomer. Gaya akibat gesekan pada perletakan dihitung dengan menggunakan beban tatap, dan harga rata-rata dari koefisien gesekan (kekakuan geser apabila menggunakan perletakan elastomer).

2. Pengaruh getaran

Getaran yang diakibatkan oleh adanya kendaraan yang lewat diatas jembatan merupakan keadaan batas daya layan apabila tingkat getaran menimbulkan bahaya dan ketidaknyamanan seperti halnya keamanan bangunan. Getaran pada jembatan harus diselidiki untuk keadaan batas daya layan terhadap getaran. Satu lajur lalu lintas rencana dengan pembebanan beban lajur "D" dengan faktor beban 1,0 harus ditempatkan sepanjang bentang agar diperoleh lendutan statis maksimum pada jembatan.

3.3. Faktor Beban dan Kombinasi Pembebanan

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

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (3-9)$$

Untuk beban-beban dengan nilai maksimum γ_i lebih sesuai maka:

$$\eta_i = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0,95 \quad (3-10)$$

Untuk beban-beban dengan nilai minimum γ_i lebih sesuai maka:

$$\eta_i = \frac{1}{\eta_D \eta_R \eta_I} \leq 1 \quad (3-11)$$

keterangan:

Q = gaya total terfaktor

η_i = faktor pengubah respon berkaitan dengan daktilitas, redundansi, dan klasifikasi

γ_i = faktor beban

Q_i = gaya atau beban yang bekerja pada jembatan

η_D = faktor pengubah respon berkaitan dengan daktilitas

η_R = faktor pengubah respon berkaitan dengan redundansi

η_I = faktor pengubah respon berkaitan dengan klasifikasi operasional

Kombinasi pembebanan sebagai berikut harus diselidiki pada keadaan batas daya layan yaitu kombinasi antara beban mati (MS), beban mati tambahan (MA), tekanan tanah (TA), beban arus dan hanyutan (EU), susut (SH), gaya akibat pelaksanaan (PL) dan prategang (PR).

Berikut merupakan kelompok pembebanan dan simbol untuk pembebanan dalam perencanaan jembatan:

1. 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

PR = prategang

2. 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 gradient

EU_n = gaya akibat temperatur seragam

EF = gaya apung

EW_s = beban angin pada struktur

EW_L = beban angin pada kendaraan

EU = beban arus dan hanyutan

Tabel 3.11. Kombinasi Beban dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	EU	ES _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_{BQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_P	0,50	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}	-	-	1,00
Daya layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Daya layan III	1,00	1,80	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 (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan: - γ_P dapat berupa γ_{MS} , γ_{MA} , γ_{TA} , γ_{PR} , γ_{PL} , γ_{SH} tergantung beban yang ditinjau

- γ_{BQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

Sumber: SNI 1725:2016

3.4. Perencanaan Struktur Jembatan

3.4.1. Sandaran jemabatan (*railing*)

Railing kendaraan harus memiliki muka rel yang menerus di sisi-sisi lalu lintas. Rambu dengan elemen rel harus berada di sisi luar *railing*. Kontinuitas struktur pada elemen *railing* dan angkur ujung harus diperhitungkan. Sistem *railing* dan sambungannya terhadap lantai dapat digunakan setelah melalui pengujian tumbukan yang sesuai dengan kriteria kinerja yang diharapkan.

3.4.2. Trotoar

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan.

3.4.3. Lantai jembatan

Lantai jembatan merupakan pelat lantai beton. Dalam perencanaan tebal minimum pelat lantai (t_s) harus memenuhi kedua ketentuan:

$$t_s \geq 200 \text{ mm} \quad (3-12)$$

$$t_s \geq (100 + 40 l) \text{ mm} \quad (3-13)$$

keterangan:

l = bentang pelat diukur dari pusat ke pusat tumpuan (m)

t_s = tebal minimum pelat lantai (mm)

Tulangan minimum harus dipasang untuk menahan tegangan tarik utama dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{A_s}{b.d} = \frac{1,0}{f_y} \quad (3-14)$$

Keterangan:

A_s = luas tulangan tarik (mm^2)

b = lebar dari muka tekanan komponen struktur (mm)

d = jarak dari seret tanah terluar ke pusat tulangan tarik (mm)

f_y = tegangan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)

3.4.4. Rangka utama jembatan

Perencanaan komponen struktur baja jembatan didasarkan pada cara Perencanaan Beban dan Kekuatan Terfaktor yang mengacu pada standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan tahun 2005 dengan kuat rencana tidak kurang dari pengaruh aksi rencana seperti pada rumus berikut

$$\phi R_n \geq \text{dampak dari } \Sigma \gamma_i Q_i \quad (3-15)$$

Komponen struktur yang memikul gaya aksial terfaktor harus memenuhi rumus berikut:

$$N_u \leq \phi N_n \quad (3-16)$$

keterangan:

N_u = kuat tarik perlu merupakan gaya aksial akibat beban terfaktor (N),

N_n = kuat tarik nominal (N),

ϕ = faktor reduksi diambil sebesar 0,9.

Komponen struktur yang mengalami gaya tekan akibat terfaktor harus memenuhi rumus berikut:

$$N_u \leq \phi_n N_n \quad (3-17)$$

keterangan:

N_u = kuat tarik perlu merupakan gaya aksial akibat beban terfaktor (N),

N_n = kuat tekan nominal (N),

ϕ_n = faktor reduksi diambil sebesar 0,85.

Kuat tekan nominal akibat beban tekuk lentur ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$N_n = (0,66^{\lambda_c^2}) A_g f_y \text{ untuk } \lambda_c \leq 1,5 \quad (3-18)$$

$$N_n = \frac{0,88}{\lambda_c^2} A_g f_y \text{ untuk } \lambda_c > 1,5 \quad (3-19)$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (3-20)$$

$$L_k = k_c L \quad (3-21)$$

keterangan:

N_n = kuat tarik nominal (N),

A_g = luas penampang bruto (mm²),

f_y = tegangan leleh (MPa),

λ_c = parameter kelangsingan,

k_c = faktor panjang tekuk untuk komponen rangka jembatan (mm),

E = modulus elastisitas baja (MPa).

Komponen struktur yang memikul momen lentur harus memenuhi rumus berikut:

$$N_u \leq \phi N_n \quad (3-22)$$

keterangan:

M_u = momen lentur terhadap sumbu kuat dan sumbu lemah (N-mm),

N_n = kuat nominal dari momen lentur penampang (N),

ϕ = faktor reduksi diambil sebesar 0,9.

Untuk perencanaan elemen lengkung direncanakan sesuai dengan persyaratan berikut.

1. Deviasi, lendutan lateral dari garis lurus yang menghubungkan titik-titik pertemuan pada ujung elemen tidak melebihi seperduabelas panjang garis lurus.
2. Penampang pada arah melintang adalah penampang kompak.
3. Beban merata pada arah melintang dianggap bekerja dalam bidang lengkung sepanjang elemen. Pada sisi cembung bekerja elemen tarik dan pada sisi cekung bekerja elemen tekan.

Faktor reduksi kekuatan diambil berdasarkan standar yang terdapat distandar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

3.4.5. Sambungan

Perencanaan sambungan yang digunakan mengacu pada standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan Tahun 2005. Sambungan yang digunakan direncanakan menggunakan sambungan baut. Perhitungan kuat geser pada sambungan baut harus memenuhi:

$$V_f = 0,62 f_{uf} k_r (n_n A_c + n_x A_o) \quad (3-23)$$

keterangan:

- V_f = kuat geser nominal baut (N),
- f_{uf} = kuat tarik minimum baut (MPa),
- k_r = faktor reduksi,
- n_n = jumlah bidang geser melalui bagian baut,
- A_c = luas baut berdasarkan diameter lebih kecil (mm²),
- n_x = jumlah bidang geser melalui bagian baut,
- A_o = luas baut berdasarkan diameter nominal (mm²).
- SF = faktor keamanan.