

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan

Menurut Siswanto (1999), jembatan dapat diklasifikasikan menjadi bermacam-macam jenis/tipe menurut fungsi, keberadaan, material yang dipakai, jenis lantai kendaraan dan lain-lain. Klasifikasi jembatan menurut material yang digunakan dibedakan atas bahan yang dominan dipergunakan, terutama bahan sebagai struktur utama bangunan atas, jembatan ditinjau dari material yang digunakan adalah jembatan kayu (*log bridge*), jembatan baja (*steel bridge*), jembatan beton (*concrete bridge*), jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*), jembatan komposit (*composite bridge*), jembatan bambu, jembatan pasangan batu kali/bata.

Menurut Satyarno (2003), sesuai dengan perkembangan, bentuk jembatan berubah dari yang sederhana menjadi yang sangat kompleks. Berikut jenis-jenis jembatan berdasarkan bentuk struktur konstruksinya terdapat jembatan gelagar biasa, jembatan portal, jembatan rangka, jembatan gantung, jembatan kabel penahan, jembatan busur, jembatan pelat, jembatan kantilever, jembatan terapung dan jembatan kombinasi.

Sedangkan berdasarkan kegunaannya terdapat jembatan pejalan kaki, jembatan jalan raya, jembatan kereta api, jembatan berfungsi ganda dimana sisi atas dan bawah digunakan untuk melintasi dengan objek yang berbeda dan jembatan khusus untuk keperluan lainnya seperti saluran irigasi.

2.2 Jembatan Pelengkung

Jembatan *Arch* (Pelengkung) adalah jembatan yang konstruksinya berbentuk setengah lingkaran atau parabola dengan *abutment* di kedua sisinya. Pemakaian desain berupa busur secara alami akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju ke *abutment* yang menjaga kedua sisi jembatan agar bergerak kesamping (Supriyadi, 2007).

Secara struktural, jembatan busur merupakan jenis jembatan yang mengandalkan batang lengkung (busur) dan kabel penggantung antara busur jembatan dengan *deck* jembatan untuk memikul beban yang terjadi.

Lengkungan dapat digunakan untuk mengurangi momen tekuk pada struktur-struktur bentang panjang. Pada dasarnya, lengkungan bekerja sebagai kebalikan dari kabel, sehingga lengkungan menerima bebannya berupa tekan, karena ketegarannya lengkungan harus juga menahan beberapa bengkokan dan gaya geser yang bergantung pada bagaimana lengkungan dibebani dan dibentuk. Khususnya, jika lengkungan memiliki bentuk parabolik dan dibebani oleh beban vertikal yang terdistribusi merata secara horizontal, maka dari analisis kabel hanya mengikuti gaya-gaya mampatan yang akan ditahan oleh lengkungan (Hibbeler, 2002).

Pada jembatan lengkung terdapat dua macam gaya, yaitu gaya tarik dan gaya tekan. Dalam proses pemilihan desain jembatan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, diantaranya adalah:

1. Pelengkung pada jembatan

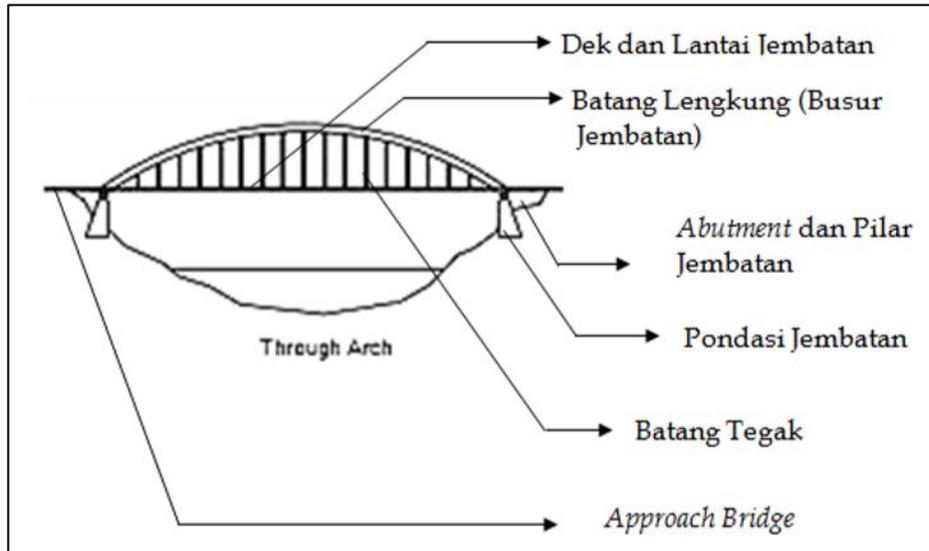
Pelengkung pada jembatan busur merupakan struktur utama yang menahan sebagian besar beban yang diterima oleh jembatan. Lengkung umumnya terletak pada perletakan jepit, dengan ketebalan awal lengkung sebesar 1,65 sampai 2 kali ($L/20$) dari puncak lengkung ($L/40$) ketebalan rata-rata adalah $L/30$ dan tinggi fokus $L/5$ (ACI 1996).

2. Jumlah segmen

Jumlah segmen berpengaruh pada penyaluran gaya pada jembatan, semakin sedikit jumlah segmen semakin besar gaya yang dipikul oleh kolom penyangga.

2.2.1 Komponen Jembatan Pelengkung dan Fungsinya

Jembatan lengkung terdiri dari beberapa bagian, yaitu *deck*, *abutment*, batang tegak, batang lengkung (busur), pondasi jembatan, dan *approach bridge* yang dapat dilihat pada **Gambar 2.1**



Gambar 2.1 Bagian-bagian jembatan lengkung

Sumber: buku “Jembatan” Cetakan ke-4 oleh Supriyadi dan Muntohar (2007)

1. Komponen Utama

a. Struktur Atas

1) Batang Lengkung (*Arch*)

Merupakan bagian dari struktur yang memikul seluruh beban jembatan dan bagian struktur ini mengubah gaya-gaya yang bekerja dari beban vertikal dirubah menjadi gaya horizontal/tekan sehingga menjadi keuntungan sendiri bagi jembatan tersebut. Dengan kelebihan utama dari jembatan pelengkung yaitu adanya gaya tekan yang mendominasi (Chen, WaiFah, Duan, Lian. *Bridge Engineering Handbook*. London. 2000). Batang Lengkung dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

2) Batang Tegak (*Hanger*)

Hanger yang berfungsi sebagai komponen penghubung dek jembatan ke lengkungan atau *arch*. Harus ada dalam jembatan lengkung karena sebagai penahan tarik, dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

3) Struktur Dek (*Stiffening Girder*)

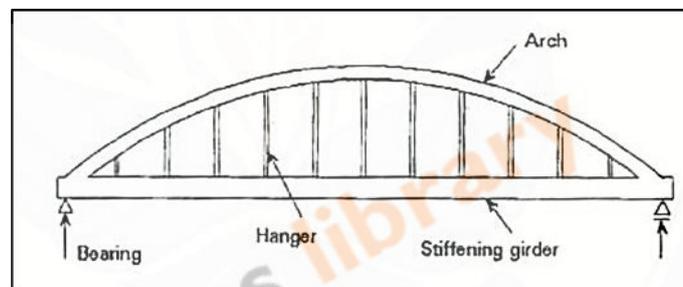
Stiffening girder berfungsi tempat melintasnya beban lalu lintas. Harus ada dalam jembatan lengkung karena sebagai menerima beban lalu lintas langsung dari jembatan, dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

4) Pelat Lantai

Pelat lantai merupakan komponen jembatan yang memiliki fungsi utama untuk mendistribusikan beban sepanjang potongan melintang jembatan. Pelat lantai merupakan bagian yang menyatu dengan sistem struktur yang lain yang didesain untuk mendistribusikan beban-beban sepanjang bentang jembatan.

5) Perletakan (*Bearing*)

Bearing berfungsi mengatur beban bagian atas jembatan ke pondasi dan mengatur deformasi tumpuan jembatan sesuai dengan perencanaan. *Bearing* harus ada dalam jembatan karena sebagai tempat berpusatnya beban dari struktur atas, dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Struktur Atas Jembatan pelengkung (Sumber: Soni, 2017)

b. Struktur Bawah

Pada struktur terdiri dari Kepala Jembatan (*Abutment*). *Abutment* merupakan bagian struktur jembatan bagian bawah yang berfungsi memikul reaksi beban pada ujung jembatan dan dapat juga berfungsi sebagai dinding penahan tanah.

2. Komponen Sekunder

Komponen sekunder terdiri ikatan angin (*Bracing*), *bracing* yaitu komponen diagonal yang menghubungkan bagian dalam dari lengkungan atau *arch* berfungsi menyalurkan beban lateral dan geser sehingga jembatan menjadi lebih stabil.

2.2.2 Kabel

2.2.2.1 Sistem Kabel

Sistem kabel merupakan salah satu hal mendasar dalam perencanaan jembatan pelengkung. Kabel digunakan untuk menopang gelagar diantara dua tumpuan dan memindahkan beban tersebut ke menara/*pylon*. Beberapa jenis kabel yang berbeda digunakan pada jembatan, bentuk dan konfigurasinya tergantung pada susunannya. Dalam satu helai biasanya terdiri dari tujuh kawat, dengan diameter antara 3 sampai 7 mm. Kabel merupakan bagian yang paling penting dalam desain jembatan, karena berfungsi menyalurkan beban mati dari struktur atas (lantai jembatan) menuju ke *pylon*/menara (Walther, 1988).

2.2.2.2 Jenis Kabel

Sebuah kabel dapat terdiri dari satu atau lebih tali struktural, untaian struktural (*strand structural*), lilitan untaian terkunci (*locked coil strand*), atau untaian kawat paralel (*pararel wire strand*). Sebuah *strand* selain jenis *pararel wire strand*, terbuat dari kawat yang dibentuk spiral di sekitar sebuah kawat pusat di satu atau lebih lapisan simetris dan diproduksi di USA berdasarkan standar spesifikasi ASTM A-586. Pemilihan jenis kabel tergantung pada segi pelaksanaan, struktur, dan keuangan. Saat ini, jenis ruji kabel yang umum dan sering digunakan menurut Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel adalah:

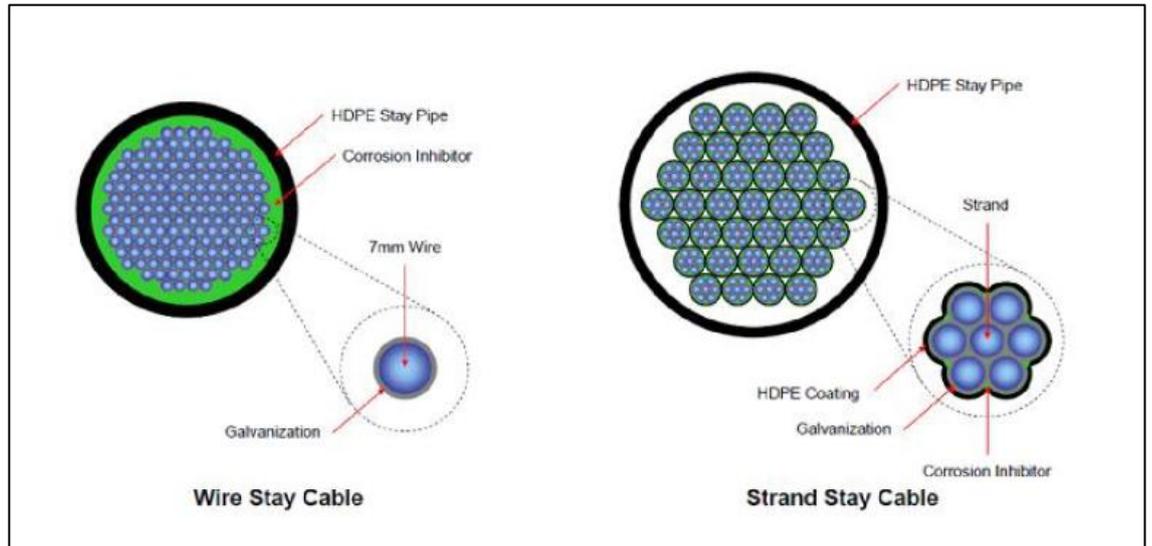
1. *Parallel Wire Cables*

Parallel wire Cable terdiri dari kawat bulat galvanis berdiameter 5 mm sampai 7 mm berbentuk *hexagonal*, dengan suatu *helix* panjang. Kawat tersebut kemudian biasanya dibungkus oleh *High Density polyethylene (HDPE) tube*.

2. *Parallel Strand Cables*

Kabel ini terdiri dari beberapa *strand*. *Strand-strand* tersebut selanjutnya dipasang secara paralel. Setiap kabel dapat terdiri dari beberapa *strand* antara lain sebesar 7, 19, 37, 61, 91, atau 127 buah.

Gambar jenis-jenis kabel yang sering digunakan bias dilihat pada **Gambar 2.3**



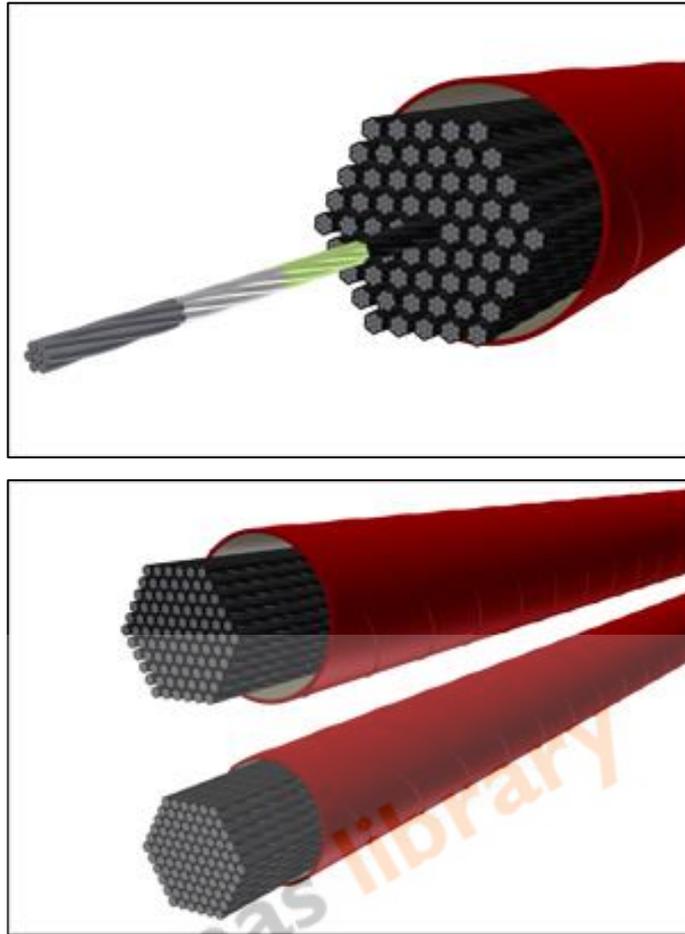
Gambar 2.3 Jenis Kabel

(Sumber: Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel)



Gambar 2.4 Wire Stayed Cable

(Sumber: Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel)

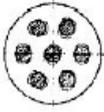
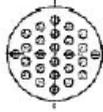
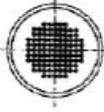
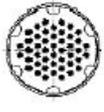


Gambar 2.5 *Strand Stayed Cable*

(Sumber: Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel)

Spesifikasi dari kabel yang digunakan pada jembatan dapat dilihat pada **Tabel 2.1**:

Tabel 2.1 Jenis-jenis Kabel

Jenis Kabel					
	Coupled bars 7 \varnothing 36 Steel 805/1030	Uncoupled bars 26 \varnothing 16	Parallel wires 128 \varnothing 7	Strands 27 \varnothing 15 15 mm	Locked-coil cables
Tendons	Bars \varnothing 26.5, 32, 36 mm	Bars \varnothing 16 mm	Wire \varnothing 6, 7 mm	Strand \varnothing 0.5, 0.6, 0.7 of 7 twisted wires	Wire with different profiles \varnothing 2-9 mm
0.2% proof stress, $\sigma_{0.2}$ (N/mm ²)	835 1080	1350	1470	1570 ~ 1670	-
Ultimate tensile strength, β_z (N/mm ²)	1030 1230	1500	1670	1770 ~ 1870	1000 ~ 1300
Fatigue					
$\Delta\sigma$ (N/mm ²)	80	-	350	300 ~ 320	120 ~ 150
σ_{max}/β_z	0.6	-	0.45	0.5 ~ 0.45	0.45
Modulus of elasticity, E (N/mm ²)	210 000	210 000	205 000	190 000 ~ 200 000	180 000 ~ 165 000
Failure Load kN	7339	7624	7467	7634	7310

(Sumber: Pedoman Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel)

2.3 Pembebanan Jembatan

Beban lalu lintas yaitu seluruh beban hidup, arah vertikal dan horizontal akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan. Pembebanan yang digunakan pada pemodelan jembatan lalu lintas ialah beban permanen, beban lalu lintas, beban angin, dan beban gempa. Berdasarkan SNI 1725:2016 tentang Standar Pembebanan untuk Jembatan, pendistribusian beban adalah sebagai berikut:

1. Beban permanen

Beban permanen terdiri dari berat sendiri (*self weight*) dan beban mati tambahan (*super imposed dead load*). Masing-masing komponen beban permanen didefinisikan sebagai berikut.

a. Berat sendiri (*self weight*)

Berat sendiri struktur jembatan harus merupakan keseluruhan berat dari semua komponen struktural, dimana berat oleh volume elemen struktur dan masa jenis dari material struktur. Pada umumnya, material yang digunakan untuk jembatan adalah beton dan baja, dimana berat jenis untuk tiap jenis material diberikan pada **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 Berat Jenis Material

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
	$35 < f'_c < 105 \text{ MPa}$	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
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)

b. Beban mati tambahan (*super imposed dead load*)

Beban mati tambahan mencakup semua peralatan, utilitas, dan komponen non-struktural yang terdapat pada jembatan. Besar beban mati tambahan dapat berubah selama umur jembatan.

2. Beban lalu lintas

a. Lajur lalu lintas rencana

Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil bagian *integer* dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar lajur rencana sebesar 2750 mm. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan dapat dilihat dalam **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 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
	$7500 \leq w < 10000$	3
	$10000 \leq w < 12500$	4
	$12500 \leq w < 15250$	5
	$w \geq 15250$	6
Dua Arah, dengan median	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10750$	3
	$11000 \leq w \leq 13500$	4
	$13750 \leq w \leq 16250$	5
	$w \geq 16500$	6

(Sumber: SNI 1725:2016)

b. Beban lajur (TD)

Beban lajur terdiri atas beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) dapat dilihat pada **Gambar 2.6**. Dengan beban terbagi rata (BGT) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang di bebani L yaitu sebagai berikut:

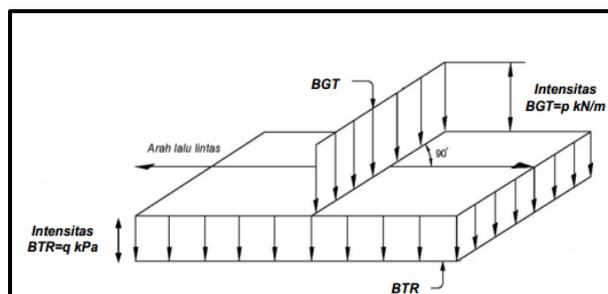
$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

q adalah Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa)

L adalah Panjang total jembatan yang dibebani (meter)



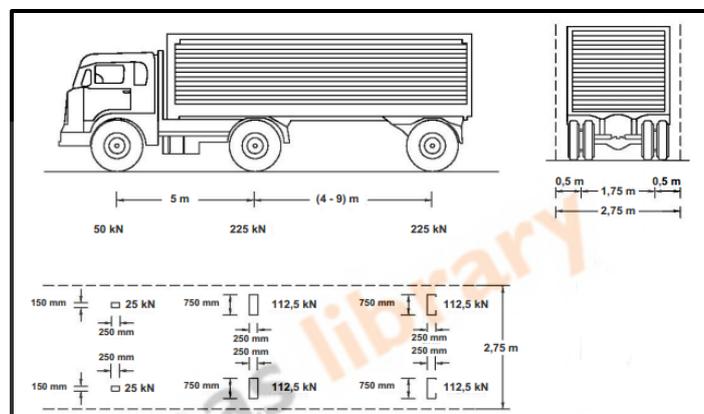
Gambar 2.6 Beban lajur “D” (TD)

(Sumber: SNI 1725:2016)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Dengan besar beban intensitas p adalah 49 kN/m.

c. Beban truk (TT)

Pembebanan truk terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar. Berat dari tiap- tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar dapat diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 meter seperti pada **Gambar 2.7**.

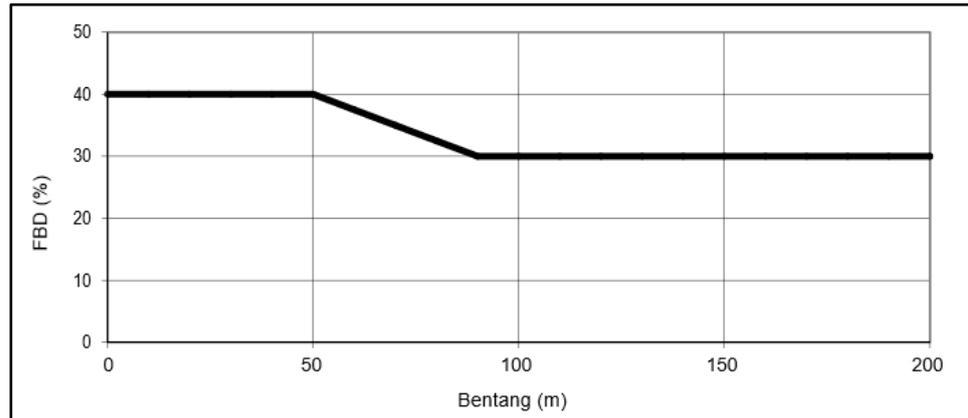


Gambar 2.7 Beban Truk (500 kN)

(sumber: SNI 1725:2016)

d. Faktor Beban Dinamis

Beban statis truk rencana harus diperbesar sesuai dengan FBD. Gaya sentrifugal dan gaya rem tidak perlu diperbesar. FBD tidak perlu diterapkan pada pejalan kaki atau beban terbagi rata (BTR). Untuk pembebanan truk, FBD digunakan 30%. Sementara untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Faktor Beban Dinamis untuk Beban T Pembebanan Lajur “D”
(sumber: SNI 1725:2016)

e. Beban Rem (TB)

Pengaruh percepatan dan pengereman dari lalu lintas harus diperhitungkan sebagai gaya dalam arah horizontal pada jarak 1800 mm dan dianggap bekerja pada permukaan lantai jembatan. Untuk jembatan yang digunakan pada masa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat perhitungan besarnya gaya rem dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Gambar 2.9 Gaya Rem dari Beban Lajur

(Sumber: Nasution, 2012)

f. Beban pejalan kaki (TP)

Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyebrangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal sebesar 5 kPa.

3. Beban angin

a. Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin yang ditentukan diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10.000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana (V_{DZ}) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

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

V_B adalah kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam

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

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

V_0 adalah kecepatan gesekan angin, ditentukan dalam **Tabel 2.4**.

Z_0 adalah panjang gesekan di hulu jembatan, ditentukan pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Nilai V_0 dan Z_0 untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan

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)

b. Beban Angin pada Struktur (EW_S)

Beban angin pada struktur 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. Tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{dz}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

P_D adalah Tekanan angin rencana pada struktur

P_B adalah Tekanan angin dasar sesuai **Tabel 2.5**

Tabel 2.5 Tekanan Angin Dasar

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

(sumber: SNI 1725:2016)

c. Gaya Angin pada Kendaraan (EW_I)

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.

4. Beban Gempa

Pada perencanaan jembatan terdapat dua metode dalam menganalisis beban gempa, yaitu metode statis ekuivalen dan metode analisa gempa dinamis. Dalam tugas akhir ini menggunakan metode gempa dinamis, yaitu beban gempa menggunakan data respon spektrum yang sesuai dengan lokasi jembatan yang akan direncanakan. Data respon spektrum tersebut diperoleh

dari *website* resmi Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yaitu <http://petagempa.pusjatan.pu.go.id/> untuk wilayah yang digunakan adalah daerah Palu, Sulawesi Tengah.

2.4 Kombinasi Pembebanan Jembatan

Kombinasi beban untuk jembatan dibagi menjadi tiga kondisi yaitu kondisi batas layan, kondisi batas ultimit dan kondisi ekstrem, dimana dalam kombinasi beban terdiri atas beban permanen dan beban *transient* yang diberikan pada **Tabel 2.6**.

Faktor beban harus dipilih sedemikian rupa untuk menghasilkan kondisi ekstrem akibat beban yang bekerja. Untuk setiap kombinasi pembebanan harus diselidiki kondisi ekstrem maksimum dan minimum. Untuk beban permanen, harus dipilih faktor beban yang menghasilkan kombinasi pembebanan kritis. Karena beban permanen dapat meningkatkan stabilitas atau kekuatan komponen jembatan. Dengan nilai faktor beban dan kombinasi beban yang dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.6 Kelompok Pembebanan dan Simbol

Beban Permanen		Beban Transien	
Nama	Simbol	Nama	Simbol
Berat sendiri	<i>MS</i>	Beban lajur "D"	<i>TD</i>
Beban mati tambahan	<i>MA</i>	Beban truk "T"	<i>TT</i>
Tekanan tanah	<i>TA</i>	Gaya rem	<i>TB</i>
Prategang	<i>PR</i>	Gaya sentrifugal	<i>TR</i>
Pengaruh pelaksanaan tetap	<i>PL</i>	Beban pejalan kaki	<i>TP</i>
		Beban tumbukan	<i>TC</i>
		Beban angin	<i>EW</i>
		Beban gempa	<i>EQ</i>
		Susut / Rangkak	<i>SH</i>
		Gaya friksi	<i>BF</i>
		Pengaruh temperatur	<i>ET</i>
		Beban arus dan hanyut	<i>EU</i>

(sumber: SNI 1725:2016)

Tabel 2.7 Kombinasi dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS MA	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	0,50/1,20	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	1,00	1,00
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	0,50/1,20	-	1,00	-	-	-

(sumber: SNI 1725:2016)

Berikut ini merupakan nilai faktor beban yang bekerja.

a. Berat sendiri (MS)

Nilai faktor beban untuk beban sendiri dapat dilihat pada **Tabel 2.8**.

Tabel 2.8 Faktor Beban Akibat 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	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

(sumber: SNI 1725:2016)

b. Beban mati tambahan (MA)

Nilai faktor beban untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada **Tabel 2.9**.

Tabel 2.9 Faktor Beban Akibat Berat Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (Terawasi)	1,00	1,40	0,80

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

(sumber: SNI 1725:2016)

2.5 Analisa Kekuatan Baja

Pada penelitian ini, perencanaan struktur baja menggunakan RSNI T-03-2005 sebagai acuan dalam mendesain. Kekuatan baja pada keadaan batas ultimit diperoleh dari perkalian kekuatan nominal dengan faktor reduksi kekuatan. Faktor reduksi kekuatan diambil dari nilai-nilai yang dapat dilihat pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2.10 Faktor Reduksi Kekuatan

No.	Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)
1	Lentur	0,9
2	Geser	0,9
3	Aksial Tekan	0,85
4	Aksial Tarik	
	a. Terhadap kuat tarik leleh	0,9
	b. Terhadap kuat tarik fraktur	0,75
5	Penghubung geser	0,75
6	Sambungan baut	0,75
7	Hubungan las	
	a. Las tumpul penetrasi penuh	0,9
	b. Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75

(sumber: RSNI T-03-2005)

Pada peraturan RSNI T-03-2005 sifat mekanis material baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada **Tabel 2.11**.

Tabel 2.11 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (Mpa)	Tegangan leleh minimum, f_y (Mpa)	Peregangan minimum (%)
BJ34	340	210	22
BJ37	370	240	20
BJ41	410	250	18
BJ50	500	290	16
BJ55	550	410	13

(sumber: RSNI T-03-2005)

Sifat-sifat mekanis baja struktural lainnya untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$

Modulus geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$

Angka poisson : $\mu = 0,3$

Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$

Pada perencanaan struktur baja jembatan diperlukannya kontrol kapasitas terhadap lentur, geser, tekan dan tarik.

2.5.1 Kekuatan Lentur

Suatu komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu kuat (sumbu-x) dan dianalisis dengan metode elastis, harus memenuhi:

$$M_u \leq \phi M_n \dots\dots\dots (2.5)$$

Momen nominal penampang dapat diperoleh dari:

$$M_n = Z \times f_y \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan:

M_u adalah momen lentur terfaktor

ϕ adalah faktor reduksi

M_n adalah momen nominal penampang

Z adalah modulus penampang (mm^3)

f_y adalah tegangan leleh (MPa)

2.5.2 Kekuatan Geser

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor (V_u) harus memenuhi:

$$V_u \leq \phi V_n \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

V_u adalah gaya geser terfaktor (N)

V_n adalah kuat geser nominal pelat badan (N)

ϕ adalah faktor reduksi

1. Kuat geser nominal

Kuat geser nominal V_n pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan dibawah ini

- a. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$h/t_w \leq 1,10 \sqrt{\frac{K_n E}{F_y}} \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan pengertian:

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \dots\dots\dots(2.9)$$

- b. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq h/t_w \leq 1,37 \sqrt{\frac{K_n E}{F_y}} \dots\dots(2.10)$$

- c. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel h/t_w memenuhi;

$$1,37 \sqrt{\frac{K_n E}{F_y}} \leq h/t_w \dots\dots\dots(2.11)$$

2.5.3 Kekuatan Tekan

Komponen struktur yang memikul gaya tekan konsentris, N_u harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi N_n \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

ϕ adalah faktor reduksi (mm^2)

N_n adalah kuat tekan nominal komponen struktur tekan (N)

1. Perbandingan kelangsingan:

a. Kelangsingan elemen penampang **Tabel 2.12** $< \lambda_r \dots\dots\dots(2.13)$

b. Kelangsingan komponen struktur tekan $\lambda = \frac{L_k}{r} \leq 140 \dots\dots\dots(2.14)$

2. Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar nilai λ_r yang ditentukan dalam **Tabel 2.12** harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

Tabel 2.12 Perbandingan Maksimum Lebar terhadap Tebal untuk Elemen Tertekan

Jenis Elemen	λ	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal		
		λ_x (kompak)	λ_x (tak-kompak)	
Elemen tanpa pengaku	Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	b/t	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$ [e]
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang di las dalam lentur	b/t	$\frac{170}{\sqrt{f_{yf}}}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_{yf} - f_r) / k_x}}$ [e][f]
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	b/t	-	$\frac{290}{\sqrt{f_y / k_x}}$ [f]
	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan pelat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan	b/t	-	$\frac{250}{\sqrt{f_y}}$
	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya.	b/t	-	$\frac{200}{\sqrt{f_y}}$
	Pelat badan dari profil T	d/t	-	$\frac{335}{\sqrt{f_y}}$
	Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan; pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak di antara baut-baut atau las	b/t	$\frac{500}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{625}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dan pelat penutup berubang [b]	b/t	-	$\frac{830}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	h/t_w	$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}}$ [g]
	Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	h/t_w	Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} \leq 0,125$ [c] $\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right)$ Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} > 0,125$ [c] $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left(2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right) \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}} \left(1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right)$ [g]
	Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya.	b/t h/t_w	-	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$
	Penampang bulat berongga	D/t	[d]	
	• Pada tekan aksial • Pada lentur		- 14.800/ f_y	22.000/ f_y 62.000/ f_y

[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap f_{yf} sebagai f_y .
[b] Ambil luas netto pelat pada lubang terbesar.
[c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3.
Untuk struktur-struktur pada zona tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar.
[d] Untuk perencanaan plastis gunakan 9.000/ f_y .
[e] f_r = tegangan tekan residual pada pelat sayap.
= 70 MPa untuk penampang dirol.
= 115 MPa untuk penampang dilas.
[f] $k_x = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$; $0,35 \leq k_x \leq 0,763$
[g] f_y adalah tegangan leleh minimum (dinyatakan dalam satuan Mega Pascal [MPa])

2.5.4 Kekuatan Tarik

Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial, N_u harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi N_n \dots \dots \dots (2.15)$$

Dengan N_n adalah kuat tarik nominal yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di beberapa persamaan di bawah ini:

1. Kuat tarik nominal berdasarkan kelelahan pada penampang bruto:

$$N_n \leq A_g F_y \dots \dots \dots (2.16)$$

2. Kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif:

$$N_n \leq A_e F_u \dots \dots \dots (2.17)$$

3. Kuat tarik nominal berdasarkan perencanaan *rupture* pada penampang:

- a. Kuat geser *rupture* nominal:

$$N_n = 0,6 A_{ev} F_u \dots \dots \dots (2.18)$$

- b. Kuat tarik *rupture* nominal:

$$N_n = A_{et} F_u \dots \dots \dots (2.19)$$

- c. Kuat tarik dan geser *rupture* nominal:

- 1) Untuk $A_{et} F_u \geq 0,6 A_{ev} F_u$

$$N_n = 0,6 A_{gv} F_y + A_{et} F_u \dots \dots \dots (2.20)$$

- 2) Untuk $0,6 A_{ev} F_u \geq A_{et} F_u$

$$N_n = 0,6 A_{nv} F_u + A_{gt} F_y \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan:

- A_g adalah luas penampang bruto (mm^2)
 A_{gt} adalah luas penampang bruto terhadap tarik (mm^2)
 A_{gv} adalah luas penampang bruto terhadap geser (mm^2)
 A_{et} adalah luas penampang efektif terhadap tarik (mm^2)
 A_{ev} adalah luas penampang efektif terhadap geser (mm^2)
 F_y adalah tegangan leleh (MPa)
 F_u adalah tegangan tarik putus (MPa)

Nilai ϕ dalam persamaan (2.1.15) (2.1.16) diambil sebesar 0,9 dan ϕ diambil sebesar 0,75 untuk hubungan dengan persamaan (2.1.17), (2.1.18), (2.1.19), (2.1.20) dan (2.1.21).

2.6 Sambungan Baut

Ada dua jenis baut yang biasa dipakai pada konstruksi baja yang pertama adalah baut biasa yang dipakai pada struktur ringan yang menahan beban statis atau untuk menyambung batang-batang sekunder. Jenis yang kedua adalah baut tegangan tinggi, pada waktu pemasangan dikencangkan sedemikian rupa sehingga menahan suatu tekanan yang besar dan bisa menjepit dengan keras bagian-bagian struktur yang disambung.

Sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi harus memenuhi ketentuan berikut:

- a. Komposisi kimiawi dan sifat mekanisnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
- b. Diameter batang, luas tumpu kepala baut, dan mur atau penggantinya harus lebih besar dari nilai nominal yang ditetapkan dalam ketentuan yang berlaku. Ukuran lainnya boleh berbeda;
- c. Persyaratan gaya tarik minimum alat sambung ditentukan pada **Tabel 2.13** dibawah ini

Tabel 2.13 Gaya Tarik Baut Minimum

Diameter nominal baut (mm)	Gaya tarik minimum (kN)
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490

(sumber: RSNI T-03-2005)

2.7 Gempa

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. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa

kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditentukan oleh pihak yang berwenang.

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 respon (R) dengan formulasi sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan:

- E_Q adalah gaya gempa horizontal statis (kN)
- C_{sm} adalah koefisien respon elastik
- R adalah faktor modifikasi respon
- W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN)

Koefisien respon elastik (C_{sm}) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spectra percepatan yang dapat dilihat pada **Gambar 2.10**, **Gambar 2.11**, dan **Gambar 2.12**. Sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan kondisi tanah kedalaman 30m di bawah struktur jembatan.

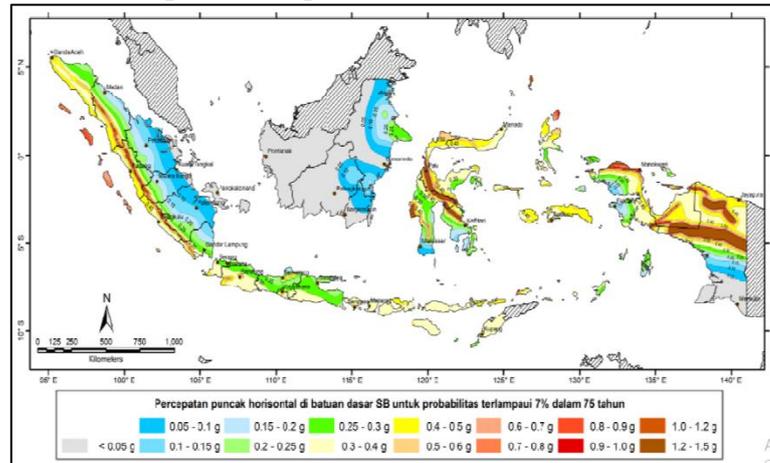
Bahaya gempa pada jembatan harus dikarakterisasi dengan menggunakan respon spektra percepatan dan faktor situs untuk kelas situs yang sesuai. Respon spektra percepatan dapat ditentukan baik dengan prosedur umum atau berdasarkan prosedur spesifik-situs. Prosedur spesifik-situs dilakukan jika terdapat kondisi sebagai berikut:

- 1) Jembatan berada dalam jarak 10 km dari patahan aktif;
- 2) Situs termasuk dalam kategori kelas F sesuai **Tabel 2.15**

2.7.1 Peta Gempa

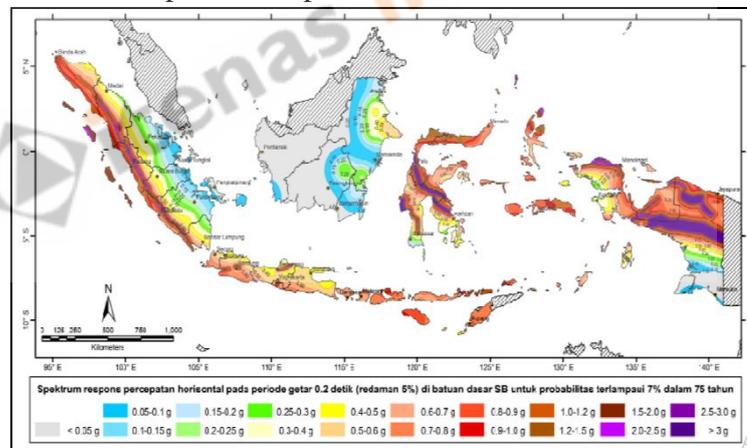
Peta gempa dalam ketentuan ini meliputi:

1. Peta percepatan puncak batuan dasar (PGA) dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun dapat dilihat pada **Gambar 2.10**



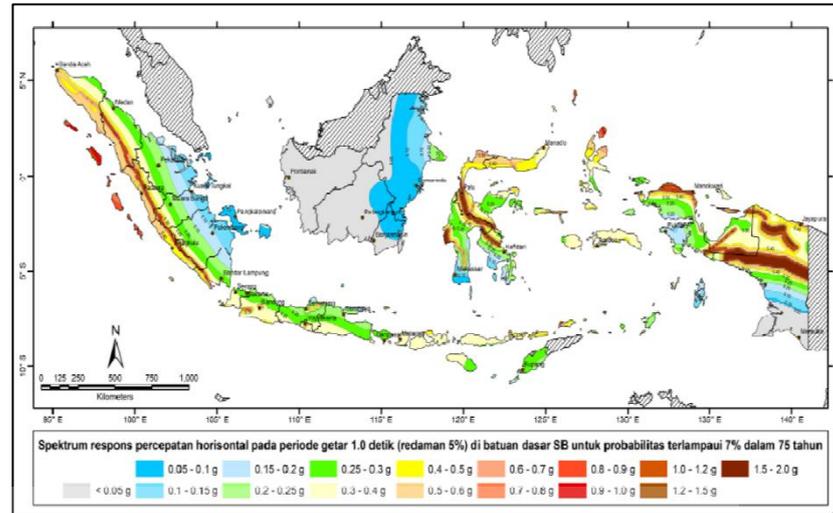
Gambar 2.10 Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
(sumber: SNI 2833-2016)

2. Respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar yang mewakili *lever hazard* (potensi bahaya) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.



Gambar 2.11 Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
(sumber: SNI 2833-2016)

3. Respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar yang mewakili *lever hazard* (potensi bahaya) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun dapat dilihat pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12 Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun
(sumber: SNI 2833-2016)

Tabel 2.14 Penjelasan Peta Gempa

No	No Gambar	Level Gempa	Keterangan
1	Gambar 1	7% dalam 75 Tahun (gempa≈1000 tahun)	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
2	Gambar 2		Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (S _s)
3	Gambar 3		Peta respons spektra percepatan 0,1 detik di batuan dasar (S ₁)

(sumber: SNI 2833-2016)

2.7.2 Prosedur Spesifik Situs

Prosedur spesifik-situs dapat dilakukan untuk pembuatan respon spektra rencana dan dapat dilakukan di lokasi manapun sesuai dengan persetujuan pemilik pekerjaan. Tujuan dari analisis probabilitas gerak tanah situs spesifik adalah untuk menghasilkan respon spektra percepatan yang memperhitungkan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun pada nilai spektra dalam rentang periode yang ditentukan. Pada analisis ini harus di terapkan hal-hal sebagai berikut:

- 1) Sumber gempa yang berkontribusi di sekitar situs yang ditinjau,

- 2) Batas atas magnitudo gempa untuk tiap sumber gempa,
- 3) Median dari hubungan atenuasi untuk nilai spektra respon percepatan dan deviasi standar yang terkait,
- 4) Hubungan magnitudo dan pengulangan yang terjadi untuk tiap sumber gempa,
- 5) Hubungan panjang runtuh patahan untuk tiap patahan yang berkontribusi

Ketidakpastian dalam pemodelan sumber gempa dan parameter harus diperhitungkan dalam analisis. Dokumen analisis bahaya gempa harus ditelaah oleh tenaga ahli yang terkait. Bila analisis untuk menentukan pengaruh situs diperlukan untuk kelas situs F , pengaruh kondisi tanah lokal harus ditentukan berdasarkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik situs. Untuk situs yang terletak dalam jarak 10 km dari patahan aktif atau patahan dangkal, maka pengaruh dari patahan terhadap gerak tanah harus diperhitungkan karena dapat berpengaruh signifikan terhadap jembatan.

Spektra deterministik dapat digunakan pada daerah yang telah diketahui patahan aktif bila spektra deterministik tidak lebih kecil dari duapertiga respons spektra probabilistik pada periode $0,5T_f$ hingga $2T_f$, dengan T_f adalah periode fundamental jembatan. Bila penggunaan spektra deterministik lebih sesuai, maka spektra tersebut harus :

- 1) Merupakan nilai terluar (*envelope*) dari nilai median spektra yang dihitung untuk magnitudo gempa maksimum karakteristik pada patahan aktif yang diketahui
- 2) Spektra deterministik dapat ditentukan untuk tiap patahan dan tanpa adanya spektra kontrol, maka tiap spektra harus digunakan.

Bila respon spektra ditentukan berdasarkan kajian spesifik situs, maka spektra tersebut tidak boleh lebih kecil dari dua pertiga dari respons spektra yang diperoleh berdasarkan prosedur umum pada periode $0,5T_f$ hingga $2T_f$ pada spektra, dengan T_f adalah periode fundamental jembatan.

Tabel 2.15 Kelas Situs

a. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
b. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
c. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
d. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{S}_u \leq 100$
e. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3m dengan karakteristik sebagai berikut: 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air (W) $\leq 40\%$ dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u \leq 25 \text{ kPa}$		
f. Lokasi yang Membutuhkan Penyelidikan Geoteknik dan Analisis Respon Dinamik Spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik sebagai berikut: - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti <i>liquification</i> , tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan gambut (dengan ketebalan $> 3\text{m}$) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5\text{m}$ dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35\text{m}$		

Catatan: N/A = tidak dapat digunakan

(sumber: SNI 2833-2016)

Disarankan menggunakan sedikitnya 2 (dua) jenis penyelidikan tanah yang berbeda dalam pengklasifikasian jenis tanah ini. Pada **Tabel 2.15** \bar{V}_s , \bar{N} , dan \bar{S}_u adalah nilai rata-rata berbobot cepat rambat gelombang geser, hasil uji penetrasi standar, dan kuat geser tak terdrainase dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya dan harus dihitung menurut persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{V_{si}}\right)} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{N}\right)} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{S_{ui}}\right)} \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan :

- t_i adalah tebal lapisan tanah ke-i
 V_{si} adalah kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke-i,
 N_i adalah nilai hasil uji penetrasi standar lapisan tanah ke-i,
 S_{ui} adalah kuat geser tak terdrainase lapisan tanah ke-i,
 m adalah jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar.
 $\sum_{i=1}^m t_i = 30 \text{ m}$

2.7.2.1 Faktor Situs

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek ($T = 0,2$ detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar (F_{PGA}), faktor amplifikasi periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). **Tabel 2.16** dan **Tabel 2.17** memberikan nilai-nilai F_{PGA} , F_a , dan F_v untuk berbagai klasifikasi jenis tanah.

Tabel 2.16 Faktor Amplifikasi untuk PGA dan 0,2 Detik (F_{PGA}/F_a)

Kelas Situs	PGA $\leq 0,1$ Ss $\leq 0,25$	PGA = 0,2 Ss = 0,5	PGA = 0,3 Ss = 0,75	PGA = 0,4 Ss = 1,0	PGA > 0,5 Ss $\geq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1	1	1	1	1
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1	1
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan: Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

(sumber: SNI 2833-2016)

Keterangan:

- PGA adalah percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun **Gambar 2.10**.
Ss adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T=0,2$ detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun sesuai dengan Gambar 2.
SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

Tabel 2.17 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi untuk Periode 1 Detik (F_v)

Kelas situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

(sumber: SNI 2833-2016)

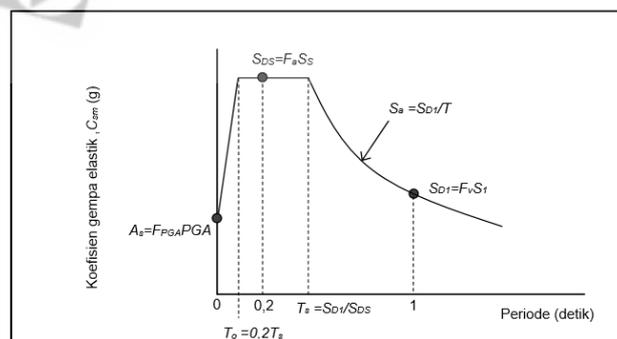
Keterangan:

- S_1 adalah parameter respon spectra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun sesuai dengan **Gambar 2.12**
- SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon dinamik spesifikasi

2.7.3 Karakterisasi Bahaya Gempa

2.7.3.1 Respon Spektra

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum sistem berderajatkebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Bentuk Tipikal Respon Spektra di Permukaan Tanah

(sumber: SNI 2833-2016)

Respon spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia dengan probabilitas

terlampau 7% dalam 75 tahun (PGA , S_s dan S_1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a , dan F_v . Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut :

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \dots\dots\dots(2.26)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots(2.27)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots(2.28)$$

2.7.3.2 Koefisien Respon Gempa *Elastic*

- 1) Untuk periode lebih kecil dari T_0 , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{SM} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} A_s \dots\dots\dots(2.29)$$

- 2) Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respons spektra percepatan, C_{sm} adalah sama dengan S_{DS} .

- 3) Untuk periode lebih besar dari T_s , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{SM} = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan:

S_{DS} adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ($T=0,2$ detik)

S_{D1} adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1 detik

$$T_0 = 0,2 T_s$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

2.7.4 Kategori Kinerja Seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik (S_{d1}) sesuai **Tabel 2.18** kategori tersebut menggambarkan variasi risiko seismik dan digunakan untuk penentuan metode analisis, panjang tumpuan minimum, detail perencanaan kolom, serta prosedur desain fondasi dan kepala jembatan.

Tabel 2.18 Zona Gempa

Koefisien percepatan (SD1)	Zona gempa
$SD1 \leq 0,15$	1
$0,15 \leq SD1 \leq 0,3$	2
$0,3 \leq SD1 \leq 0,5$	3
$SD1 > 0,5$	4

(sumber: SNI 2833-2016)

Keterangan : $S_{D1} = F_v \times S_1$

S_{D1} adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik

F_v adalah nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

S_1 adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1,0 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun

2.7.5 Faktor Modifikasi Respon

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respon (R) sesuai dengan **Tabel 2.19** dan **Tabel 2.20**. Sebagai alternatif penggunaan faktor R pada **Tabel 2.20** untuk hubungan struktur, sambungan monolit antara elemen struktur atau struktur, seperti hubungan kolom ke fondasi telapak dapat direncanakan untuk menerima gaya maksimum akibat plastifikasi kolom atau kolom majemuk yang berhubungan. Apabila digunakan analisis dinamik riwayat waktu, maka faktor modifikasi respon (R) diambil sebesar 1 untuk seluruh jenis bangunan bawah dan hubungan antar elemen struktur.

Tabel 2.19 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Bangunan Bawah

Bangunan Bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat Penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dingin	1,5	1,5	2
Tiang/kolom beton bertulang			
Tiang vertika	1,5	2	3
Tiang miring	1,5	1,5	2
Kolom tunggal	1,5	2	3
Tiang baja dan komposit			
Tiang vertikal	1,5	3,5	5
Tiang miring	1,5	2	3
Kolom majemuk	1,5	3,5	5

(sumber: SNI 2833-2016)

Catatan: Pilar tipe dinding dapat direncanakan sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah pilar

Tabel 2.20 Faktor Modifikasi Respon (R) untuk Hubungan antar Elemen Struktur

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan fondasi	1,0

(sumber: SNI 2833-2016)

Gaya gempa harus diasumsikan untuk dapat bekerja dari semua arah lateral. Faktor modifikasi respon (R) yang sesuai harus digunakan di kedua arah sumbu ortogonal bangunan bawah. Pilar tipe dinding dapat dianalisis sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah

2.7.6 Kombinasi Pengaruh Gaya Gempa

Gaya gempa elastis yang bekerja pada struktur jembatan harus dikombinasi sehingga memiliki 2 tinjauan pembebanan sebagai berikut :

- 1) 100% gaya gempa pada arah x dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah y .
- 2) 100% gaya gempa pada arah y dikombinasikan dengan 30% gaya gempa pada arah x .

Sehingga apabila diaplikasikan dengan memperhitungkan variasi arah maka kombinasi gaya gempa menjadi sebagai berikut :

$$1. DL + \gamma EQ_{LL} + EQ_x + 0,3 EQ_y \dots\dots\dots (2.31)$$

$$2. DL + \gamma EQ_{LL} + EQ_y + 0,3 EQ_x \dots\dots\dots (2.32)$$

$$3. DL + \gamma EQ_{LL} - EQ_x - 0,3 EQ_y \dots\dots\dots (2.33)$$

$$4. DL + \gamma EQ_{LL} - EQ_y - 0,3 EQ_x \dots\dots\dots (2.34)$$

$$5. DL + \gamma EQ_{LL} + EQ_x - 0,3 EQ_y \dots\dots\dots (2.35)$$

$$6. DL + \gamma EQ_{LL} + EQ_y - 0,3 EQ_x \dots\dots\dots (2.36)$$

$$7. DL + \gamma EQ_{LL} - EQ_x + 0,3 EQ_y \dots\dots\dots (2.37)$$

$$8. DL + \gamma EQ_{LL} - EQ_y + 0,3 EQ_x \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan:

DL adalah beban mati yang bekerja (kN)

γ_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa

$$\gamma_{EQ} = 0,5 \text{ (jembatan sangat penting)}$$

$$\gamma_{EQ} = 0,3 \text{ (jembatan penting)}$$

$$\gamma_{EQ} = 0 \text{ (jembatan lainnya)}$$

LL adalah beban hidup yang bekerja (kN)

EQ_x adalah beban gempa yang bekerja pada arah X

EQ_y adalah beban gempa yang bekerja pada arah Y