

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian pada jembatan telah banyak dilakukan pada bidang teknik sipil. Topik penelitian yang dilakukan antara lain, analisis kelayakan struktur akibat pengaruh gempa dan evaluasi bangunan atas jembatan. Jembatan yang digunakan mayoritas menggunakan jembatan kendaraan.

Rizqi, Mohammad Radja Nur (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh gempa terhadap jembatan kendaraan dengan melakukan pemodelan jembatan pelengkung Sultan Muhammad Ali Abdul Jalil Muazzamyah dan menganalisis jembatan pelengkung dengan *time history analysis*. Pemodelan analisis struktur jembatan dilakukan dengan menggunakan *software* SAP2000 V.18 dengan pembebanan yang berupa beban mati sendiri (*selfweight*), beban mati tambahan dan beban gempa, tanpa memperhitungkan beban kendaran. Analisis yang dilakukan terhadap struktur jembatan yaitu berupa *mode shapes*, *displacement* dan tegangan yang terjadi. Dari hasil analisis, *mode shapes* maksimum terjadi pada atah sumbu Y jembatan, untuk *displacement* maksimum terjadi pada bentang tengah jembatan, dengan nilai *displacement* lebih besar dari lendutan yang diijinkan dan tegangan maksimum terjadi pada gelagar pelengkung.

Syafirra, Sonnia (2018) melakukan penelitian tentang efek gempa dua arah dan tiga arah terhadap jembatan rangka baja tipe warren dengan memodelkan dan menganalisis struktur jembatan rangka baja tipe warren dengan ABAQUS *student edition* dan menggunakan *time history analysis*. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan struktur jembatan tipe warren dengan *software* ABAQUS *student edition* dan dilakukan analisis nilai eigen sehingga, terlihat perilaku dominan struktur jembatan. Selanjutnya, dilakukan analisis dinamis yang berupa *time history analysis* dengan memodelisasi struktur secara dua dan tiga dimensi. Dari hasil analisis, akibat bertambahnya arah gempa dari dua arah menjadi tiga arah terjadi peningkatan tegangan pada batang sebesar 5,9303%. Kemudian, terjadi penurunan modulus elastisitas sebesar 2,5641%. Dari hasil tersebut, beban

gempa tiga arah tidak berpengaruh besar. Sehingga, analisis terhadap beban gempa dua arah sudah cukup.

Suryanitra, Reni (2016) melakukan penelitian tentang respons struktur jembatan beton prategang berdasarkan spektrum gempa dengan memodelkan struktur jembatan dengan *software* elemen hingga dan mengidentifikasi respon struktur jembatan beton prategang di lokasi kegempaan pulau Sumatera. Analisis yang dilakukan terhadap struktur jembatan yaitu berupa perpindahan, kecepatan dan percepatan yang terjadi pada struktur jembatan beton prategang di 11 ibukota provinsi di wilayah gugusan pulau Sumatera dengan 3 kondisi jenis tanah, yaitu tanah keras, sedang dan lunak. Penelitian ini mengacu pada studi kasus pembangunan jembatan beton prategang di Kecamatan Tapung, Kabupaten Kampar yang dimodelkan dengan *software* elemen hingga dan menganalisis respon spektrum gempa yang mengacu pada RSNi 2833-201X. Dari hasil analisis, respon struktur jembatan maksimum terjadi di kota Banda Aceh. Nilai perpindahan sebesar 0,01595 m dengan kecepatan sebesar 0,4552 m/det, dan nilai percepatan sebesar 9,7 m/det².

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Gempa Bumi

Menurut Chen (2000), gempa bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadinya getaran pada permukaan bumi yang diakibatkan dengan adanya pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa. Energi yang dilepaskan tersebut akan merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang getaran. Gelombang getaran yang sampai ke permukaan bumi disebut gempa bumi. Hal ini terjadi karena pergerakan tanah alami yang disebabkan oleh fenomena yang beragam, termasuk tektonik, vulkanisme, *landslide*, *rock burst* dan ledakan. Dari semua penyebab tersebut, guncangan yang disebabkan oleh peristiwa tektonik merupakan penyebab utama kerusakan struktur dan perhatian utama dalam mengkaji tentang bahaya gempa.

Gempa tektonik merupakan peristiwa pelepasan energi gelombang seismik secara tiba-tiba yang diakibatkan oleh adanya deformasi lempeng tektonik yang ada di kerak bumi. Pelepasan energi gelombang lempeng tektonik yang terjadi secara tiba-tiba menyebabkan gelombang seismik yang menyebar dan merambat melalui lapisan kulit bumi (Supriatna dan Budiono, 2011).

Menurut Moehle dan Oberhard dalam Chen (2000), terdapat 2 jenis kerusakan yang di akibatkan oleh gempa. Adapun kerusakan tersebut, yakni:

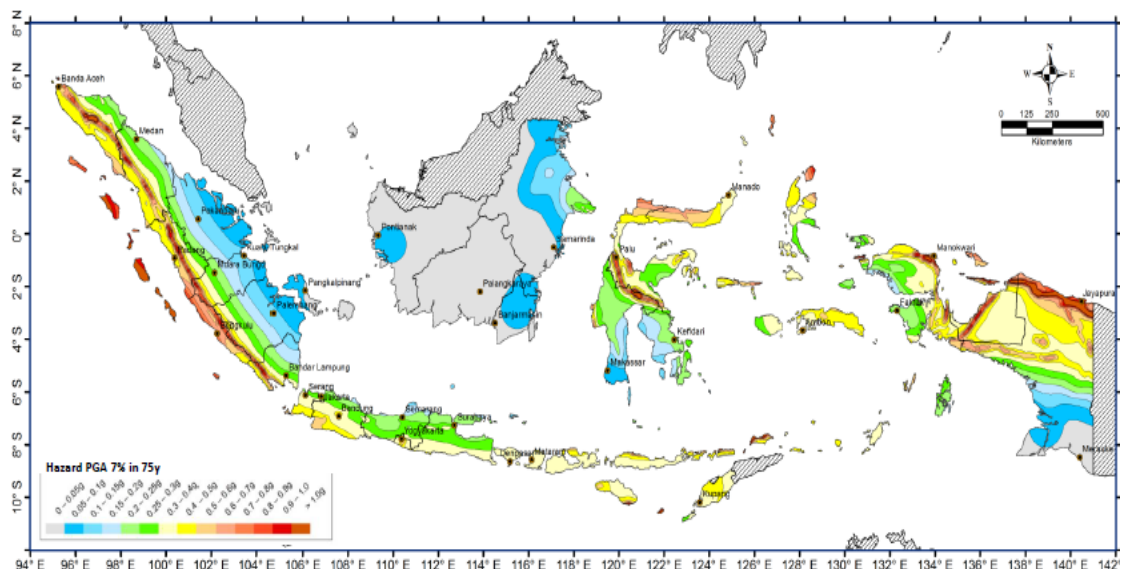
a. Kerusakan primer

Kerusakan ini disebabkan oleh pergerakan tanah atau deformasi langsung pada tanah. Sehingga, dapat langsung merusak struktur utama jembatan, terutama pilar/*pier* dan struktur atas jembatan.

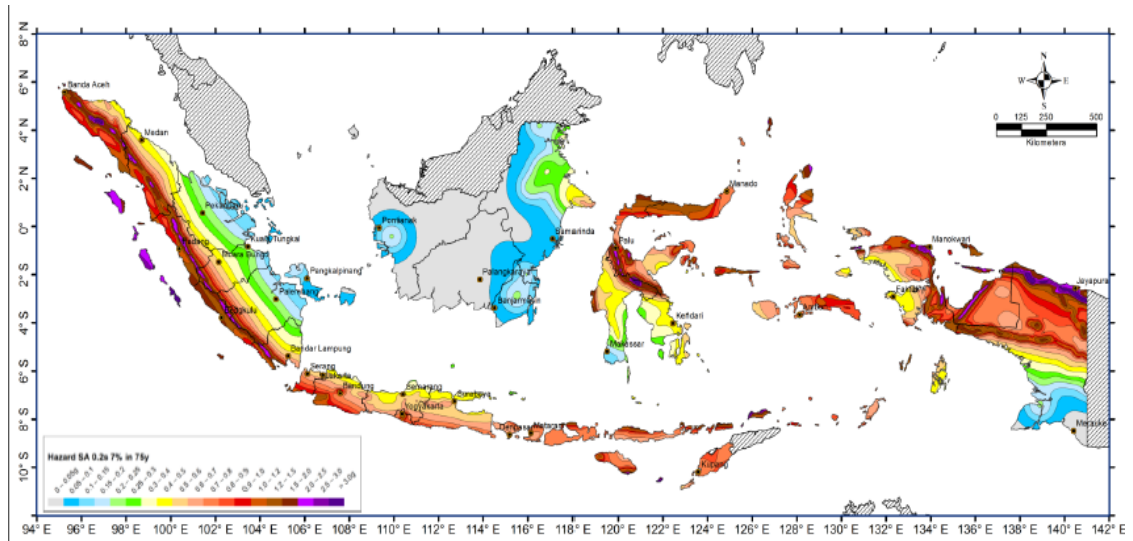
b. Kerusakan sekunder

Kerusakan ini terjadi sebagai akibat tidak langsung dari pergerakan tanah, melainkan disebabkan oleh kegagalan struktur yang dapat memberi aksi pada struktur yang lain.

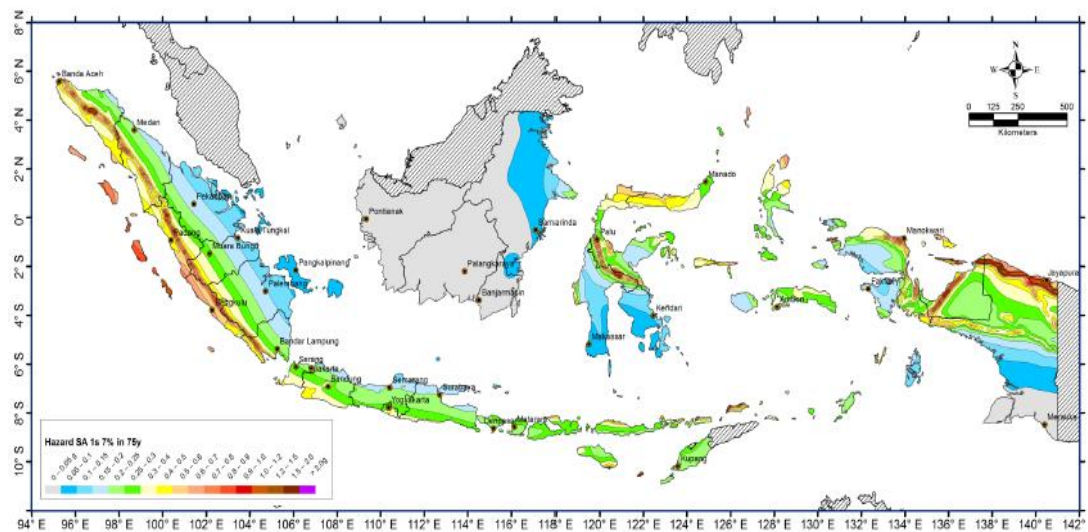
2.2.2. Peta Gempa 2017



Gambar 2.1. Peta percepatan puncak di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Peta gempa, 2017)



Gambar 2.2. Peta percepatan spektrum respons 0.2 detik dengan nisbah redaman 5% di batuan dasar dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Peta gempa, 2017)



Gambar 2.3. Peta percepatan respons spektrum 0.1 detik dengan nisbah redaman 5% di batuan dasar dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Peta gempa, 2017)

2.2.3. Jembatan

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyalang sungai/saluran air, lembah atau menyalang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya (Supriyadi dan Muntohar, 2007).

Sementara itu menurut Struyk dan Van Der Veen (1984), jembatan ialah sebuah struktur yang dibangun untuk dapat melewati suatu rintangan yang berbeda lebih rendah.

2.2.3.1. Jembatan Baja

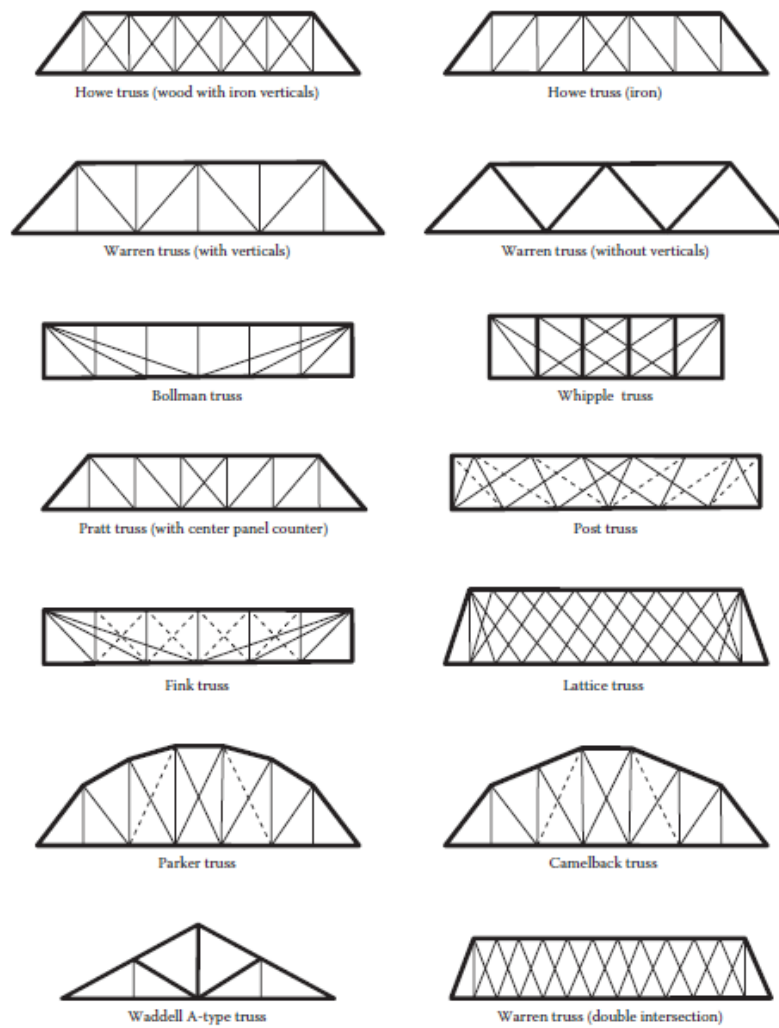
Jembatan dengan konstruksi baja dapat mencakup seluruh jembatan dengan bentang pendek balok sederhana di atas tumpuan substruktur, jembatan gelagar dengan bentang yang lebih panjang yang menggunakan rangka baja (*trusses*). Tetapi, terlepas dari tipe bentang tertentu, sebagian besar jembatan struktur baja dirancang dengan bentang sederhana. Hal tersebut dilakukan supaya pelaksanaan konstruksi dan pemeliharaan dapat dijalankan dengan lebih mudah (Rosyidi, 2016).

2.2.3.2. Jembatan Rangka (*Truss Bridge*)

Jembatan rangka (*truss bridge*) merupakan jembatan yang didesain untuk bentang yang panjang. Bentang yang dapat menggunakan konstruksi jembatan rangka, yakni lebih dari 180 *feet* atau 55 m. Tipikal jembatan rangka biasanya terdiri dari elemen-elemen batang yang terletak pada tepi atas dan tepi bawah yang berfungsi sebagai *flens* pada gelagar yang terhubung dengan elemen batang diagonal dan vertikal yang biasa disebut dengan batang penggantung (*hangers*). Elemen-elemen tersebut memiliki susunan membentuk bidang segitiga atau kombinasi segitiga, sehingga memiliki kestabilan pada jembatan rangka. Elemen batang biasanya dihubungkan dengan konstruksi sambungan baut, las atau paku keling. Jembatan rangka merupakan suatu bentuk konstruksi yang dapat menahan dan memikul beban-beban besar yang berkerja di atasnya. Jembatan rangka memiliki beberapa tipe, salah satunya ialah jembatan rangka tipe warren. (Rosyidi, 2016).



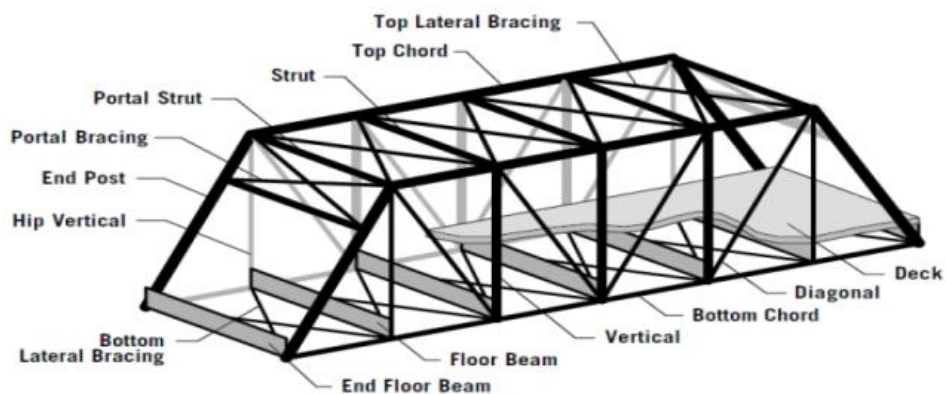
Gambar 2.4. Contoh jembatan rangka (Unsworth, 2017)



Gambar 2.5. Tipe-tipe jembatan rangka (Unsworth, 2017)

2.2.3.3. Jembatan Rangka Tipe Warren

Jembatan rangka (*truss bridge*) merupakan jembatan yang memiliki struktur rangka dari elemen-elemen batang baja yang membentuk segitiga pada konstruksinya. Elemen-elemen batang baja di sambung dengan las maupun baut. Elemen-elemen batanglah yang akan menahan beban-beban yang bekerja pada jembatan rangka. Jembatan tipe warren memiliki kategori *through truss*, pada tipe ini lalu lintas kendaraan melalui bagian atas struktur utama dengan penambatan melintang pada bagian atas dan bawah.



Gambar 2.6. Komponen jembatan rangka baja (S, Ressler, 2001)



Gambar 2.7. Jembatan rangka tipe warren (Satyarno, 2003)

2.2.4. Pembebanan Jembatan

Pembebanan pada jembatan yang di perhitungkan adalah akibat gaya-gaya yang bekerja pada jembatan, yaitu gaya-gaya pokok dan gaya-gaya tambahan. Gaya-gaya pokok meliputi, beban mati (berat sendiri dan berat material

tambahan), beban hidup (muatan gerak) dan gaya-gaya tambahan meliputi, beban rem, beban angin dan beban gempa.

2.2.4.1. Beban Mati

Semua beban tetap yang berasal dari berat sendiri jembatan atau bagian jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan.

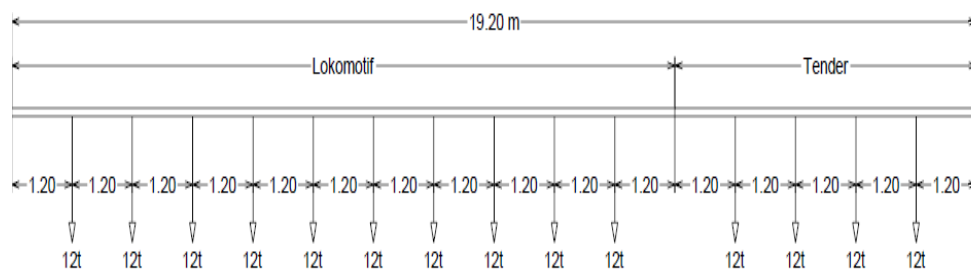
Tabel 2.1. Berat Jenis Bahan (PM No.60, 2012)

Material	Berat Jenis (kN/m ³)
Baja, Baja Cor	78,50
Besi Cor	72,50
Kayu	8,00
Beton	24,00
Aspal Anti Air	11,00
<i>Ballast Gravel/Batu Pecah</i>	19,00

2.2.4.2. Beban Hidup

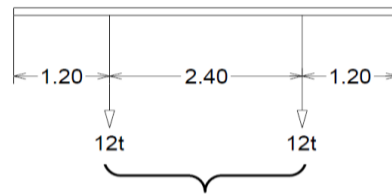
Beban hidup yang terjadi pada jembatan ini merupakan muatan gerak dari susunan kereta api yang berdasarkan Rencana Muatan 1921 (RM-1921). Skema pembebanan Rencana Muatan 1921 (RM-1921) sebagai berikut.

- Sebagai muatan gerak dianggap suatu susunan kereta api terdiri dari 2 lokomotif pakai tender seperti skema berikut.



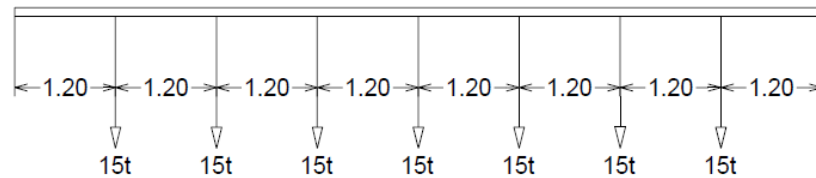
Gambar 2.8. Jumlah berat gandar 168 ton atau 87.5 ton/m (RM, 1921)

- b. Jika dengan kereta/gerbong yang jumlahnya tidak tertentu seperti skema berikut.



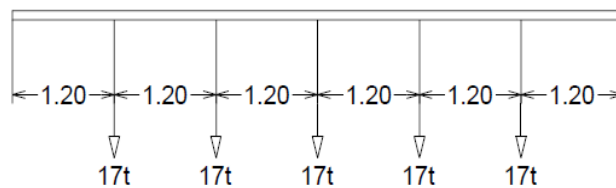
Gambar 2.9. Jumlah berat gandar 24 ton atau 5 ton/m (RM, 1921)

- c. Jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 15 ton seperti skema berikut.



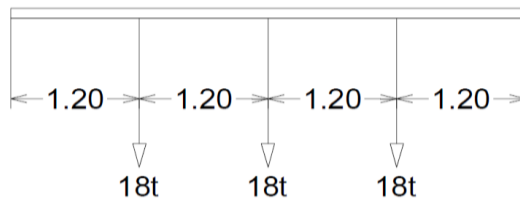
Gambar 2.10. Jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921)

- d. Jika ada 5 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 17 ton seperti skema berikut.



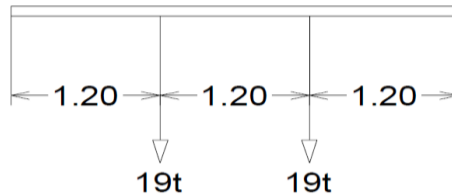
Gambar 2.11. Jika ada 5 gandar yang dapat tempat perhitungan (RM, 1921)

- e. Jika ada 3 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 18 ton seperti skema berikut.



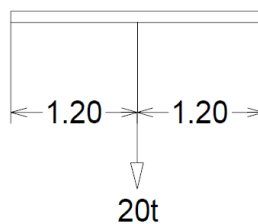
Gambar 2.12. Jika ada 3 gandar yang dapat tempat perhitungan
(RM, 1921)

- f. Jika ada 2 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 19 ton seperti skema berikut.



Gambar 2.13. Jika ada 2 gandar yang dapat tempat perhitungan
(RM, 1921)

- g. Jika ada 1 gandar yang dapat tempat dalam hitungan maka berat gandar harus ditambah menjadi 20 ton seperti skema berikut.



Gambar 2.14. Jika ada 1 gandar yang dapat tempat perhitungan
(RM, 1921)

Pada rencana muatan gerak tersebut selalu dipilih hasil yang paling berbahaya. Susunan lokomotif (L), *tender/carier* (C) dan gerbong/*wagon* (W) dapat dikombinasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling maksimum sebagai berikut:

- a. L-C-L-C-W-W
- b. L-C-C-L-W-W
- c. C-L-L-C-W-W
- d. C-L-C-L-W-W

2.2.4.3. Beban kejut

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor i adalah dengan menggunakan sebagai berikut:

- a. Untuk rel pada alas balas,

$$i = 0,1 + \frac{25}{50 + L} \dots\dots\dots (2.1)$$

- b. Untuk rel pada perletakan kayu,

$$i = 0,2 + \frac{25}{50 + L} \dots\dots\dots (2.2)$$

- c. Untuk rel secara langsung pada baja,

$$i = 0,3 + \frac{25}{50 + L} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana,

i = faktor kejut

L = panjang bentang (m)

2.2.4.4. Beban Sentrifugal, C

Beban sentrifugal diperoleh dengan mengalikan faktor α terhadap beban kereta. Beban bekerja pada pusat gaya berat kereta pada arah tegak lurus rel secara horisontal.

$$\alpha = \frac{V^2}{127 R} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana,

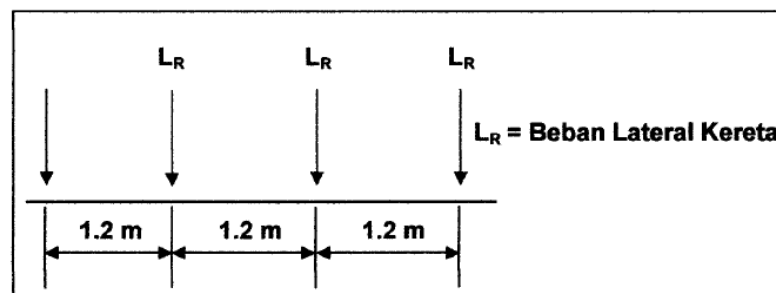
α = koefisien beban sentrifugal

V = kecepatan maks. Kereta (km/jam)

R = radius tikungan (m)

2.2.4.5. Beban Lateral Kereta

Beban lateral kereta adalah sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.10. Beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel, secara horisontal. Besaran adalah 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif atau kereta listrik/diesel.



Gambar 2.15. Beban lateral kereta (PM No.60, 2012)

2.2.4.6. Beban Rem dan Traksi

Beban rem dan traksi adalah akibat percepatan dan perlambatan dari kereta. Beban ini bekerja pada rel dan tumpuan struktur sebagai beban merata sepanjang rel dalam bidang horisontal.

Besarnya beban rem adalah,

$$B = \frac{1}{6} \text{ beban lokomotif} + \frac{1}{10} \text{ beban kereta (semua kereta termuati penuh) (2.5)}$$

2.2.4.7. Beban Rel Longitudinal

Beban rel longitudinal pada dasarnya adalah 10 kN/m dan maksimum besarnya adalah 2000 kN. Beban ini bekerja pada level dasar dari rel, paralel dengan as jembatan. Maka, besarnya beban rel longitudinal:

$$L_F = L \times \text{Beban rel longitudinal (10 kN/m)..... (2.6)}$$

dimana,

L = bentang jembatan

2.2.4.8. Beban Angin

Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horisontal, tipikal nilainya adalah sebagai berikut.

- a. 3.0 kN/m^2 pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian, 2.0 kN/m^2 , pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai.
- b. 1.5 kN/m^2 pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian 1.2 kN/m^2 untuk jembatan selain gelagar dek/rasuk atau jembatan komposit, sedangkan 0.8 kN/m^2 untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

2.2.4.9. Beban Suhu

Temperatur pada jembatan perlu diperhitungkan, hal ini dimaksudkan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada balok baja akibat adanya perbedaan suhu di permukaan profil atas dan bawah (temperatur *gradient*). Sehingga, beban suhu dapat digunakan untuk menghitung muai panjang jembatan, dengan koefisien muai panjang baja normal sebesar $12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$.

2.2.4.10. Beban Gempa

Berdasarkan 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. Bahaya gempa pada jembatan harus dikarakteristikan dengan menggunakan respon spektra percepatan dan faktor situs untuk kelas situs yang sesuai.

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek ($T = 0,2$) (SS) dan periode 1 detik (S1). PGA adalah percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.1), SS

adalah parameter respon spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T = 0,2$) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.2) dan $S1$ adalah parameter respon spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.3). Faktor amplifikasi terdiri dari faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a) dan faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v). Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 memberikan nilai-nilai F_{PGA} , F_a , F_v untuk berbagai klasifikasi jenis tanah.

Tabel 2.2. Faktor Amplifikasi Untuk PGA dan 0,2 Detik (F_{PGA}/F_a)
(SNI 2833:2016)

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA > 0,4$
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
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)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
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

Tabel 2.3. Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (F_v)
(SNI 2833:2016)

Kelas Situs	$S1 \leq 0,1$	$S1 = 0,2$	$S1 = 0,3$	$S1 = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
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

Respon spektra di permukaan tanah ditentukan melalui 3 nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia, yakni peta gempa 2017 dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (PGA, SS, S1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a dan F_v . Berikut adalah perumusan respon spektra,

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \dots\dots\dots (2.7)$$

$$SDS = F_a \times SS \dots\dots\dots (2.8)$$

$$SD1 = F_v \times S1 \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk dapat membentuk grafik respon spektra di permukaan tanah, terdapat koefisien respon gempa elastik yang harus di perhitungkan. Terdapat 3 kondisi periode.

- a. Untuk $T < T_0$, koefisien respon gempa elastik (C_{sm}) didapat melalui persamaan berikut,

$$C_{sm} = (SDS - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \dots\dots\dots (2.10)$$

- b. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$, koefisien respon gempa elastik (C_{sm}) sama dengan SDS.

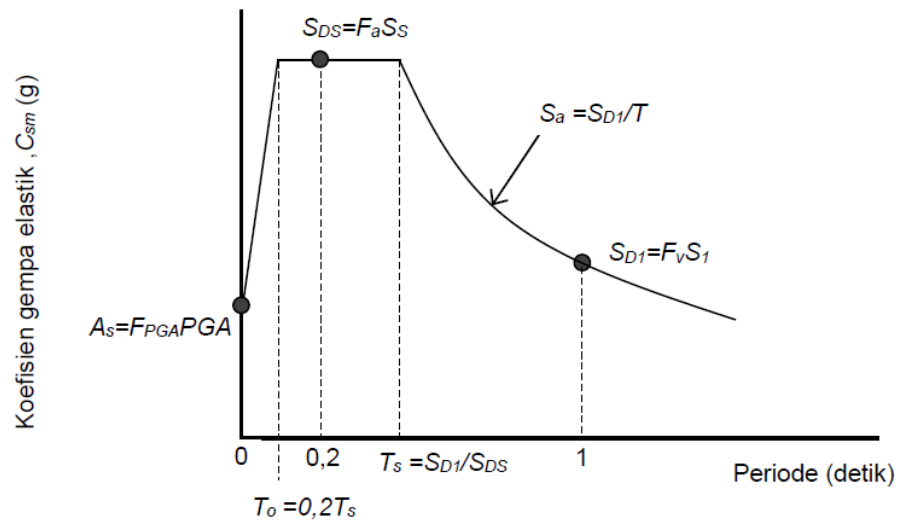
- c. Untuk periode $T > T_s$, koefisien respon gempa elastik (C_{sm}) didapat melalui persamaan berikut,

$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} \dots\dots\dots (2.11)$$

SDS adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode ($T = 0,2$), SD1 adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1 detik. Sedangkan, nilai T_0 dan T_s didapat melalui persamaan berikut,

$$T_0 = 0,2 T_s \dots\dots\dots (2.12)$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} \dots\dots\dots (2.13)$$



Gambar 2.16. Bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah (SNI 2833:2016)