

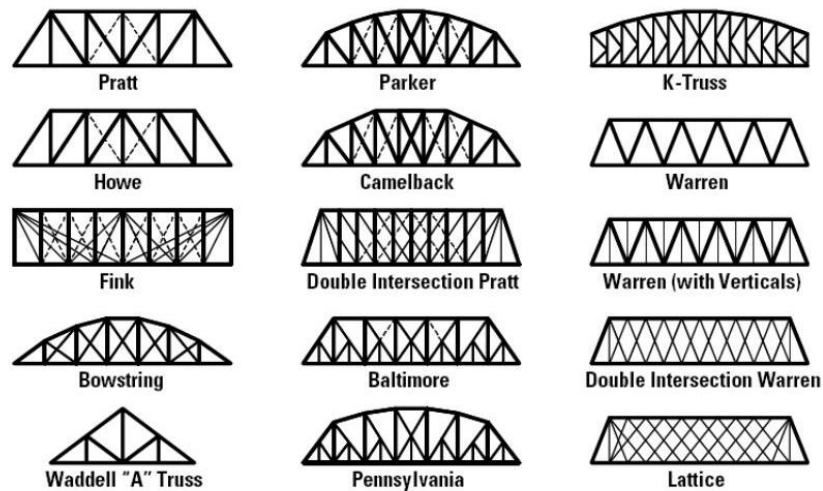
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jembatan Rangka Baja

2.1.1 Pengertian dan Definisi Jembatan Rangka Baja

Jembatan rangka baja adalah jenis jembatan yang menggunakan rangka baja sebagai elemen utama dalam menopang beban yang bekerja pada jembatan tersebut. Baja dipilih karena memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan bisa dibentuk dengan mudah, yang membuatnya sangat efisien untuk digunakan dalam berbagai desain jembatan, seperti jembatan jalan raya, kereta api, dan jembatan penyeberangan. Desain jembatan rangka baja juga sering digunakan untuk jembatan yang memiliki bentang panjang karena material baja memungkinkan pembuatan elemen yang lebih ringan namun tetap kuat (Lilu, 2019).

Jembatan rangka memiliki beberapa tipe jembatan. Berikut ini merupakan beberapa tipe jembatan rangka yang dapat digunakan :

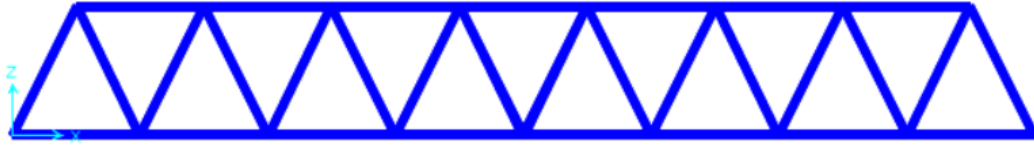


Gambar 2.1 Tipe Jembatan
(Sumber: Abbas & Swabi, n.d.)

2.1.2 Jembatan *Warren Truss*

Jembatan *Warren Truss* adalah jenis jembatan rangka baja yang tersusun dari elemen-elemen segitiga sama sisi atau sama kaki tanpa batang vertikal. Desain ini diperkenalkan oleh James Warren pada tahun 1848 dan terkenal karena kesederhanaannya serta efisiensi dalam penggunaan material. Pada *Warren Truss*, beban didistribusikan secara merata ke batang-batang diagonal yang bekerja

sebagai tarik dan tekan secara bergantian, sehingga meningkatkan efisiensi struktural (Sari et al., 2024).



Gambar 2.2 Jembatan *Warren Truss*
(Sumber: Abbas & Swabi, n.d.)

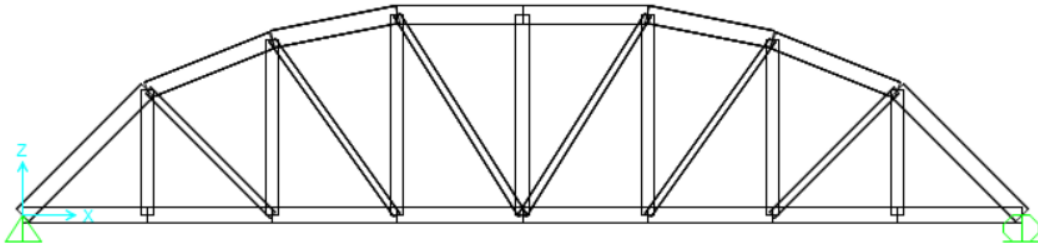
Konfigurasi ini cocok untuk bentang menengah dan sering digunakan pada jembatan jalan raya maupun kereta api. Selain ringan, sistem ini juga memudahkan dalam pelaksanaan sambungan, baik baut maupun las, sesuai kebutuhan struktur dan metode konstruksi yang diterapkan (Fahmi et al., 2024).

2.1.3 Jembatan *Camelback Truss*

Jembatan rangka baja tipe *camelback truss* dikembangkan oleh Charles H. Parker sebagai modifikasi dari jembatan tipe Pratt Truss. Keunggulan dari jembatan tipe *camelback truss* terletak pada konstruksinya yang lebih ringan dibandingkan dengan tipe jembatan berbentuk *trapezium*. Selain itu, struktur lengkung yang dimilikinya memberikan nilai estetika yang lebih menarik dibandingkan dengan desain *trapezium*. Pada tipe *camelback truss*, penghubung bagian atas sejajar dengan penghubung bagian bawah, yang menghasilkan struktur lebih ringan tanpa mengurangi kekuatan. Hal ini juga menyebabkan beban mati di ujungnya lebih sedikit, dengan distribusi kekuatan yang lebih terkonsentrasi di bagian tengah (Lilu, 2019).

Adapun keuntungan jembatan tipe *camelback truss* adalah sebagai berikut:

1. Konstruksi lebih ringan dari jembatan bentuk *trapezium*.
2. Model jembatan mendekati penampang yang paling optimal dibanding jembatan rangka *trapezium*.
3. Mempunyai estetika yang lebih indah dibanding dengan bentuk *trapezium*



Gambar 2.3 Jembatan *Camelback Truss*
(Sumber: Abbas & Swabi, n.d.)

2.2 Struktur Atas Jembatan Rangka Baja

Struktur atas jembatan rangka baja adalah bagian dari jembatan yang langsung menerima dan mendistribusikan beban yang bekerja pada jembatan, baik dari kendaraan maupun beban lainnya. Bagian ini terdiri dari beberapa komponen yang saling berinteraksi, yang berfungsi untuk menjaga kestabilan dan kekuatan struktur secara keseluruhan (Zhou et al., 2024).

Berikut adalah komponen utama dari struktur atas jembatan rangka baja beserta penjelasannya.

1. Rangka jembatan terbuat dari baja profil I, yang lebih efektif dalam menahan beban *horizontal* (beban yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu batang).
2. Trotoar merupakan kawasan pejalan kaki yang terbuat dari beton dan lebih tinggi dibandingkan dengan lantai kendaraan atau permukaan jalan aspal. Lebar trotoar minimal cukup untuk dilewati dua orang, biasanya berkisar antara 0,5 hingga 1,5 meter, dan dipasang di kedua sisi jembatan.
3. Gelagar Utama (*Girder*): Elemen *horizontal* yang mendukung lantai jembatan dan menyalurkan beban ke perletakan. Gelagar utama dapat berupa balok I, balok kotak (*box girder*), atau rangka baja (Lukmanul Hakim, 2015).
4. Lantai Jembatan: Permukaan yang dilalui oleh kendaraan dan pejalan kaki. Lantai jembatan biasanya terbuat dari beton bertulang atau pelat baja (Handayani et al., 2023).
5. Gelagar Memanjang dan Melintang: Balok yang mendukung lantai jembatan, membantu mendistribusikan beban ke gelagar utama. Gelagar

memanjang sejajar dengan arah lalu lintas, sedangkan gelagar melintang tegak lurus terhadapnya (Simamora et al., 2022).

6. Ikatan Angin (*Bracing*): Struktur yang memberikan kekakuan lateral dan mencegah deformasi akibat beban angin atau beban lateral lainnya. Ikatan angin dapat berupa batang diagonal yang menghubungkan gelagar utama (Simamora et al., 2022).
7. Perletakan (*Bearing*): Komponen yang menghubungkan struktur atas dengan struktur bawah, memungkinkan pergerakan akibat ekspansi termal, kontraksi, atau beban dinamis. Perletakan dapat berupa bantalan elastomer atau perletakan baja (Handayani et al., 2023).
8. Sambungan Siar Muai (*Expansion Joint*): Fasilitas yang memungkinkan pergerakan longitudinal pada jembatan akibat perubahan suhu atau beban, mencegah kerusakan pada struktur (Simamora et al., 2022).
9. Sandaran (*Parapet/Railing*): Pengaman di tepi jembatan untuk mencegah kendaraan atau pejalan kaki jatuh dari jembatan. Sandaran biasanya terbuat dari beton atau baja (Handayani et al., 2023).

2.3 Standar Peraturan Jembatan Rangka Baja

Perencanaan ini mengacu kepada standar peraturan yang telah ditetapkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga Departement Pekerjaan Umum antara lain:

1. SNI-1725-2016 Perencanaan Pembebanan Untuk Jembatan.
2. SNI-1729 -2020 untuk Struktur Baja mengacu pada Standar Nasional Indonesia
3. SNI-2833-2008, Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan

2.3.1 Dasar Perencanaan Pembebanan pada Jembatan Rangka Baja

Dalam perencanaan pembebanan, hal ini mengikuti regulasi yang sudah ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga di bawah naungan Departemen Pekerjaan Umum, khususnya mengacu pada (SNI 1725 : 2016) yang membahas pembebanan jembatan. Regulasi ini berisi panduan tentang beban dan aktivitas terkait yang perlu diaplikasikan dalam perancangan jembatan di jalan raya, meliputi jembatan penyeberangan serta struktur pendukung yang terkait dengan jembatan tersebut. Dalam situasi tertentu, aspek pembiayaan dan cara pelaksanaan dapat

dikombinasikan dengan persetujuan dari otoritas yang berkompeten (Muhammad Yusuf & Fahmy Hermawan, 2024).

Ketentuan-ketentuan tersebut wajib diterapkan dalam perencanaan seluruh tipe jembatan, termasuk jembatan dengan bentang besar yang memiliki bentang utama melebihi 200 meter.

2.3.1.1 Beban Mati

Beban mati jembatan meliputi bagian struktur dan elemen non-struktur. Setiap berat komponen ini harus diperlakukan sebagai aksi yang terintegrasi saat menerapkan faktor beban normal maupun yang sudah direduksi. Insinyur Perencana jembatan perlu menggunakan pertimbangan yang cermat dalam menentukan faktor-faktor tersebut.

Tabel 2.1 Faktor Beban

Jangka Waktu	Faktor Beban			
	KS:MS	KU:MS		
		Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja, Aluminium	1	1,1	0,9
	Beton Pracetak	1	1,2	0,85
	Beton dicor Ditempat	1	1,3	0,75
	Kayu	1	1,4	0,7

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016 Pasal 7.2)

Bobot struktural suatu konstruksi merupakan berat dari unsur-unsur struktur dan berbagai komponen lain yang didukungnya. Ini mencakup massa material dan bagian-bagian jembatan yang berfungsi sebagai elemen struktural maupun non-struktural yang bersifat tetap. Beban mati jembatan terdiri dari keseluruhan berat komponen struktural dan elemen non-struktural. Berat dari setiap komponen tersebut harus dianggap sebagai efek gabungan ketika menerapkan reduksi faktor beban umum. Perencana jembatan harus mempunyai pertimbangan yang matang dalam menetapkan faktor-faktor tersebut (SNI 1725 : 2016).

Tabel 2.2 Berat Isi untuk Beban Mati

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi	Kerapatan Masa
		(kN/m ³)	(kN/m ³)
1	Campuran aluminium	26,7	2.720
2	Lapisan permukaan beraspal	22	2.240
3	Besi tuang	71	7.200
4	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1.760
5	Kerikil dipadatkan	18,8 – 22,7	1.920 – 2.320

No.	Bahan	Berat/Satuan Isi	Kerapatan Masa
		(kN/m ³)	(kN/m ³)
6	Aspal beton	22	2.240
7	Beton ringan	12,25 – 19,6	1.250 – 2.000
8	Beton	22 – 25	2.240 – 2.560
9	Beton prategang	25 – 26	2.560 – 2.640
10	Beton bertulang	23 – 25,5	2.400 – 2.600
11	Timbal	111	11.400
12	Lempung lepas	12,5	1.280
13	Batu pasangan	23,5	2.400
14	Neoprin	11,3	1.150
15	Pasir kering	15,7 – 17,2	1.600 – 1.760
16	Pasir basah	18 – 18,8	1.840 – 1.920
17	Lumpur lunak	17,2	1.760
18	Baja	77	7.850
19	Kayu (ringan)	7,8	800
20	Kayu (keras)	11	1.120
21	Air murni	9,8	1.000
22	Air garam	10	1.025
23	Besi tempa	75,5	7.680

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016)

2.3.1.2 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan merupakan berat dari semua material yang memberikan beban pada jembatan, tetapi tidak termasuk dalam elemen struktural utama. Beban ini terdiri dari komponen non-struktural yang dapat mengalami perubahan jumlah seiring dengan usia jembatan.

Tabel 2.3 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Jangka Waktu	Faktor Beban		
	KS:MS	KU:MS	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	Keadaan Umum 1,0 (1)	2	0,7

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016)

Tabel 2.4 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan (Lanjutan)

Jangka Waktu	Faktor Beban		
	KS:MS	KU:MS	
		Biasa	Terkurangi
	Keadaan Khusus 1,0	1,4	0,8

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

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016 Pasal 7.3)

1. Definisi dan Persyaratan

Beban mati tambahan merujuk pada berat semua material yang memberikan beban pada jembatan, namun tidak termasuk dalam elemen struktural

utama. Beban ini terdiri dari komponen non-struktural yang dapat mengalami perubahan jumlah seiring dengan masa pakai jembatan. Dalam kondisi tertentu, pengurangan faktor beban mati tambahan dapat dilakukan dengan persetujuan dari pihak berwenang.

2. Ketebalan untuk pelapisan kembali permukaan yang dizinkan

Kecuali dinyatakan lain oleh instansi yang berwenang, setiap jembatan harus memiliki cadangan beban tambahan berupa lapisan beton aspal dengan ketebalan 50 mm sebagai persiapan untuk perawatan di masa mendatang. Lapisan ini harus ditambahkan pada lapisan permukaan sebagaimana yang telah ditetapkan dalam gambar desain. Rekonstruksi permukaan yang diperbolehkan harus mempertimbangkan beban rencana dan faktor beban yang sesuai guna memastikan kapasitas beban jembatan tetap terpenuhi.

3. Sarana lain di jembatan

Dampak dari alat pelengkap dan sarana umum yang terdapat di jembatan harus diperhitungkan dengan cermat. Berat fasilitas seperti pipa air bersih, pipa air kotor, serta utilitas lainnya harus diasumsikan dalam kondisi penuh dan dalam keadaan operasional sepenuhnya, dengan mempertimbangkan skenario beban paling kritis untuk memastikan keamanan struktur jembatan.

2.3.1.3 Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT). Faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” adalah sebagai berikut :

Tabel 2.5 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan batas layan	Keadaan batas <i>ultimate</i>
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016 Pasal 8.3)

1. Beban terbagi rata (BTR)

Beban terbagi rata (BTR) memiliki intensitas q (kPa), di mana besarnya bergantung pada panjang total yang dibebani L (meter) dengan ketentuan sebagai berikut:

$$L \leq 30m : q = 9,0kPa \quad (2.1)$$

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

Dengan Pengertian:

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

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter)

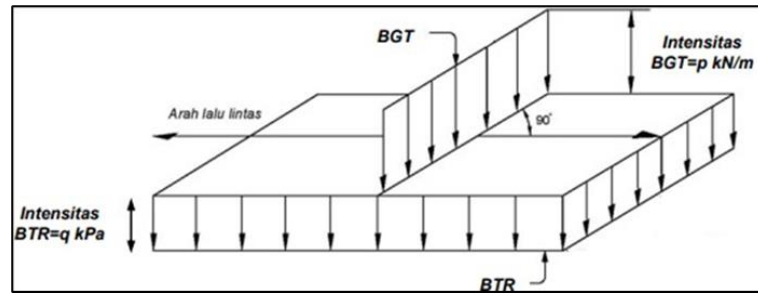
Beban terbagi rata (BTR) dapat dibagi menjadi beberapa segmen dengan panjang tertentu untuk menghasilkan pengaruh maksimal pada jembatan menerus atau struktur khusus, sehingga perencanaan pembebanan dapat lebih efektif sesuai dengan kondisi struktural jembatan..

2. Beban Garis Terpusat (BGT)

Beban garis terpusat (BGT) adalah beban dengan intensitas p (KN/m) yang ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas kendaraan yang melintas di atas jembatan. Beban ini memiliki ketentuan sebagai berikut:

- Intensitas BGT (p) = 49,0 KN/m
- Untuk menghasilkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan secara melintang pada bentang lainnya dalam struktur jembatan.

Penerapan BGT ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi pembebanan maksimal yang dapat terjadi selama operasional jembatan, sehingga desainnya mampu menahan beban kendaraan dengan tingkat keamanan yang optimal.



Gambar 2.4 Beban Lajur "D"

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016)

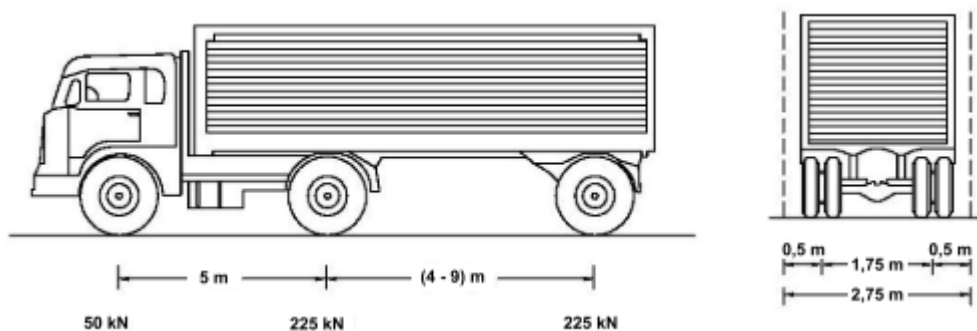
2.3.1.4 Beban Truk "T"

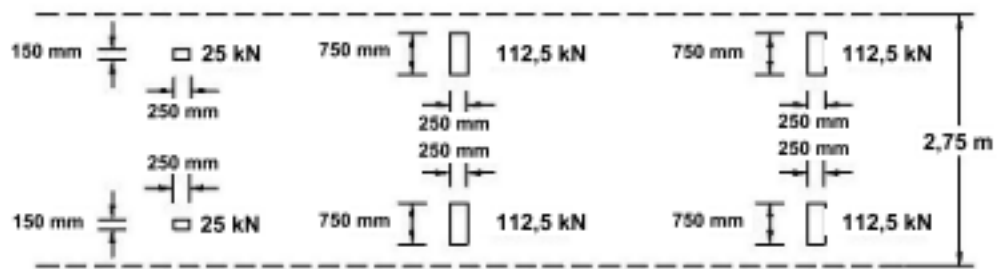
Muatan Muatan truk "T" mengacu pada truk *semi-trailer* dengan konfigurasi as dan berat yang telah ditentukan dalam (SNI 1725 : 2016). Dalam perhitungannya, berat masing-masing as dibagi secara merata menjadi dua beban yang tersebar pada bidang kontak antara roda dan permukaan lantai jembatan. Untuk memastikan perhitungan yang lebih akurat terhadap pembebanan jembatan, jarak antar sumbu truk "T" dapat bervariasi antara 4,0 m hingga 9,0 m. Variasi ini memungkinkan analisis beban yang memberikan pengaruh terbesar terhadap arah memanjang jembatan.

Tabel 2.6 Faktor Beban untuk Beban "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan batas layan	Keadaan batas <i>ultimate</i>
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016 Pasal 8.4)

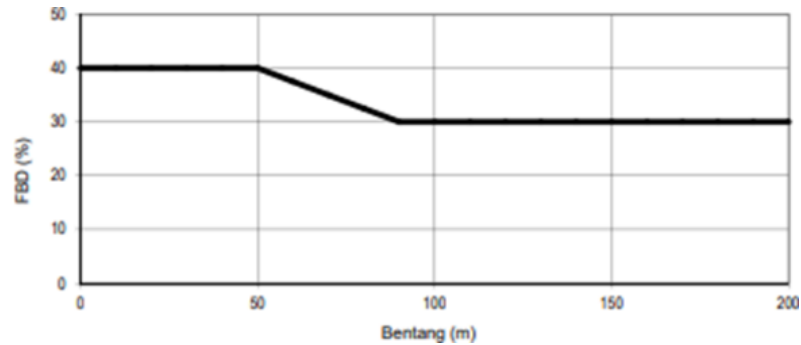




Gambar 2.5 Beban Lajur "T"

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016)

Terlepas dari panjang jembatan maupun konfigurasi batangnya, hanya satu unit truk "T" yang diperbolehkan ditempatkan di tengah lajur lalu lintas rencana. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang dapat digunakan dalam perhitungan dapat ditemukan dalam Pasal 8.4 (SNI 1725 : 2016). Namun, dalam perencanaan, jumlah lajur yang lebih sedikit dapat diterapkan apabila memberikan dampak beban yang lebih signifikan terhadap struktur jembatan. Hanya jumlah lajur lalu lintas rencana yang diperbolehkan ditempatkan di lokasi mana saja pada lajur jembatan sesuai dengan desain yang telah ditentukan. Dalam hal pembebanan truk "T", faktor distribusi beban (FBD) ditetapkan sebesar 30%. Nilai FBD yang dihitung harus digunakan untuk seluruh elemen struktur yang berada di atas permukaan tanah. Sementara itu, untuk bagian luar bangunan dan pondasi yang terletak di bawah permukaan tanah, nilai FBD harus dihitung dengan pendekatan konversi linier, di mana nilainya berkurang dari nilai di permukaan tanah hingga nol pada kedalaman 2 meter. Untuk struktur yang terkubur, seperti selokan atau pondasi baja, nilai FBD tidak boleh kurang dari 10% pada kedalaman 2 meter. Apabila kedalaman struktur berada di antara permukaan tanah dan 2 meter, nilai FBD dapat dihitung dengan metode interpolasi linier. Selain itu, nilai FBD yang diterapkan pada kedalaman tertentu harus konsisten dan digunakan untuk keseluruhan proyek guna memastikan keandalan analisis pembebanan.



Gambar 2.6 Faktor Beban Dinamis untuk Beban
(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016 Pasal 8.6)

2.3.1.5 Gaya Rem (TB)

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

1. 25% dari berat gandar truk desain atau,
2. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR.

Gaya rem harus ditempatkan di semua lajur yang dimuati dengan arah lalu lintas yang sama serta gaya rem harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah memanjang dan dipilih yang memiliki nilai paling besar.

2.3.1.6 Beban Pejalan Kaki

Berdasarkan Pasal 8.9 (SNI 1725 : 2016), seluruh bagian trotoar atau jembatan penyeberangan yang secara langsung digunakan oleh pejalan kaki harus dirancang untuk menahan beban nominal sebesar 5 kPa.

Selain itu, jembatan penyeberangan serta trotoar pada jembatan jalan raya harus mampu menahan beban berdasarkan kapasitas per meter kubik permukaan penahan beban. Permukaan penahan beban yang dimaksud adalah permukaan yang berhubungan langsung dengan elemen konstruksi yang dianalisis dalam perencanaan struktural. Dalam keadaan batas *ultimate*, beban lalu lintas dan beban pejalan kaki dapat saling tumpang tindih, sehingga perencanaan harus mempertimbangkan kondisi beban maksimum yang mungkin terjadi. Apabila permukaan jalan memungkinkan penggunaan kendaraan ringan atau lintasan hewan ternak, maka struktur jembatan harus dirancang untuk mampu menahan beban

terpusat sebesar 20 kN guna memastikan keamanan dan daya tahan jembatan terhadap berbagai jenis penggunaan.

2.3.1.7 Beban Angin (EW)

1. Tekanan Angin Horizontal Tekanan

angin pada standar ini diasumsikan terjadi akibat angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam dan diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Untuk jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana (V_{DZ}) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Dengan,

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

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

V_B = kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000mm

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

V_0 = kecepatan gesekan angin (km/jam)

Z_0 = panjang gesekan di hulu jembatan (mm)

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai priode ulang,
- Survei angin lokasi jembatan dan,
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencanaan dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Tabel 2.7 Nilai Kondisi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan terbuka	Sub urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

(Sumber: SNI 1725:2016 Standar Pembebanan untuk jembatan

a. Beban Angin Pada Struktur (EWS)

Apabila tidak adanya data yang lebih akurat, maka tekanan angin rencana MPa dapat ditetapkan menggunakan rumus berikut:

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

Dengan,

PB = tekanan angin dasar yang ditentukan dalam tabel 3.8 berikut ini,

Tabel 2.8 Tekanan Angin Dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (MPa)	Angin hisap(MPa)
Rangka, kolom dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

(Sumber: SNI 1725:2016 Standar Pembebanan untuk jembatan

Gaya total 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.

b. Gaya Angin Pada Kendaraan (EWI)

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus dirincanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan yang mana tekanan tersebut harus diasumsikan tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Namun, apabila angin tidak bekerja tegak lurus maka komponen yang bekerja tegak lurus ataupun paralel terhadap kendaraan untuk berbagai sudut dapat dilihat pada tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 2.9 Nilai V0 dan Z0 Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

Sudut Derajat	Komponen tegak lurus (N/mm)	Komponen sejajar (N/mm)

0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

(Sumber: SNI 1725:2016 Standar Pembebanan untuk jembatan)

2. Tekanan Angin

Vertikal Menurut SNI 1725:2016, jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang yang mempresentasikan gaya angin vertikal keatas 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 yagn tidak melibatkan angin kendaraan, dan hanya ditinjau untuk pembebanan dimana arah angin dianggap tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan.

2.3.1.8 Beban gempa

Jembatan harus dirancang sedemikian rupa sehingga memiliki kemungkinan kecil mengalami kegagalan total akibat gempa, meskipun masih memungkinkan terjadi kerusakan signifikan serta gangguan layanan pada kondisi gempa dengan kemungkinan terlampaui sebesar 7% dalam 75 tahun. Dalam beberapa kasus, penggantian sebagian atau keseluruhan struktur mungkin diperlukan untuk memastikan keamanan dan kelayakan jembatan pascagempa. Selain itu, pihak yang berwenang dapat menentukan tingkat kinerja yang lebih tinggi, seperti kinerja operasional, jika dibutuhkan dalam desain jembatan tertentu.

Perhitungan Beban Gempa

Beban gempa pada jembatan dihitung sebagai gaya *horizontal* yang diperoleh dari perkalian koefisien respons elastik (Csm) dengan berat total struktur ekuivalen (Wt), yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R). Rumus yang digunakan adalah:

$$Eq = \left(\frac{Csm}{R}\right) \times Wt \quad (2.5)$$

Dimana :

Eq : gaya gempa *horizontal* statis (KN)

Csm : koefisien responce gempa elastik pada moda getar ke – m

R : faktor modifikasi responce

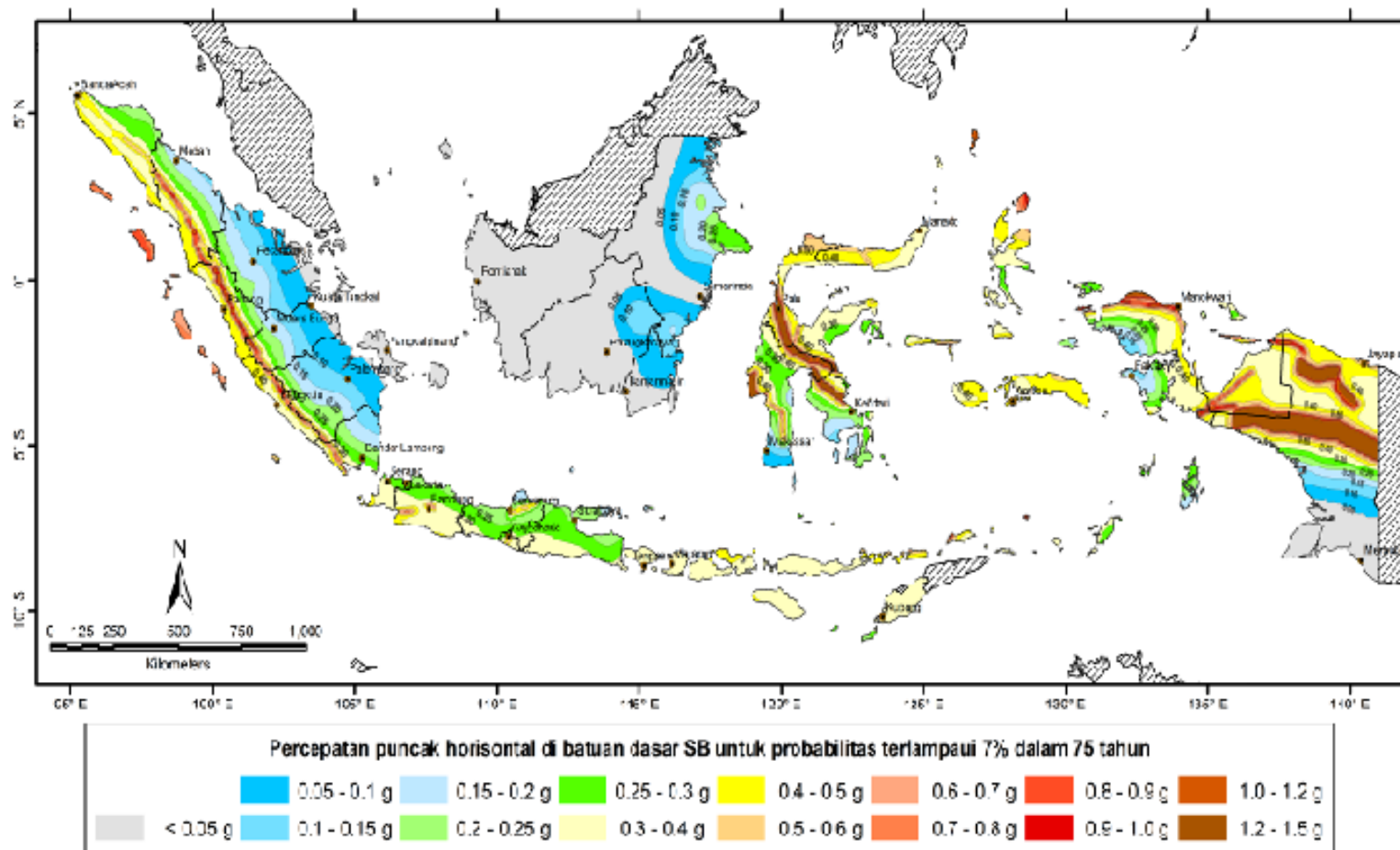
Wt : berat total struktur (kN)

Dengan pendekatan ini, perencanaan struktur jembatan dapat mempertimbangkan pengaruh gempa secara lebih akurat, sehingga struktur tetap aman dan berfungsi dengan baik sesuai dengan tingkat risiko yang telah ditetapkan.

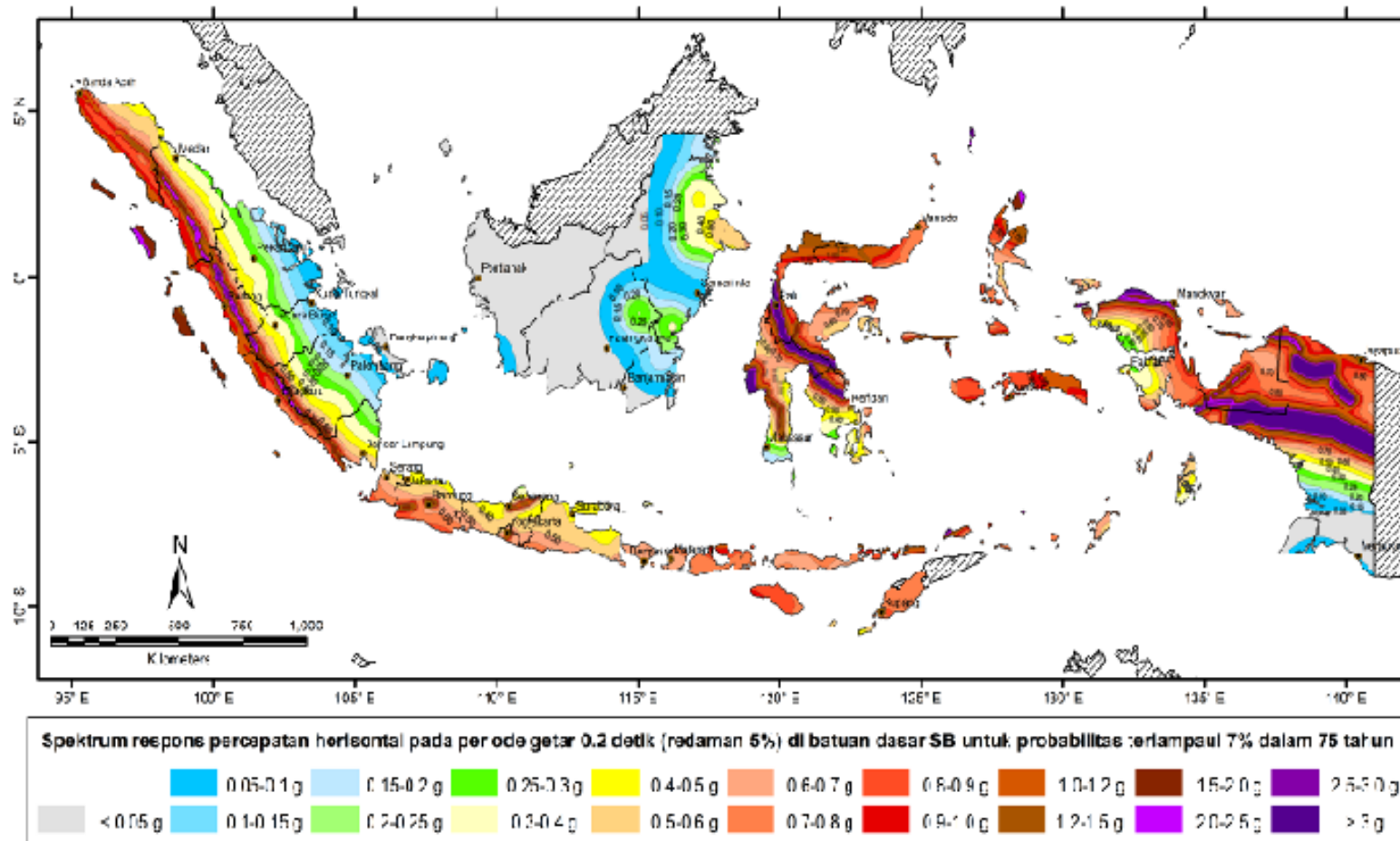
Tabel 2.10 Penjelasan Peta Gempa

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 (Ss)
3	Gambar 3		Peta respons spektra percepatan 1.0 detik di batuan dasar (S1)

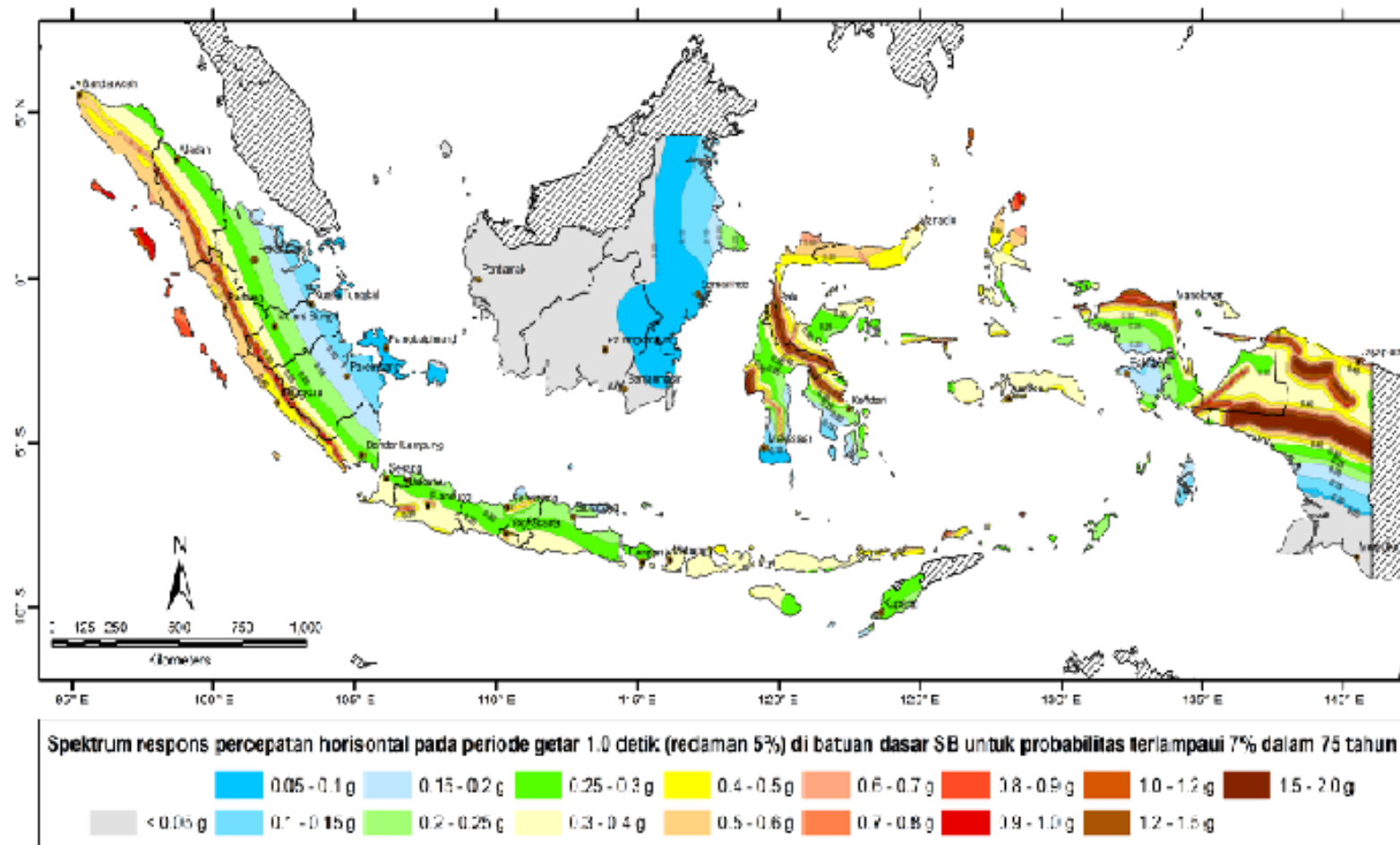
(Sumber: Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa RSNI 2833 : 2016)



Gambar 2.7 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA) untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun
(Sumber: Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa RSNI 2833 : 2016)



Gambar 2.8 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun
(Sumber: Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa RSNI 2833 : 2016)



Gambar 2.9 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun
(Sumber: Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa RSNI 2833 : 2016)

2.3.1.9 Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan (SNI 1725 : 2016) pasal 6.1, keadaan batas yang harus dipenuhi komponen dan sambungan pada jembatan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.11 Batas Harus Dipenuhi Komponen dan Sambungan pada Jembatan

Keadaan Batas	Penjelasan
Kuat I	: Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-haya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.
Kuat II	: Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.
Kuat III	: Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam
Kuat IV	: Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.
Kuat V	: Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.
Ekstrem I	: Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup γ_{EQ} yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.
Ekstrem II	: Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat

Keadaan Batas	Penjelasan
	tumbuhkan kendaraan(TC). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.
Layan I :	Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang, dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.
Layan II :	Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan
Layan III :	Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian dari jembatan beton segmental.
Layan IV :	Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.
Fatik :	Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016)

Dimana kelompok pembebanan dan symbol untuk beban adalah sebagai berikut:

1. Beban Permanen

MS = Beban mati komponen struktural dan non structural 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

2. Beban Transien

SH = Gaya akibat susut / rangkai

TB = Gaya akibat rem

TR = Gaya sentrifugal

TC = Gaya akibat tumbukan kendaraan

TV = Gaya akibat tumbukan kapal

EQ = Gaya gempa

TD = Beban lajur "D"

TT = Beban truk "T"

TP = Beban pejalan kaki

SE = Beban akibat penurunan

ET = Gaya akibat temperatur *gradient*

Eun = Gaya akibat temperatur seragam

EF = Gaya apung

EWS = Beban angin pada struktur

EWL = Beban angin pada kendaraan

EU = Beban arus dan hanyutan

Tabel 2.12 Kombinasi Pembebanan

Keadaan Batas	<i>MS</i> <i>MA</i> <i>TA</i> <i>PR</i> <i>PL</i> <i>SH</i>	<i>TT</i> <i>TD</i> <i>TB</i> <i>TR</i> <i>TP</i>	<i>EU</i>	<i>EW_s</i>	<i>EW_L</i>	<i>BF</i>	<i>EU_n</i>	<i>TG</i>	<i>ES</i>	<i>EQ</i>	<i>TC</i>	<i>TV</i>
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	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	-
Daya Layan I	1,00	0,50	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	-	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	1,00	1,00	-	γ_{TG}	γ_{ES}	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	-	1,00	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	1,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	-
			1,00			1,00	-					-

(Sumber: Standar Pembebanan untuk Jembatan SNI 1725 : 2016 Pasal 6.1)

2.3.2 Metode Perhitungan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja

2.3.2.1 Sandaran

Fungsi utama sandaran (*railing*) pada jembatan memiliki peran utama untuk menjamin keselamatan pengguna jembatan, baik bagi pejalan kaki maupun kendaraan yang melintas. Oleh karena itu, desain *railing* harus mempertimbangkan kekuatan dan stabilitas terhadap beban yang bekerja. Dalam perencanaan, tumpuan pejalan kaki harus disediakan untuk dua bidang beban pelayanan, yaitu:

$$Q_{ma \text{ railing}} = \frac{\gamma c \cdot L \cdot n}{\text{titik buhul}} \quad (2.6)$$

Dimana

γc = Berat jenis pipa (kN/m)

L = Bentang jembatan (m)

n = Jumlah pipa perbaris

2.3.2.2 Trotoar

1. Pembebanan

a. Beban mati:

Beban mati pada trotoar terdiri dari beban pelat trotoar, berat pelat jembatan, dan berat air hujan.

Momen pada beban mati:

$$M_{qD} = \frac{1}{8} \times qL \times L^2 \quad (2.7)$$

b. Beban hidup:

Beban hidup terdiri dari beban pejalan kaki dan beban *horizontal*.

c. Momen pada beban hidup:

$$ML = M_{qL} + M_{ph} \quad (2.8)$$

Dimana:

$$M_{qL} = \frac{1}{8} \times qL \times L^2 \quad (2.9)$$

$$M_{ph} = \text{tinggi pelat} \times \text{beban horizontal} \quad (2.10)$$

d. Momen terfaktor:

$$M_u = 1,6 ML + 1,2 MD \quad (2.11)$$

2. Tulangan trotoar

$$As \text{ tulangan} = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (2.12)$$

$$N \text{ tulangan} = \frac{As \text{ perlu}}{As \text{ tulangan}} \quad (2.13)$$

$$\text{Jarak tulangan} = \frac{1000}{n} \quad (2.14)$$

- Kontrol kapasitas nominal

$$\theta Mn > Mu \quad (2.15)$$

Dimana:

$$Mn = As \times Fy \left(d - \frac{1}{2} a \right) \quad (2.16)$$

2.3.2.3 Pelat Lantai Kendaraan

Pelat lantai jembatan mempunyai fungsi sebagai jalan kendaraan untuk melintasi jembatan menurut (SNI T-12-2004). Fungsi utama pelat lantai adalah mendistribusikan beban sepanjang pelat lantai jembatan hingga ke bagian bawah pelat lantai jembatan.

1. Menghitung rasio tulangan

Rasio tulangan minimal

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (2.17)$$

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.18)$$

2. Menghitung momen nominal

Momen nominal diperoleh dari rumus berikut:

$$M_n = M_u / \phi \quad (2.19)$$

3. Menghitung momen nominal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^3} \quad (2.20)$$

Keterangan:

b = Lebar pelat yang ditinjau (mm)

d = Tebal efektif struktur (mm)

4. Menghitung tahanan momen maksimum

$$R_{maks} = \rho_{maks} \times f_y \times \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times \rho_{maks} \times f_y}{0,85 \times f'_c} \right) \quad (2.21)$$

5. Kontrol $R_n > R_{maks}$
6. Menghitung rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho = 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times R_n}{f'_c}} \right) \quad (2.22)$$

7. Menentukan rasio tulangan yang digunakan

Penentuan rasio tulangan yang akan digunakan untuk perhitungan berikutnya harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Jika $\rho < \rho_{min}$, maka digunakan ρ_{min}

Jika $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$, maka digunakan ρ

Jika $\rho > \rho_{max}$, maka digunakan ρ_{max} ,

8. Menghitung luas tulangan yang diperlukan

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (2.23)$$

Luas tulangan yang telah dihitung harus memenuhi persyaratan minimum yang digunakan telah ditetapkan (SNI T-12-2004, 2004).

$$\frac{A_s}{b \times d} \times \frac{1,4}{f_y} \quad (2.24)$$

9. Menentukan jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d_t^2}{A_s} \quad (2.25)$$

Keterangan:

d_t = Diameter tulangan (mm)

Menurut Standarisasi Nasional Indonesia (2004), untuk tulangan bagi pada arah memanjang jembatan diambil 30%-67% dari luas tulangan lentur (A_s)

2.3.2.4 Gelagar Memanjang

Fungsi gelagar memanjang adalah untuk menopang beban-beban yang berada di atasnya, khususnya beban kendaraan, beban mati, dan beban hidup.

- 1) Pembebanan

- Beban mati:

$$\text{Beban pelat beton} = b1 \times \text{tebal plat} \times \text{BJ beton} \times \text{KuMB} \quad (2.26)$$

$$\text{Berat balok baja} = W \times \text{KuMBJ} \quad (2.27)$$

$$\text{Berat air hujan} = b1 \times \text{tebal genangan} \times \text{BJ air} \quad (2.28)$$

- Beban hidup:

$$\text{Beban terbagi rata (BTR)} = q \times \text{KuTD} \quad (2.29)$$

$$\text{Beban garis terpusat (BGT)} \quad (2.30)$$

$$= p \times (1 + \text{DLA}) \times b1 \times \text{KuTD}$$

$$\text{Beban Truk (T)} = qT \times (1 + \text{DLA}) \times \text{KuTT} \quad (2.31)$$

2) Analisa kapasitas profil

- Kontrol terhadap lendutan:

$$\sigma = \frac{5}{384} \times \frac{qu \times L^4}{Elx} + \frac{1}{48} + \frac{PL^3}{Elx} < \frac{1}{800} \times L \quad (2.32)$$

- Kontrol terhadap kuat momen lentur:

$$\phi Mp > Mu \quad (2.33)$$

Dimana

$$Mp = Z \times fy \quad (2.34)$$

- Akibat tekuk lateral:

$$Mp = Z \times fy \phi Mn \geq Mu \quad (2.35)$$

Dimana

$$Mp = Zx \times Fy \quad (2.36)$$

- Kontrol geser:

$$\phi Vn \geq Vu \quad (2.37)$$

Dimana

$$Vn = 0.6 \times fy \times aw \quad (2.38)$$

2.3.2.5 Gelagar Melintang

Balok melintang atau diafragma komponen berfungsi menghubungkan banyak balok gelagar utama menjadi satu kesatuan sehingga tidak terjadi pergeseran antar gelagar induk.

1) Pembebanan

- Beban mati terdiri dari:

$$\text{Berat pelat beton} = b1 \times \text{tebal pelat} \times \text{BJ beton} \times \text{KuMB} \quad (2.39)$$

$$\text{Berat balok melintang} = \text{berat balok melintang} \times \text{KuMBJ} \quad (2.40)$$

$$\text{Berat balok memanjang} = \text{berat balok memanjang} \times \text{KuMBJ} \quad (2.41)$$

$$\text{Berat steeldeck} = W \times \text{KuMBJ} \quad (2.42)$$

$$\text{Berat air hujan} = b1 \times \text{tinggi genangan} \times \text{BJ air} \quad (2.43)$$

$$\text{Berat pelat trotoar} = b1 \times \text{tebal pelat} \times \text{BJ beton} \times \text{KuMB} \quad (2.44)$$

- Beban hidup terdiri dari:

$$\text{Beban terbagi rata} = q \text{ (BRT)} = 917,74 \times \text{KuTD} \quad (2.45)$$

$$\text{Beban garis terpusat} = p \text{ (BGT)} \quad (2.46)$$

$$= p \times (1 + \text{DLA}) \times b1 \times \text{KuTD}$$

$$\text{Beban truk} = T = qT \times (1 + \text{DLA}) \times \text{KuTT} \quad (2.47)$$

2) Analisa kapasitas profil

- Kontrol kuat momen lentur:

$$\sigma = \frac{5}{384} \times \frac{qu \times L^4}{Elx} + \frac{1}{48} + \frac{PL^3}{Elx} > \frac{1}{800} \times L \quad (2.48)$$

- Kontrol kuat momen lentur:

$$\emptyset Mp > Mu \quad (2.49)$$

Dimana

$$Mp = Zx \times fy \quad (2.50)$$

- Kontrol kapasitas momen:

$$\emptyset Mn > Mu \quad (2.51)$$

Dimana

$$Mn = C \times y \quad (2.52)$$

- Kontrol terhadap geser:

$$\emptyset Vn \geq Vu \quad (2.53)$$

Dimana

$$Vn = 0,6 \times fy \times aw \quad (2.54)$$

3) Shear connector

$$Q_n \geq A_{sc} \times F_u \quad (2.55)$$

Dimana

$$Q_n = 0,5 \times A_{sc} \times (\sqrt{f'_c} \times E_c) \quad (2.56)$$

$$A_{sc} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \quad (2.57)$$

2.3.2.6 Rangka Utama

Rangka utama akan dianalisis untuk tumpuan sendi rol dan sendi untuk memperoleh hasil analisa bila elastomer dalam keadaan baik dan bila elastomer rusak. Analisis dilakukan menggunakan *software* struktur dengan kombinasi beban sebagai berikut.

Tabel 2.13 Kombinasi Beban

Jenis Kombinasi Pembebanan	Rumus Kombinasi
Kuat I	1,3 MS + 1,8 TT/TD + 1,8 TB + 1,8 TP + 1,2 EUn
Kuat II	1,3 MS + 1,4 TT/TD + 1,4 TB + 1,4 TP + 1,2 EUn
Kuat III	1,3 MS + 1,2 EUn
Kuat IV	1,3 MS + 1,2 EUn
Kuat V	1,3 MS + 1,2 EUn
Ekstrim I	1,3 MS
Ekstrim II	1,3 MS + 0,5 TT/TD + 0,5 TB + 0,5 TP
Layan I	1 MS + 1 TT/TD + 1 TB + 1 TP + 1,2 EUn
Layan II	1 MS + 1,3 TT/TD + 1,3 TB + 1,3 TP + 1,2 EUn
Layan III	1 MS + 0,8 TT/TD + 0,8 TB + 0,8 TP + 1,2 EUn
Layan IV	1 MS + 1,2 EUn

Pembebanan

- Beban mati material:

$$Pelat\ beton = \lambda \times b_1 \times t_p \times B_J\ beton \times Ku_{MB} \quad (2.58)$$

$$gelagar\ melintang = W \times b_1 \times Ku_{MBJ} \quad (2.59)$$

$$gelagar\ memanjang = W \times \lambda \times n \times Ku_{MBJ} \quad (2.60)$$

$$steeldeck = W \times \lambda \times b_1 \times Ku_{MBJ} \quad (2.61)$$

$$hujan = \lambda \times b_1 \times tebal\ genangan \times B_J\ air \quad (2.62)$$

$$pelat\ trotoar = \lambda \times t_p \times B_J\ beton \times Ku_{MB} \quad (2.63)$$

$$ikatan\ angin\ atas = \lambda \times n \times W \times Ku_{MBJ} \quad (2.64)$$

$$ikatan\ angin\ bawah = \lambda \times n \times W \times KuMBJ \quad (2.65)$$

- Beban mati sendiri:

$$DL = Dl \times KuMBJ \times (15\% \times DL) \quad (2.66)$$

- Beban hidup:

$$BTR = 917,74 \times \lambda \times b1 \times KuTD \quad (2.67)$$

$$BGT = p \times (1 + DLA) \times \lambda \times KuTD \quad (2.68)$$

$$T = qT \times (1 + DLA) \times KuTT \quad (2.69)$$

- Beban rem:

Berdasarkan (SNI 1725 :, 2016) Pasal 8.7, gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

- 25% berat gandar truk desain atau,
- 5% berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata (BTR)

- Beban pejalan kaki :

Berdasarkan (SNI 1725 :, 2016) ayat 8.9, seluruh bagian yang berputar harus dirancang untuk menopang beban pejalan kaki dengan besaran 5 kPa.

- Beban akibat suhu :

Berdasarkan pasal 9.3.1 SNI 1726:2016, deformasi akibat perubahan suhu yang seragam digunakan untuk perencanaan jembatan dengan menggunakan balok beton atau baja. Perbedaan antara suhu minimum dan maksimum serta suhu nominal yang diasumsikan dalam desain harus digunakan untuk menghitung pengaruh deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu.

Kontrol profil

- Perhitungan kapasitas aksial Tarik

Kekuatan tarik desain, ϕP_n , dari komponen struktur tarik, harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto.

Cek kelangsingan penampang

$$\frac{L}{R} < 300 \quad (2.70)$$

Dimana

L = Panjang elemen balok

1. Kuat Tarik akibat pelelehan

Kuat tarik nominal:

$$P_n = \frac{A_n \cdot f_y}{1000} \quad (2.71)$$

2. Kuat Tarik akibat keruntuhan

Luas penampang netto

$$A_g = A_n \cdot 0,85 \quad (2.72)$$

Kuat Tarik nominal:

$$P_n = \frac{A_n \cdot f_y}{1000} \quad (2.73)$$

Syarat desain yang harus dipenuhi :

$$P_u < \phi P_n \quad (2.74)$$

- Perhitungan kapasitas aksial tekan

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 1729-2020 , yakni sebagai berikut:

1. Komponen Sayap

Rasio lebar dengan tebal:

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} \quad (2.75)$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang langsing:

$$\lambda_p = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.76)$$

2. Komponen Badan

Rasio lebar dengan tebal:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (2.77)$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang kompak:

$$\lambda_p = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.78)$$

Faktor Panjang tekuk = 0,5

Rasio kelangsingan komponen struktur :

$$\frac{KL}{r} \quad (2.79)$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.80)$$

Tegangan tekuk kritis elastis:

$$f_e = \pi^2 \frac{E}{\left(\frac{KL}{R}\right)^2} \quad (2.81)$$

Tegangan kritis:

$$f_{cr} \quad (2.82)$$

Kuat tekan nominal:

$$P_n = \frac{A_g \cdot f_{cr}}{1000} \quad (2.83)$$

$$\phi P_n = P_n \cdot 0,9 \quad (2.84)$$

Syarat desain yang harus dipenuhi :

$$P_u < \phi P_n \quad (2.85)$$

- Perhitungan kapasitas lentur

Pengecekan rasio tebal-terhadap-lebar untuk komponen struktur berdasarkan SNI 1729-2020 yakni sebagai berikut:

1. Komponen Sayap

Rasio lebar dengan tebal:

$$\lambda = \frac{b_f}{t_f} \quad (2.86)$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang kompak:

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.87)$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang non-kompak:

$$\lambda_p = 1 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.88)$$

2. Komponen Badan

Rasio lebar dengan tebal:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \quad (2.89)$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*:

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.90)$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.91)$$

3. Pelelehan

Momen plastis sumbu x:

$$M_{nx} = M_p = f_x \cdot Z_x \quad (2.92)$$

Momen plastis sumbu y:

$$M_{ny} = M_p = f_y \cdot Z_y \quad (2.93)$$

4. Tekuk torsi lateral

Panjang bentang pengaku atau balok

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.94)$$

$$G = \frac{E}{(2(1-\mu))} \quad (2.95)$$

$$h_1 = t_f + r \quad (2.96)$$

$$h_2 = h_t - 2 \cdot h_1 \quad (2.97)$$

$$h = h_t - h_f \quad (2.98)$$

$$j = \sum b \cdot \frac{t^3}{3} \quad (2.99)$$

$$C_w = I_y \cdot \frac{h^2}{4} \quad (2.100)$$

$$r_{ts} = \sqrt{I_y \cdot \frac{h}{(2 \cdot S_x)}} \quad (2.101)$$

Panjang bentang minimum balok yang tahanannya ditentukan oleh momen kritis tekuk

Torsi lateral

$$L_r \quad (2.102)$$

Tegangan kritis

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi E}{\left(\frac{L_b}{R_{ts}}\right)} \sqrt{1 + 0,07 \frac{Jc}{S_x H_0} \left(\frac{L_b}{R_{ts}}\right)^2} \quad (2.103)$$

5. Syarat yang harus dipenuhi

$$L_b < L_p \quad (2.104)$$

$$L_b < L_r \quad (2.105)$$

$$M_n = C_b (M_p - 0,7 \cdot f_y \cdot S_x \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)) \quad (2.106)$$

$$\phi M_{nx} = 0,9 \cdot M_n \quad (2.107)$$

$$M_{ux} < \phi M_{nx} \quad (2.108)$$

- Perhitungan kapasitas geser

Kekuatan geser nominal V_n , dari komponen struktur WF ditentukan menggunakan SNI 1729-2020. Sesuai dengan keadaan batas dari pelelehan geser dan tekuk geser, harus ditentukan sebagai berikut:

$$C_v = 1 \quad (2.109)$$

1. Kuat geser nominal penampang

$$V_n = 0.6 \times f_y \times h \times t_w \times C_v \quad (2.110)$$

2. Kapasitas geser penampang

$$\phi V_n = 1 \cdot V_n \quad (2.111)$$

3. Syarat desain yang harus dipenuhi

$$V_u < \phi V_n \quad (2.112)$$

- Kombinasi aksial lentur

Bila kekuatan aksial perlu P_u , adalah lebih dari atau sama dengan 20% dari kekuatan aksial yang tersedia ϕP_n , Interaksi dari gaya lentur dan aksial untuk penampang WF harus ditentukan oleh Pasal H1.a sebagai berikut:

1. Cek rasio kapasitas aksial

$$P_u / \phi P_n \quad (2.113)$$

2. Kombinasi H1.b

$$\left(\frac{P_u}{\phi P_n}\right) + \left(\frac{8}{9}\right) \left(\left(\frac{M_{ux}}{\phi M_{rx}}\right) + \left(\frac{M_{uy}}{\phi M_{ry}}\right)\right) \quad (2.114)$$

3. Syarat yang harus dipenuhi

$$Rasio PMM < 1 \quad (2.115)$$

- Kontrol lendutan balok

Defleksi yang terjadi pada suatu batang akan berhubungan secara langsung dengan regangan pada batang tersebut. Apabila regangan yang terjadi pada suatu struktur akan berbanding lurus dengan tegangan struktur tersebut, sehingga analisa mengenai defleksi merupakan suatu hal yang sangat penting dalam mempertimbangkan suatu struktur karena berhubungan dengan desain struktur dan keamanan suatu struktur.

1. Batas lendutan maksimum yang diijinkan :

$$\frac{L_x}{240} \quad (2.116)$$

2. Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup:

$$\delta = \frac{5}{384} \times 384 \times Q \times \frac{L_x^4}{E_s \times I_x} \quad (2.117)$$

3. Syarat lendutan sesuai AISC 360-16

$$\delta < \frac{L_x}{240} \quad (2.118)$$

2.3.2.7 Ikatan Angin

Peraturan untuk jembatan berdinding kokoh yang menempati 100% sisi jembatan. Sedangkan untuk jembatan rangka, 30% areanya berada pada sisi lurus angin dan 15% area berada pada sisi lain jembatan. (Supriyadi & Muntohar, 2007)

Pembebanan

$$W = \frac{Wa}{n} \quad (2.119)$$

1) Kontrol profil dimensi

- Kontrol tegangan batang tekan:

$$(p \times \omega) / AL < \sigma \quad (2.120)$$

Dimana:

$$\omega = 2,381 \times \lambda c^2 \quad (2.121)$$

- Kontrol tegangan batang tekan:

$$p / Fn < \sigma \quad (2.122)$$

Dimana

$$Fn = 0,9 \times AL \quad (2.123)$$

2.3.2.8 Sambungan

Sambungan adalah suatu metode untuk menghubungkan dua bagian atau elemen struktur yang berbeda menjadi satu kesatuan struktural. Dalam konteks konstruksi, khususnya jembatan rangka baja, sambungan memiliki peran kritis dalam mentransfer gaya dan memastikan kekuatan keseluruhan struktur (SNI 1729-2020).

Berikut perhitungan dalam merencanakan sambungan baut:

3. Luas kotor penampang:

Luas kotor penampang atau luas bruto penampang (*Gross Area*) adalah luas total penampang suatu profil baja yang dihitung tanpa pengurangan untuk lubang, perlemahan, atau bukaan. Ini merupakan luas penampang asli sebelum dilakukan pemotongan atau pengeboran untuk sambungan atau tujuan lainnya. Rumus luas kotor penampang:

$$A_g = L_{bp} \times t_p \quad (2.124)$$

Dimana:

L_{bp} = Lebar badan profil

t_p = Tebal pelat

4. Luas bersih penampang:

Luas bersih penampang atau luas netto adalah luas penampang efektif setelah dikurangi dengan luas lubang atau perlemahan yang ada pada penampang tersebut. Pengurangan ini biasanya akibat adanya lubang baut, lubang *rivet*, atau bukaan lainnya pada elemen struktur. Rumus luas bersih penampang:

$$A_n = A_g - (c \times t_p) \quad (2.125)$$

Dimana:

A_n = Luas bersih penampang

A_g = Luas Kotor Penampang

c = Jarak tepi

t_p = Tebal pelat

5. Kekuatan pelat

Kekuatan pelat dalam konstruksi baja merujuk pada kemampuan elemen pelat untuk menahan berbagai jenis beban dan gaya yang bekerja padanya tanpa mengalami kegagalan. Kekuatan pelat dipengaruhi oleh material, dimensi, dan tipe pembebanan yang terjadi.

$$N_u > M_u \quad (2.126)$$

Dimana Nilai N_u di ambil terbesar antara leleh batang dengan fraktur.

6. Tahanan geser baut:

Tahanan geser baut adalah kemampuan baut untuk menahan gaya geser yang bekerja pada bidang geser baut dalam suatu sambungan. Ketika dua atau lebih elemen struktur dihubungkan dengan baut, gaya yang ditransfer antara elemen-elemen tersebut akan menyebabkan tegangan geser pada batang baut.

Rumus tahanan geser baut:

$$R_n = \phi \times m \times r_1 \times F_u \times A_b \quad (2.127)$$

Dimana

R_n = Kuat geser nominal per baut

ϕ = Faktor reduksi untuk kekuatan sambungan

m = Jumlah bidang geser

r_1 = Jari-jari lubang baut terhadap pusat geser sambungan

F_u = Kuat Tarik baut

A_b = Luas penampang baut

7. Tahanan tumpu baut:

Tahanan tumpu baut (*bolt bearing resistance*) adalah kemampuan material di sekitar lubang baut untuk menahan gaya tekan yang disalurkan oleh baut. Ini adalah salah satu mode kegagalan yang perlu dipertimbangkan dalam desain sambungan baut.

$$R_n = \phi \times 2,4 \times d \times t_p \times F_u \quad (2.128)$$

Dimana:

R_n = Tahanan tumpu nominal

d = Diameter baut

t_p = Tebal pelat/Tebal material yang dibebani

F_u = Kekuatan tarik *ultimate* material

8. Jumlah baut pakai:

Perhitungan jumlah baut yang diperlukan dalam suatu sambungan struktur baja didasarkan pada berbagai pertimbangan kapasitas tahanan dan gaya yang bekerja. Berikut ini adalah teori dan rumus untuk menentukan jumlah baut:

$$n = \frac{Mu}{Rn} \quad (2.129)$$

Dimana:

n = Jumlah baut yang diperlukan

Mu = Momen *ultimate*

Rn = Tahanan tumpu nominal

9. Tahanan tarik baut:

Tahanan tarik baut adalah kemampuan baut untuk menahan gaya tarik aksial yang bekerja pada sambungan. Berikut adalah teori dan rumus tahanan tarik baut:

$$Rn \times n > Mu \quad (2.130)$$

Dimana

$$Rn = 0,75 \times Fu \times Ab \quad (2.131)$$

Dimana:

Rn = Tahanan tarik nominal baut

n = Jumlah baut yang diperlukan

Mu = Momen *ultimate*

Fu = Kekuatan tarik *ultimate* material

Ab = Luas penampang baut

10. Keruntuhan geser balok

Keruntuhan geser pada balok terjadi ketika tegangan geser pada badan (web) balok melebihi kapasitas geser materialnya. Mode kegagalan ini umumnya terjadi pada balok pendek dengan beban terpusat besar atau balok dengan badan yang relatif tipis. Berikut rumus keruntuhan geser balok:

$$Nn > Mu \quad (2.132)$$

Dimana

$$Nn = \phi \times Rn + (Fy \times Agt) \quad (2.133)$$

Dimana:

Nn = Nominal *tensile strength*

Rn = Kekuatan nominal

Fy = Tegangan leleh baja

Agt = *Area gross tension*