

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Jembatan

Jembatan adalah sebuah struktur yang secara sengaja dibangun untuk menyeberangi jurang atau rintangan seperti sungai, lembah, rel kereta api atau jaringan jalan lain (Sebastian & Supartono, 2019). Jembatan dibangun agar pengguna jembatan dapat melintasi halangan-halangan tersebut. Seiring berkembangnya teknologi konstruksi, model jembatan ikut mengalami perkembangan tersebut hingga saat ini terdapat model jembatan berbeda-beda baik dari segi struktur, kekuatan hingga biaya pembangunan jembatan tersebut. Komponen utama dari jembatan merupakan suatu kesatuan dari struktur timbunan jalan pendekat jembatan, bangunan bawah jembatan dan bangunan atas jembatan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1993).

2.2 Jenis – Jenis Jembatan

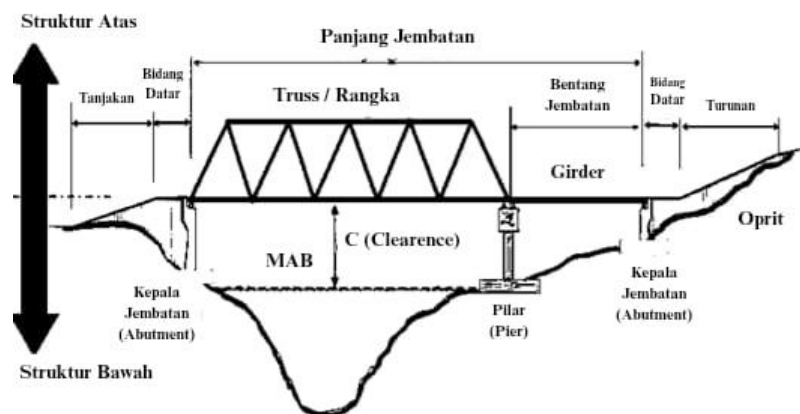
Jembatan telah mengalami perkembangan yang pesat berdasarkan kemajuan teknologi baik secara fungsi, lokasi, tipe struktur dan bahan konstruksi mulai dari yang sederhana hingga pada konstruksi yang mutakhir. Berikut beberapa uraian mengenai perkembangan bentuk struktur jembatan:

1. Menurut Manu (1995), jembatan berdasarkan kegunaannya dapat dibedakan sebagai berikut:
 - a. Jembatan jalan raya (*highway bridge*).
 - b. Jembatan kereta api (*railway bridge*).
 - c. Jembatan jalan air (*waterway bridge*).
 - d. Jembatan jalan pipa (*pipeway bridge*).
 - e. Jembatan militer (*military bridge*).
 - f. Jembatan pejalan kaki atau penyebrangan (*pedestrian bridge*).
2. Berdasarkan bahan konstruksinya, jembatan dapat dibedakan menjadi beberapa macam diantaranya:
 - a. Jembatan kayu (*log bridge*).
 - b. Jembatan beton (*concrete bridge*).
 - c. Jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*).

- d. Jembatan baja (*steel bridge*).
 - e. Jembatan komposit (*composite bridge*).
3. Menurut Supriyadi & Muntohar (2007), jembatan berdasarkan tipe strukturnya dapat dibedakan menjadi beberapa macam:
- a. Jembatan pelat (*slab bridge*).
 - b. Jembatan pelat berongga (*voided slab bridge*).
 - c. Jembatan gelagar (*girder bridge*).
 - d. Jembatan rangka (*truss bridge*).
 - e. Jembatan pelengkung (*arch bridge*).
 - f. Jembatan gantung (*suspension bridge*).
 - g. Jembatan kabel (*cable stayed bridge*).
 - h. Jembatan cantilever (*cantilever bridge*).

2.3 Bagian – Bagian Jembatan

Secara umum, jembatan dibagi menjadi 2 (dua) bagian yaitu struktur bangunan atas dan struktur bangunan bawah (Anissa, 2020). Adapun bangunan pelengkap dan pengaman sebagai penunjang keamanan dan kenyamanan pengguna jembatan. Secara visual, bagian – bagian jembatan dapat digambarkan seperti Gambar 2.1 berikut:



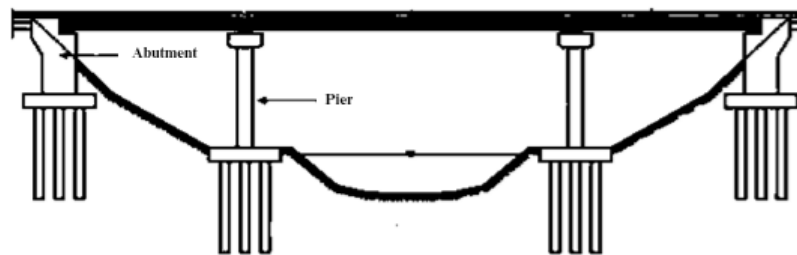
Gambar 2.1 Tipikal Struktur Jembatan Secara Umum

Sumber: (Fitrisyah, 2023)

2.3.1 Bangunan Bawah

Bangunan bawah yaitu susunan bangunan yang terletak pada bagian bawah jembatan yang berfungsi sebagai penopang bangunan jembatan atau menanggung

beban – beban yang berasal dari bangunan atas untuk disalurkan ke fondasi, selanjutnya beban – beban tersebut disalurkan ke tanah oleh fondasi (Mauliana & Saputra, 2024). Bagian – bagian ini biasanya berupa fondasi, kepala jembatan, pilar. Secara visual, bangunan bawah jembatan dapat digambarkan seperti Gambar 2.2 berikut:



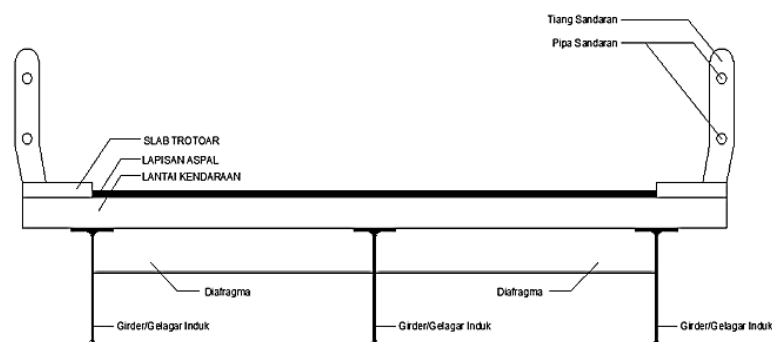
Gambar 2.2 Tampak Memanjang Bangunan Bawah Jembatan

Sumber: (Fitrisyah, 2023)

2.3.2 Bangunan Atas

Bangunan atas jembatan merupakan susunan bangunan yang terletak pada bagian atas jembatan yang berfungsi sebagai penerima beban – beban langsung yang ditimbulkan oleh kendaraan, pejalan kaki dan sebagainya (Manangi et al., 2019). Setelah diterima oleh bangunan atas, beban akan disalurkan pada bagian bawah jembatan. Bangunan atas jembatan ini terdiri dari gelagar utama, gelagar memanjang, gelagar melintang, ikatan angin dan sandaran lantai kendaraan.

Secara visual, bangunan atas jembatan dapat digambarkan seperti Gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Potongan Melintang Bangunan Atas

Sumber: (Makkasau & Tangalayuk, 2024)

2.3.3 Bangunan Pelengkap dan Pengaman

Bangunan pelengkap pada jembatan merupakan struktur yang dibangun sebagai pelengkap bangunan jembatan yang bertujuan untuk meningkatkan keamanan dan kenyamanan pengguna jembatan (Fitrisyah, 2023). Beberapa bangunan pelengkap dan pengaman jembatan meliputi:

1. Jalan pendekat (oprit)

Jalan pendekat atau oprit adalah timbunan tanah atau urugan di belakang abutment jembatan yang dibuat untuk menghindari penurunan dan mencegah terjadinya longsor. Oprit juga berfungsi sebagai transisi antara kepala jembatan dengan jalan.

2. Tiang sandaran (*railing*)

Railing atau lebih dikenal sebagai pagar atau pembatas jembatan dipasang pada sisi jembatan untuk memberikan keamanan dan perlindungan bagi pengguna jembatan. Railing ini dibangun untuk memberikan batas visual jembatan yang jelas dan mencegah jatuhnya orang atau kendaraan dari jembatan.

3. Saluran pembuangan (*drainase*)

Saluran pembuangan atau sistem drainase digunakan untuk mengelola air yang jatuh pada jembatan terutama air hujan. Saluran ini dirancang untuk mengalirkan air dari permukaan jembatan sehingga tidak adanya genangan air yang dapat mempengaruhi keamanan pengguna juga struktural jembatan.

4. Lampu jembatan

Lampu jembatan digunakan untuk memberikan penerangan pada jembatan. Lampu jembatan ini dapat membantu pengguna jembatan untuk dapat melihat visual jembatan sehingga meningkatkan keamanan lalu lintas.

5. Sambungan (*joint*)

Sambungan digunakan untuk mengompensasi pergerakan pada jembatan akibat perubahan suhu. Dengan adanya *joint* ini memungkinkan pergerakan jembatan tanpa menyebabkan kerusakan pada struktural sehingga dapat menjaga kestabilan dan integritas jembatan.

2.4 Bridge Management System (BMS)

Bridge Management System (BMS) atau dikenal juga dengan Sistem Manajemen Jembatan (SMJ) merupakan sistem yang telah dikembangkan oleh

Direktorat Jendral Bina Marga pada tahun 1992 yang memiliki peran untuk membantu pemerintah dalam pembangunan dan desentralisasi. Selain itu, BMS menjamin bahwasannya semua kegiatan penanganan jembatan dilaksanakan sesuai dengan standarnya. Hal ini menjadi sangat penting bahwa semua perencanaan umum didasarkan kepada data yang tepat dan prosedur yang seragam sehingga dalam pelaksanaan dan pemantauan pekerjaan jembatan dapat dilaksanakan dengan standar yang tinggi dan teknik pelaksanaan yang benar untuk meyakinkan umur jembatan yang maksimum (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1993).

2.4.1 Pemeriksaan Inventarisasi

Pemeriksaan inventarisasi ini meliputi pengumpulan data dasar administrasi, geometri, material dan data lainnya pada setiap jembatan termasuk lokasi, data ukuran jembatan dan jenis konstruksi jembatan yang dibangun. Pemeriksaan inventarisasi dilakukan bersamaan dengan pemeriksaan detail pada jembatan. Pemeriksaan inventarisasi jembatan biasanya dilakukan saat jembatan masih dalam keadaan baru atau sebagai pemutakhiran Data Inventaris Jembatan di pihak terkait yang menangani pengelolaan jembatan. Pemeriksaan inventarisasi jembatan harus sesuai dengan format pada Buku Pedoman Pemeriksaan Jembatan (Murtosidi et al., 2021). Format pemeriksaan inventarisasi jembatan berbentuk suatu formulir yang terdiri dari 4 Bagian yaitu:

1. Bagian ke-1 Informasi Administrasi, Informasi Pembangunan, Informasi Kapasitas Muatan dan Lalu-lintas, dan Informasi Perlintasan Jembatan.
2. Bagian ke-2 Referensi Kode Komponen dan Elemen Jembatan.
3. Bagian ke-3 Inventarisasi Komponen dan Elemen Jembatan yang terdiri dari tiga potongan.
4. Bagian ke-4 Inventarisasi Komponen dan Elemen Pelebaran Jembatan yang terdiri dari tiga potongan.

Dalam upaya memudahkan pemeriksaan, bagian – bagian jembatan dikelompokkan menjadi beberapa elemen berdasarkan bentuk, material, juga bagian – bagian pada jembatan yang diberikan suatu kode. Kode elemen jembatan menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2022) disajikan pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Kode Pemeriksaan Inventarisasi Jembatan

Tipe Lintasan		JN (Jalan)		SL (Sungai Lurus)		SM (Sungai Meander)		SB (Sungai Berjalan)		S/T (Selat atau Teluk)		KA (Kereta Api)		L (Lain – lain)		
A. TBA (Tipe Bangunan Atas)			B. BHN (Bahan)			C1. SBA (Sifat Bangunan Atas)			C2. Keterangan Detail			D. TF (Tipe Fondasi)		E.KJP (Kepala Jembatan/Pilar)		
B	Gorong – gorong persegi	K	Kayu	P	Permanen	A	Australia	CA	Cakar ayam	Kepala Jembatan						
Y	Gorong – gorong pipa	S	Pasangan bata	S	Semi Permanen	T	Australia (Sementara)	LS	Langsung	A	Cap (Kepala tiang)					
A	Gorong – gorong pelengkung	M	Pasangan batu	W	Darurat	B	Belanda (tipe baru)	TP	Tiang pancang	B	Dinding penuh					
T	Gantung	G	Berongjong dan sejenisnya	X	Tidak ada struktur	D	Belanda (tipe lama)	PB	Tiang bor	K	Kepala jembatan khusus					
C	Jembatan Gantungan/Beruji Kabel (<i>Cable Stayed</i>)	H	Pasangan batu kosong	M	Bergerak	I	Indonesia	TU	Tiang bor	Pilar						
G	Gelagar	D	Beton tak bertulang	F	Apung	J	Jepang	SU	Sumuran							
M	Gelagar komposit	T	Beton bertulang			R	Austria	LL	Lain-lain	C	Cap (Kepala tiang)					
O	Gelagar boks	P	Beton pratekan			E	Spanyol	Pilon		P	Dinding penuh					
Q	Gelagar tipe U	B	Baja			U	<i>Callender Hamilton</i> (UK/Inggris)			A	Tipe A	S	Satu kolom			
L	Balok Pelengkung	U	Pelat baja gelombang			W	<i>Acrow/Bailey</i>	D	Tipe Diamond	T	Dua kolom					
E	Pelengkung	J	Aluminium					H	Tipe H	L	Tiga atau lebih kolom					
D	<i>Flat Slab</i>	E	Neoprena/karet					I	Tipe Tunggal/I	V	Lain-lain					
V	<i>Voided Slab</i>	F	Teflon					Y	Tipe Y	W	Tipe V					
R	Rangka	V	PVC					V	Tipe V terbuka	Tiang Sandaran						
P	Pelat	N	<i>Geotextile</i>					W	Tipe <i>Double I</i>	TB	Tiang beton sandaran baja					
F	Ferry	O	Tanah biasa/lempung atau timbunan							BB	Tiang baja sandaran baja					
K	Lintasan kereta api									DB	dinding bagian bawah + Sandaran baja					
W	Lintasan basah	A	Aspal							DD	Sandaran/median beton bertulang					
U	Lain - lain	R	Kerikil/pasir							KK	Tiang kayu sandaran kayu					
		W	Makadam													
		X	Bahan Asli													
		L	Lain - lain													

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

2.4.2 Pemeriksaan Detail

Pemeriksaan detail dilakukan untuk menilai secara akurat dari struktural jembatan sehingga penilaian dapat dilaporkan dan dilakukan tindakan yang diperlukan. Pemeriksaan ini dilakukan untuk mencatat seluruh elemen seperti identifikasi elemen jembatan, tingkat kondisi elemen dan pola kerusakan elemen (Murtosidi et al., 2021).

Pemeriksaan ini umumnya dilakukan minimal sekali dalam 5 (lima) tahun atau beberapa kondisi yang mengharuskan adanya pemeriksaaan detail seperti :

1. Jembatan dengan nilai kondisi 3 atau terdapat kerusakan yang serius berdasarkan hasil pemeriksaan detail paling lama dua tahun lalu.
2. Jembatan yang belum pernah dilakukan pemeriksaan detail sejak empat tahun yang lalu.
3. Pemeriksaan yang dilakukan bersamaan dengan pemeriksaan inventarisasi.
4. Jembatan yang membutuhkan perbaikan nilai kondisi berdasarkan hasil evaluasi dari pemeriksaan rutin.

Dalam pelaksanaan pemeriksaan detail pada suatu struktur jembatan harus memperhatikan hal – hal berikut:

1. Umum

Pemeriksaan detail jembatan dilakukan dengan membagi struktur jembatan menjadi 4 (empat) level, hal ini tertuang dalam Direktorat Jenderal Bina Marga (2022) yang merupakan hierarki elemen. Level tertinggi adalah level 1, yaitu jembatan secara satu kesatuan, dan level terendah adalah level 4, yaitu elemen atau bagian – bagian jembatan.

2. Hierarki dan Kode Elemen

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2022), bagian – bagian jembatan didefinisikan terbagi menjadi 4 (empat) level hierarki elemen. Pada masing-masing level terdiri dari komponen dan elemen yang diberikan suatu kode.

Level tertinggi dalam pemeriksaan adalah Level 1 yaitu jembatan dan lintasan basah, yang saat ini didefinisikan menjadi:

- a. 1.000 - Jembatan;
- b. 1.900 - Lintasan Basah.

Level 1 dibagi menjadi komponen jembatan dalam hierarki Level 2 berupa :

- a. 2.100 - Jalan Pendekat/Tanah Timbunan
- b. 2.200 - Aliran Sungai
- c. 2.300 - Bangunan Bawah
- d. 2.400 - Bangunan Atas
- e. 2.700 – Perlengkapan
- f. 2.800 - Gorong-gorong
- g. 2.900 – Struktur Lintasan Basah

Level 2 dibagi menjadi elemen utama dalam hirarki Level 3. Misalnya komponen jembatan dengan kode elemen 2.300 dibagi menjadi:

- a. 3.310 – Fondasi
- b. 3.320 - Kepala jembatan/pilar

Selanjutnya Level 3 tersebut kemudian dibagi menjadi elemen dalam hirarki Level 4 jembatan, yang merupakan kumpulan elemen-elemen individual atau dinamakan klaster elemen dan elemen individual itu sendiri. Misalnya kode elemen 3.310 dibagi menjadi 7 klaster utama dan beberapa elemen individual seperti:

- a. Klaster elemen 4.311 - Sistem Struktur Fondasi dengan 4 elemen individual yaitu:
 - 1) 4.311 a - Tiang pancang
 - 2) 4.311 b - Tiang bor
 - 3) 4.311 c - Tiang ulir
 - 4) 4.311 d - Tiang sekan
- b. Klaster elemen 4.312 - Fondasi sumuran dengan 2 elemen individual yaitu:
 - 1) 4.312 a - Fondasi sumuran
 - 2) 4.312 b – Caisson
- c. 4.313 - Fondasi langsung
- d. 4.314 - Fondasi balok pelengkung
- e. 4.315 - Sambungan Fondasi dan Lainnya
- f. Klaster elemen 4.316 Perkuatan Fondasi dengan 2 elemen individual yaitu:
 - 1) 4.316 a - Perkuatan Jacketing
 - 2) 4.316 b - Penambahan fondasi baru

g. Klaster elemen 4.317 Struktur Jembatan Apung dengan 3 elemen individual yaitu:

- 1) 4.317 a - Ponton jembatan apung
- 2) 4.317 b - Penambat ponton (*mooring*)
- 3) 4.317 c - Pengaman kebocoran ponton

Kemudian untuk penilaian dilakukan di tingkat elemen Level 4 sesuai dengan kerusakan – kerusakan yang terjadi pada level tersebut.

3. Kode Kerusakan

Kerusakan – kerusakan yang terjadi pada suatu elemen atau material diberikan suatu kode kerusakan. Kode kerusakan dibuat untuk memudahkan dalam melakukan pemeriksaan dan pendataan, kerusakan – kerusakan diberi kode kerusakan dengan 3 (tiga) angka. Secara umum, kerusakan yang terjadi berkaitan dengan elemen atau material. Berikut beberapa kode kerusakan yang berkaitan dengan material:

Penurunan mutu bata atau batu atau keretakan	(kode 101)
Kerontokan pada beton	(kode 201)
Pengaratn pada baja	(kode 302)
Pembusukan pada kayu	(kode 401)

Kode kerusakan yang berkaitan dengan elemen jembatan diantaranya:

Pendangkalan sungai akibat endapan	(kode 501)
Pengikisan di sekitar jembatan (<i>local scour</i>)	(kode 521)
Kedudukan landasan perletakan yang tidak sempurna	(kode 602)
Pipa cucuran atau drainase yang tersumbat	(kode 711)
Permukaan trotoar yang licin	(kode 731)
Kerusakan sambungan rantai yang tidak sama tinggi	(kode 801)
Tulisan tidak jelas pada penanda jembatan	(kode 911)

Untuk lebih lanjut, kode kerusakan beserta keterangannya disajikan dalam Tabel 2.2 sampai Tabel 2.22 berikut:

Tabel 2.2 Kerusakan pada Elemen Batu Bata

Kerusakan pada Elemen Batu Bata			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
101	Penurunan mutu batu bata atau batu	Aus karena umur	Berbahaya	Batu bata	Parah	Hitung/Ukur luas elemen pasangan batu bata / pasangan batu yang mengalami penurunan mutu	Hitung/ukur luas permukaan total elemen pasangan batu / bata sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
		Benturan		Adukan sedalam ≤ 20 mm	Tidak parah			
		Terkikis						
		Mutu yang jelek		Sedalam > 20 mm	Parah			
	Keretakan	Pondasi runtuh	Berbahaya	Adukan selebar ≤ 5 mm	Tidak parah	Hitung/Ukur luas elemen pasangan batu bata / pasangan batu yang		
		Bergerak						
		Beban berlebihan		Selebar > 5 mm	Parah			
		Tumbuhan liar						

Kerusakan pada Elemen Batu Bata			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
						mengalami keretakan		
102	Dinding pasangan yang menggebung	Fondasi runtuh	Berbahaya	Pergerakan ke arah luar dari permukaan > 40 mm		Hitung/Ukur luas elemen fondasi pasangan batu bata/pasangan		
		Beban berlebihan		Panjang ≤ 750 m	Tidak parah	batu yang permukaannya		
				Panjang > 750 m	Parah	menggebung akibat adanya fondasi yang runtuh atau beban yang berlebihan.		

Kerusakan pada Elemen Batu Bata			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
103	Bagian yang pecah atau hilang	Apa saja	Berbahaya	Elemen struktural	Parah	Hitung/Ukur luas		m ² atau m ³
				Elemen non-struktural	Tidak parah	elemen pasangan batu bata/pasangan batu yang pecah atau bagian yang hilang dan mencatat kedalamannya kerusakannya		

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.3 Kerusakan pada Elemen Beton

Kerusakan pada Elemen Beton (Termasuk Tulangan)			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
201	Kerontokan beton	Karbonasi benturan	Tidak berbahaya	Tulangan tidak terlihat	Tidak parah	Hitung/ukur luas permukaan/ Volume beton yang mengalami kerontokan/keropos, beton yang berbunyi jika dipukul dan yang mempunyai kualitas beton yang rendah atau tidak sesuai peruntukannya (kerusakan 201)	Hitung luas permukaan/ volume elemen beton sesuai dengan level pemeriksaan	m ² atau m ³
	Beton Keropos	Tidak cukupnya selimut beton	Berbahaya	Tulangan terlihat	Parah			
	Beton yang berongga/berbunyi	Beton berlebihan	Berbahaya	Terlihat adanya rembesan	Parah			
		Pengerjaan yang buruk	Tidak berbahaya					
202	Retak (elemen	Gaya pratekan pengembangan volume serangan kimiawi	Berbahaya	Lebar	Tidak	Hitung panjang	Hitung	m atau

Kerusakan pada Elemen Beton (Termasuk Tulangan)			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
	beton)	atau kapasitas tidak mencukupinya		< 0,2 mm	parah	retakan pada elemen beton	ketinggian / lebar elemen beton sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
				Lebar > 0,2 mm	Parah			
				Terlihat adanya rembesan/bocor				
		Gaya pratekan	Berbahaya					
		Retak pada sambungan antar segmen gelagar atau diafragma ke gelagar	Berbahaya					
		Karbonasi	Berbahaya	Terlihat adanya rembesan/bocor	Parah	Hitung/ukur luas permukaan beton yang mengalami	Hitung luas permukaan elemen beton	
Benturan	Berbahaya							

Kerusakan pada Elemen Beton (Termasuk Tulangan)			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
		Kegagalan fondasi gaya pratekan				retak.	sesuai dengan level pemeriksaan	
		Susut	Tidak berbahaya	Lebar < 0,4 mm	Tidak parah			
		Tumbuhan (yang menyebabkan retak bertambah lebar)	Berbahaya	Lebar $\geq 0,4$ mm	Parah			
203	Karat baja tulangan	Apa saja	Berbahaya	$\leq 10\%$ dari diameter tulangan	Tidak parah	Hitung panjang tulangan yang terkorosi	Hitung panjang total tulangan sesuai dengan level pemeriksaan	

Kerusakan pada Elemen Beton (Termasuk Tulangan)			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
				> 10% dari diameter tulangan	Parah	Hitung/ukur luas permukaan baja tulangan yang terlihat adanya karat (kerusakan 203)	Hitung/ukur luas permukaan tulangan total sesuai dengan level pemeriksaan	
204	Kotor, berlumut, Penuaan atau pelapukan beton, rembesan	Abrasi	Berbahaya	≤ selimut beton	Tidak parah	Hitung/ukur luas elemen yang mengalami kerusakan 204	Hitung/ukur luas permukaan beton total elemen sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
		Penuaan						
		Serangan kimiawi		> selimut beton	Parah			
		Benturan						
		Pengerjaan yang buruk						

Kerusakan pada Elemen Beton (Termasuk Tulangan)			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
		Pengembangan volume						
205	Pecah atau hilangnya bahan (delaminasi, abrasi, aus)	Apa saja	Berbahaya	Elemen struktural	Parah	Hitung/ukur luas elemen beton yang pecah atau bagian yang hilang	Hitung/ukur luas permukaan beton total elemen sesuai dengan level pemeriksaan	m ² atau m ³
				Elemen non-struktural	Tidak parah	Hitung volume elemen kerusakan pada beton	Hitung volume elemen beton sesuai dengan level pemeriksaan	

Kerusakan pada Elemen Beton (Termasuk Tulangan)			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
206	Lendutan	Tertabrak	Berbahaya	<u>Lantai</u>	Tidak parah	Hitung/ukur luas elemen yang mengalami lendutan	Hitung/ukur luas lantai total sesuai dengan level pemeriksaan	m ² atau m ³
		Pondasi runtuh		≤ 1 : 600				
				> 1 : 600	Parah			
		Beban berlebihan						
				<u>Elemen lain</u>	Tidak parah	Hitung volume elemen yang mengalami lendutan	Hitung volume total elemen sesuai dengan level pemeriksaan	
				≤ 20 mm				
		> 20 mm	Parah					

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.4 Kerusakan pada Elemen Baja

Kerusakan pada Elemen Baja			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
301	Penurunan mutu dan atau kinerja proteksi korosi	Penuaan	Berbahaya	Pemukaan dasar baja belum terlihat	Tidak parah	Hitung/ukur luas kerusakan pada permukaan baja.	Hitung/ukur luas permukaan total elemen baja sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
		Retak	Tidak berbahaya	Sebaliknya	Parah			
		Lembab (akibat korosi)	Berbahaya					
		Tindakan kekerasan	Tidak Berbahaya					
		Pemakaian / terkikis	Berbahaya					
302	Karat	Apa saja	Berbahaya	Belum terbentuk titik- titik karat, lapisan	Tidak parah	Hitung/ukur luas permukaan baja yang karat	Hitung/ukur luas permukaan total elemen baja	m ²

Kerusakan pada Elemen Baja			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
				galvanis/cat mulai menipis dan adanya karat tipis atau $\leq 10\%$ dari dimensi penampang			sesuai dengan level pemeriksaan	
				Lapisan galvanis/cat sudah mulai rusak walau belum pada seluruh permukaan dan sudah mulai terjadi karat pada daerah	Parah	Hitung luas korosi terhadap penampang profil	Hitung luas penampang profil sesuai dengan level pemeriksaan	

Kerusakan pada Elemen Baja			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
				ujung, goresan dan baut atau > 10% dari dimensi penampang				
303	Perubahan bentuk pada komponen	Benturan pondasi runtuh Panas Beban Berlebihan	Berbahaya	Elemen struktural (tegak lurus arah memanjang) < 20 mm	Tidak parah	Hitung/ukur tinggi/lebar permukaan baja yang mengalami perubahan bentuk (tegak lurus terhadap sumbu memanjang elemen)	Hitung/ukur tinggi (dimensi) elemen sesuai dengan level pemeriksaan	m
				> 20 mm	Parah			
				Non-elemen struktural	Tidak parah			
304	Retak	Apa saja	Berbahaya	Dimana saja	Parah	Hitung/ukur panjang permukaan	Hitung/ukur dimensi total	m

Kerusakan pada Elemen Baja			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
						baja yang mengalami retak	panjang elemen sesuai dengan level pemeriksaan	
305	Komponen yang rusak atau hilang	Apa saja	Berbahaya	Elemen struktural	Parah	Hitung jumlah komponen yang hilang sesuai dengan elemennya	Hitung total komponen sesuai dengan level pemeriksaan	m
				Elemen non-struktural	Tidak parah			
306	Elemen yang salah (pemasangan)	Apa saja	Berbahaya	Dimensi lebih kecil	Parah	Hitung jumlah elemen yang salah pemasangannya	Hitung total elemen sesuai dengan level pemeriksaan	m
				Sebaliknya	Tidak parah			
307	Kabel jembatan yang aus	Apa saja	Berbahaya	< 5% dari <i>strand</i>	Tidak parah	Hitung panjang kabel jembatan yang rusak	Hitung panjang total elemen kabel sesuai dengan level pemeriksaan	m
				> 5% dari <i>strand</i>	Parah			

Kerusakan pada Elemen Baja			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
308	Sambungan yang longgar	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah baut yang longgar dalam satu titik buhul	Hitung jumlah total baut dalam satu titik buhul sesuai dengan level pemeriksaan	Jumlah yang harus diperbaiki

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.5 Kerusakan pada Elemen Kayu

Kerusakan pada Elemen Kayu			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
401	Lapuk	Lembab	Berbahaya	> 15% dari potongan	Parah	Hitung panjang / kedalaman kayu yang membusuk /	Hitung panjang/ diameter potongan melintang kayu	m

Kerusakan pada Elemen Kayu			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
	Serangga – serangga	Banyak dirubung oleh serangga		$\leq 15\%$ dari potongan	Tidak parah	serangan–serangga terhadap potongan melintang	sesuai dengan level pemeriksaan	
	Pecahnya/ belahnya kayu	Penuaan	Berbahaya	Retak <10 mm lebarnya dan/atau < 1 m panjangnya	Tidak parah	Hitung panjang, retak kayu yang pecah terhadap diameter kayu potongan melintang atau panjang retak	Hitung panjang/ diameter potongan melintang kayu atau panjang total elemen kayu sesuai dengan level pemeriksaan	m
		Kering	Tidak berbahaya	Sebaliknya	Parah			
	Melengkung	Bahan yang tidak sempurna Bahan berlebih (untuk batang	Berbahaya	Deviasi ≤ 50 mm sepanjang 3 m	Tidak parah	Hitung jumlah elemen kayu yang Mengalami lengkungan (deviasi)	Hitung total elemen kayu sesuai dengan level pemeriksaan	buah

Kerusakan pada Elemen Kayu			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
		tekan) Bahan tidak sempurna		Deviasi > 50 mm sepanjang 3 m	Parah			
	Serat yang miring dan mata kayu	Bahan tidak sempurna	Berbahaya	Ukuran mata kayu $\leq 15\%$ penampang	Tidak parah	Hitung jumlah elemen kayu yang mempunyai serat miring yang tidak sesuai dengan persyaratan	Hitung total elemen kayu sesuai dengan level pemeriksaan	buah
				Ukuran mata kayu > 15% penampang	Parah			
		Bahan berlebihan (untuk batang tarik)	Berbahaya	Miring urat kayu $\leq 1/16$	Tidak parah			
				Miring urat kayu > 1/16	Parah			

Kerusakan pada Elemen Kayu			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
402	Komponen yang rusak / hilang (termasuk retak, delaminasi)	Apa saja	Berbahaya	Elemen struktural	Parah	Hitung jumlah elemen kayu yang hancur atau hilang	Hitung jumlah total elemen yang hilang atau hancur sesuai dengan level pemeriksaan	buah
				Sebaliknya	Tidak parah			
403	Penyusutan	Kualitas jelek	Tidak berbahaya	Lendutan ≤ 50 mm pada struktur rangka	Tidak parah	Hitung jumlah elemen kayu yang mengalami penyusutan	Hitung total elemen kayu sesuai dengan level pemeriksaan	buah
				Lendutan > 50 mm pada struktur rangka	Parah			
				Pada struktur lain	Tidak Parah			

Kerusakan pada Elemen Kayu			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
404	Penurunan mutu pelindung permukaan	Umur tindakan kekerasan tidak nyata	Berbahaya	Tidak terlihatnya lapis pelindung pada permukaan kayu dan/atau elemen struktur	Parah	Hitung luas elemen kayu yang mengalami catnya mulai rusak	Hitung total luas elemen kayu sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
				Elemen lain	Tidak parah			
405	Sambungan yang longgar	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah baut yang longgar dalam satu titik buhul	Hitung jumlah total baut dalam satu titik buhul sesuai dengan level pemeriksaan	buah

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.6 Kerusakan pada Elemen Aliran Sungai

Kerusakan pada Elemen 3.210 – Aliran Sungai			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
501	Pendangkalan sungai akibat endapan* (agradasi)	Arus aliran sungai	Berbahaya	Mengurangi $\leq 20\%$ aliran sungai	Tidak parah	Hitung/perkiraan luas penampang endapan yang ada pada aliran sungai	Hitung luas penampang aliran sungai pada area yang berpengaruh terhadap jembatan	m ²
				Mengurangi $> 20\%$ aliran sungai	Parah			
502	Penumpukan debris dan hambatan aliran sungai**	Tumpukan sampah	Berbahaya	Mengurangi $\leq 20\%$ aliran sungai dan/atau $< 20\%$ tinggi pilar	Tidak parah	Hitung/perkiraan luas daerah yang terkena debris dan luas daerah hambatan aliran sungai	Hitung luas dasar aliran sungai pada area yang berpengaruh terhadap jembatan	m ³
				Sebaliknya	Parah			
503	Pengikisan di sepanjang aliran sungai (contraction	Arus aliran sungai	Berbahaya	$\leq$ ketinggian fondasi atau 6x diameter tiang pancang	Tidak parah	Ukur kedalaman penurunan dasar sungai	Hitung kedalaman fondasi sesuai dengan level pemeriksaan	m

Kerusakan pada Elemen 3.210 – Aliran Sungai			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
	<i>scour</i>)			Sebaliknya	Parah			
504	Air sungai macet yang mengakibatkan terjadinya banjir (<i>excess afflux</i>)	Hujan	Berbahaya	Jarak muka air banjir terhadap bangunan atas > 250 mm	Tidak parah	Hitung/perkiraan luas penampang daerah aliran sungai yang tergenangi pada saat banjir	Hitung/perkiraan luas total penampang daerah aliran sungai sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
		Kurang panjangnya bukaan jembatan		≤ 250 mm	Parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Keterangan:

*) : endapan yang dimaksud selain lumpur juga dapat berupa material sungai berupa batu, agregat kasar, agregat halus, dan lain-lain;

**) : debris dan hambatan yang dimaksud benda yang menghambat aliran sungai berupa: sampah, kayu hanyutan, sisa bangunan lama dan lain-lain.

Tabel 2.7 Kerusakan pada Elemen Bangunan Pengaman, Timbunan dan Pondasi

Kerusakan pada Elemen 3.220 – Bangunan Pengaman 3.230 – Timbunan 3.310 – Fondasi			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
511	Bagian yang hilang atau tidak ada	Apa saja	Berbahaya	< 10%	Tidak parah	Hitung volume bagian elemen yang hilang	Hitung volume total bangunan sesuai dengan level pemeriksaan	m ³
				> 10%	Parah			
521	Pengikisan di sekitar jembatan (<i>local scour</i>)	Arus aliran sungai	Berbahaya	Rongga (<i>undermining</i>)	Parah	Hitung jumlah volume elemen yang terkikis	Hitung volume total bangunan sesuai dengan level pemeriksaan	m ³
				Sebaliknya	Tidak Parah			
522	Retak	Apa saja	Tidak berbahaya	Apa saja	Tidak parah	Hitung luas bangunan yang retak, mengalami penurunan atau	Hitung volume total bangunan sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
	Penurunan		Berbahaya	Permukaan lebih rendah dari pada	Parah			

Kerusakan pada Elemen 3.220 – Bangunan Pengaman 3.230 – Timbunan 3.310 – Fondasi			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran	
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen		
				ketinggian fondasi atau 6x dimensi tiang pancang		penggembungan		Perlu pemeriksaan khusus	
				Sebaliknya	Tidak parah				
	Penggembungan		Berbahaya	≤ 300 mm	Tidak parah				
				> 300 mm	Parah				

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.8 Kerusakan pada Elemen Tanah Bertulang

Kerusakan pada Elemen 4.235 – Tanah Bertulang			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
531	Penggembungan dinding panel	Lepasnya angkur penahan	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung luas panel yang menggembung	Hitung luas panel total sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
532	Retak, rontok, atau pecah dari panel tanah bertulang	Angkur lepas	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung luas panel yang retak, pecah	Hitung luas panel total sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
		Benturan	Tidak	> 3 panel				
		Bergerak	berbahaya	> 10% permukaan rusak				
		Tindakan kekerasan		Sebaliknya	Tidak parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.9 Kerusakan pada Elemen Sistem Penahan Kabel Jembatan Beruji Kabel dan Sistem Penahan Kabel Jembatan Gantung

Kerusakan pada Elemen 4.462 Sistem Penahan Kabel Jembatan-Beruji-Kabel dan 4.474 Sistem Penahan Kabel Jembatan Gantung			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
551	Tidak stabil	Beban berlebihan	Berbahaya	Apa saja	Parah	Perlu Pemeriksaan Khusus		
		Pengerjaan yang jelek						

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.10 Kerusakan pada Elemen Kepala Jembatan dan Pilar

Kerusakan pada Elemen 3.230 – Kepala Jembatan/Pilar			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
551	Kepala jembatan atau pilar terdeformasi (<i>settlement/tilt/ movement</i>)	Guling	Berbahaya	Berputar < rasio kemiringan perbandingan 1 dalam arah memanjang dan 12 dalam arah vertikal	Tidak Parah	Perlu Pemeriksaan Khusus		
		Berputar		Penurunan < 50 mm	Tidak Parah			
		Turun/ <i>settle</i>		Tidak terlihat adanya puntiran	Tidak parah			
		Puntir		Sebaliknya	Parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.11 Kerusakan pada Elemen Landasan Penahan

Kerusakan pada Elemen Perkuatan *) dan 4.614 Sistem Pendukung Landasan			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
561	Longgar	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah sistem yang longgar/hilang/tidak ada	Hitung jumlah sistem yang seharusnya terpasang sesuai dengan level pemeriksaan	Buah
	Hilang/tidak ada							

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Keterangan:

*) : Elemen perkuatan adalah Klaster Elemen 4.224 Perkuatan Bangunan Pengaman, 4.326 Perkuatan Bangunan Bawah, 4.414 Perkuatan Gelagar, 4.425 Perkuatan Jembatan Pelat, 4.433 Perkuatan Pelengkung, 4.446 Perkuatan Balok Pelengkung, 4.456 Perkuatan Jembatan Rangka, 4.485 Perkuatan Pilon, 4.495 Perkuatan Gelagar Boks, 4.515 Perkuatan Sistem Lantai, dan Elemen Utama 3.860 Perkuatan Gorong-gorong

Tabel 2.12 Kerusakan pada Elemen Landasan/Perletakan

Kerusakan pada Elemen 3.610 – Perletakan			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
601	Tidak cukupnya tempat untuk bergerak	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah landasan yang tidak tertahan / tidak dapat bergerak	Hitung jumlah total landasan sesuai dengan level pemeriksaan	Buah
602	Kedudukan landasan yang tidak sempurna	Apa saja	Berbahaya	Terdapat gap ≤ 2 mm*	Tidak parah	Hitung jumlah landasan yang tidak tepat dudukannya		
				Terdapat gap > 2 mm*	Parah			
				$\leq 1/3$ bagian dari tempatnya	Tidak parah			
				$> 1/3$ bagian dari tempatnya	Parah			

Kerusakan pada Elemen 3.610 – Perletakan			S	Pengukuran	R	K		Satuan
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	Ukuran
603	Mortar dasar retak atau rontok	Apa saja	Berbahaya	≤ 15% bagian rusak	Tidak parah	Hitung jumlah mortar di bawah landasan yang rusak		
				> 15% bagian rusak	Parah			
604	Perpindahan yang berlebihan	Apa saja	Berbahaya	Perpindahan ≥ 30 mm*	Parah	Hitung jumlah landasan yang mengalami perpindahan dan perubahan (deformasi) berlebihan		
				Perpindahan < 30 mm*	Tidak parah			
	Deformasi yang berlebihan	Apa saja	Berbahaya	≤ 20% dari tebal landasan*	Tidak parah			
				>20% dari tebal landasan*	Parah			
605	Aus karena umur	Apa saja	Tidak berbahaya	≤ 25% aus	Tidak parah	Hitung jumlah landasan yang	Hitung jumlah total landasan	
				> 25% aus	Parah			

Kerusakan pada Elemen 3.610 – Perletakan			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
	Landasan yang sobek, pecah atau retak	Apa saja	Tidak berbahaya	Apa saja	Parah	mengalami aus, pecah, sobek, retak, hilang / rusak	sesuai dengan level pemeriksaan	
606	Bagian yang rusak atau hilang	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah landasan yang rusak atau hilang atau tidak berfungsi	Hitung jumlah total landasan sesuai dengan level pemeriksaan	
606	Kurangnya pelumasan pada logam	Kurang pelumasan	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah landasan logam yang kering		

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Keterangan *) : untuk tipe landasan jembatan khusus/kompleks batasan perpindahan yang dimaksud sebagaimana yang ada di dalam dokumen pengujian landasan/ standar yang berlaku.

Tabel 2.13 Kerusakan pada Elemen Jembatan Pelat dan Sistem Lantai

Kerusakan pada Elemen 3.420 Jembatan Pelat - 3.500 Sistem Lantai			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
701	Pergerakan yang berlebih pada arah memanjang sambungan	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung panjang sambungan yang mengalami pergerakan berlebih	Hitung panjang sambungan lantai total pada jembatan sesuai dengan level pemeriksaan	m
702	Lendutan yang berlebihan	Apa saja	Berbahaya	$\leq$ bentang / 200	Tidak parah	Hitung lendutan yang terjadi	Hitung luas lantai yang mengalami lendutan sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
				$>$ bentang / 200	Parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.14 Kerusakan pada Elemen Drainase

Kerusakan pada Elemen Drainase*)			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Kerusakan	
711	Pipa cucuran dan drainase yang tersumbat	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah pipa cucuran yang tersumbat	Hitung jumlah pipa cucuran total yang seharusnya	Buah
702	Kehilangan bahan elemen	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah pipa cucuran yang hilang	ada sesuai dengan level pemeriksaan	

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Keterangan *): 4.115 Drainase Perkerasan, 4.124 Drainase Tanah Timbunan, 4.133 Drainase Struktur Penahan Tanah, 4.327 Drainase Kepala Jembatan/Pilar, 4.416 Drainase Gelagar, 4.426 Drainase Jembatan Pelat, 4.434 Drainase Pelengkung, 4.447 Drainase Balok Pelengkung, 4.457 Drainase Rangka, 4.485 Drainase Pilon, 4.496 Drainase Gelagar Boks, 4.517 Drainase Lantai, 4.607 Drainase Sambungan/Siar Muai, 4.824 Drainase Gorong-gorong Persegi Boks, 4.832 Drainase Gorong-gorong Pipa, dan 4.844 Drainase Gorong-gorong Pelengkung Baja Bergelombang

Tabel 2.15 Kerusakan pada Elemen Lapisan Permukaan

Kerusakan Pada Elemen 4.111 Perkerasan Fleksibel Jalan Pendekat, 4.112 Perkerasan Kaku Jalan Pendekat, 4.514 Lapis Permukaan Sistem Lantai			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
721	Permukaan licin	Apa saja	Berbahaya	Tergelincir	Parah	Hitung luas lapis permukaan yang mengalami kerusakan 721, 722, 723, 724	Hitung luas permukaan total lantai jembatan sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
				Sebaliknya	Tidak parah			
722	Permukaan yang kasar/berlubang (<i>debonding</i> , aus)	Apa saja	Tidak berbahaya	≤ 20 mm dalamnya	Tidak parah			
				> 20 mm dalamnya	Parah			
	Retak pada lapisan permukaan	Apa saja	Tidak berbahaya	≤ 10 mm dalamnya	Tidak parah			
				> 10 mm dalamnya	Parah			

Kerusakan Pada Elemen 4.111 Perkerasan Fleksibel Jalan Pendekat, 4.112 Perkerasan Kaku Jalan Pendekat, 4.514 Lapis Permukaan Sistem Lantai			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
723	Lapisan permukaan yang bergelombang dan alur dari jalur roda (<i>rutting</i>)	Apa saja	Tidak berbahaya	≤ 20 mm dalamnya	Tidak parah			
				> 20 mm dalamnya	Parah			
724	Lapisan permukaan yang berlebihan	Apa saja	Berbahaya	≤ 100 mm dalamnya	Tidak parah			
				> 100 mm dalamnya	Parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.16 Kerusakan pada Elemen Trotoar, Kerb

Kerusakan pada Elemen 4.506 – Trotoar, Kerb			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
731	Permukaan trotoar licin	Apa saja	Berbahaya	Tergelincir (<i>skidding</i>)	Parah	Hitung luas trotoar yang licin dan/atau berlubang	Hitung luas total trotoar sesuai dengan level pemeriksaan	m ²
				Sebaliknya	Tidak parah			
732	Lubang pada trotoar	Apa saja	Tidak berbahaya	≤ 20 mm dalamnya	Tidak parah			
				> 20 mm dalamnya	Parah			
733	Bagian hilang/tidak ada	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.17 Kerusakan pada Elemen Siar Muai Lantai

Kerusakan Pada 3.600 Sambungan/Siar Muai Kecuali 4.607 Sistem Drainase Sambungan/Siar Muai			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
801	Tidak sama tinggi	Apa saja	Tidak berbahaya	Perbedaan level ≤ 30 mm	Tidak parah	Hitung sambungan siar muai yang tidak level dan celah yang terisi	Hitung jumlah total panjang siar muai yang ada pada jembatan sesuai dengan level pemeriksaan	m
				Perbedaan level > 30 mm	Parah			
802	Kehilangan kemampuan bergeraknya	Apa saja	Berbahaya	Untuk bentang ≤ 25 m	Tidak parah			
				Untuk bentang > 25 m	Parah			
				Jika terdapat lapisan perkerasan pada sambungan/siar muai > 25 mm	Parah			

Kerusakan Pada 3.600 Sambungan/Siar Muai Kecuali 4.607 Sistem Drainase Sambungan/Siar Muai			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
				Sebaliknya	Tidak parah			
803	Bagian yang longgar	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung sambungan/ siar muai yang longgar lepas lekatannya, atau rusak/hilang	Hitung jumlah total panjang siar muai yang ada pada jembatan sesuai dengan level pemeriksaan	
804	Lepasnya letakan	Apa saja	Tidak Berbahaya	Lepas $\leq 25\%$	Tidak parah			
				Lepas $> 25\%$	Parah			
805	Bagian yang rusak/longgar	Apa saja	Berbahaya	Apa saja	Parah			
806	Retak aspal akibat pergerakan sambungan	Apa saja	Tidak berbahaya	Retak ≤ 15 mm	Tidak parah	Hitung sambungan siar muai aspal yang retak	Hitung jumlah total panjang siar muai yang ada	

Kerusakan Pada 3.600 Sambungan/Siar Muai Kecuali 4.607 Sistem Drainase Sambungan/Siar Muai			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Elemen	
							pada jembatan sesuai dengan level pemeriksaan	
				Retak > 15 mm	Parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.18 Kerusakan pada Elemen Batas - Batas Ukuran/Portal, Penunjang Perlengkapan, dan Struktur Penutup Jembatan

Kerusakan pada Elemen 4.711a Batas – Batas Ukuran/Portal, 4.713 Penunjang Perlengkapan, 4.714 Struktur Penutup Jembatan			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Kerusakan	
901	Bagian yang rusak atau hilang	Apa saja	Berbahaya	Struktur tidak stabil	Parah	Hitung jumlah elemen pembatas	Hitung jumlah total elemen	Buah
				Sebaliknya	Parah	/portal atau penunjang perlengkapan yang rusak/hilang	portal atau penunjang perlengkapan yang seharusnya ada sesuai dengan level pemeriksaan	

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.19 Kerusakan pada Elemen Perangkat Pengendali Lalu Lintas, Penanda Jembatan, dan Pendukung Sandaran/Median

Kerusakan pada Elemen 4.711 Perangkat Pengendali Lalu Lintas (Selain 4.711a), 4.712 Penanda Jembatan, 4.715 Pendukung Sandaran/ Median			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Kerusakan	
911	Tulisan tidak jelas	Apa saja	Tidak Berbahaya	> 25% tidak berfungsi	Parah	Hitung jumlah elemen rambu/ marka/papan nama yang rusak/hilang	Hitung jumlah total elemen rambu/marka/ papan nama yang seharusnya ada sesuai dengan level pemeriksaan	Marka dalam m
				≤ 25% tidak berfungsi	Tidak parah			Rambu, papan nama dalam Buah
912	Bagian yang hilang atau tidak ada	Apa saja	Tidak Berbahaya	Pelat nama atau patung	Tidak parah			
				Sebaliknya	Parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.20 Kerusakan pada Elemen Penerangan

Kerusakan pada Elemen 4.721 Lampu, 4.722 - Tiang Lampu dan 4.713 - Kabel Listrik			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Kerusakan	
921	Penurunan mutu bahan/deteriorasi	Apa saja	Tidak Berbahaya	> 25% bagian	Parah	Hitung jumlah lampu, tiang lampu yang rusak atau kabel listrik yang putus	Hitung jumlah total elemen lampu, tiang lampu dan kabel yang ada/ terpasang sesuai dengan level pemeriksaan	Lampu dan tiang lampu dalam Buah Kabel listrik dalam m
				≤ 25% bagian	Tidak parah			
922	Bagian yang hilang	Apa saja	Tidak Berbahaya	Korslet	Parah			
				Sebaliknya	Tidak parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.21 Kerusakan pada Elemen Pengaman Pengguna Jalan Utilitas

Kerusakan pada Elemen 3.620 Pengaman Pengguna Jalan dan 3.730 Utilitas			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Kerusakan	
931	Tidak berfungsi	Apa saja	Tidak Berbahaya	Apa saja	Parah	Hitung jumlah median atau utilitas yang rusak/ tidak sesuai penempatannya	Hitung jumlah total median atau utilitas yang seharusnya ada sesuai dengan level pemeriksaan	Median dihitung dalam m ² Pipa utilitas dihitung dalam m
932	Tidak sesuai penempatannya							

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Tabel 2.22 Kerusakan pada Elemen Pengaman Struktur dan Lingkungan, SMKS, Perlengkapan Jembatan Gerak, Fasilitas Pemeriksaan Tetap, dan Elemen-elemen Non-Struktural

Kerusakan pada Elemen 3.740 Pengaman Struktur dan Lingkungan, 3.750 SMKS, 3.760 Perlengkapan Jembatan Gerak, 3.770 Fasilitas Pemeriksaan Tetap, dan Elemen-Elemen Non Struktural			S	Pengukuran	R	K		Satuan Ukuran
Kode	Jenis Kerusakan	Penyebab Kerusakan	Struktur		Tingkat Kerusakan	Volume Kerusakan	Volume Total Kerusakan	
941	Hilang/lepas	Apa saja	Tidak berbahaya	Membahayakan elemen struktural	Parah	Hitung jumlah bagian/lepas	Hitung jumlah total elemen sesuai dengan level pemeriksaan	Buah
				Sebaliknya	Tidak parah			
942	Retak/rusak/tidak berfungsi	Apa saja	Tidak berbahaya	Membahayakan elemen struktural	Parah	Hitung jumlah bagian yang retak/rusak/tidak berfungsi	Hitung jumlah total elemen sesuai dengan level pemeriksaan	Buah
				Sebaliknya	Tidak parah			

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

4. Sistem Penilaian Elemen

Penilaian elemen dilakukan dengan mengelompokkan penilaian pada 5 (lima) pernyataan yang menggambarkan kerusakan yang terjadi. Kelima pernyataan tersebut disajikan dalam Tabel 2.23 berikut:

Tabel 2.23 Sistem Penilaian Elemen

Nilai	Kriteria	Nilai
Struktur (S)	Berbahaya	1
	Tidak Berbahaya	0
Kerusakan (R)	Parah	1
	Tidak parah	0
Perkembangan (K)	Lebih dari x %	1
	Kurang dari x %	0
	X = 30% untuk elemen struktural dan 50% untuk elemen non-struktural	
Fungsi (F)	Elemen tidak berfungsi	1
	Elemen berfungsi	0
Pengaruh (P)	Mempengaruhi elemen lain	1
	Tidak mempengaruhi elemen lain	0
Nilai Kondisi (NK)	$NK = S+R+K+F+P$	0–5

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

Penilaian elemen dilakukan pada elemen level 4 (empat). Apabila penilaian awal suatu elemen (individual) diberikan pada Level 4, kelompok elemen yang mirip dinilai pada level yang lebih tinggi, yaitu level 3 dan level 2, dengan memberikan pertanyaan - pertanyaan yang sama mengenai kelompok elemen secara keseluruhan.

Setelah dilakukan penilaian elemen pada level 4 (empat) hingga level 1 (satu) didapatkan hasil penilaian berupa nilai kondisi suatu jembatan. Nilai kondisi tersebut merupakan kesimpulan dari penilaian elemen untuk mendapatkan rekomendasi penanganan jembatan yang harus dilakukan selanjutnya. Nilai kondisi beserta keterangannya disajikan pada Tabel 2.24 berikut:

Tabel 2.24 Pedoman Pemberian Nilai Kondisi Jembatan

Pedoman Pemberian Nilai Kondisi Jembatan	
Nilai kondisi 0	Elemen jembatan berada dalam kondisi baik (jembatan dalam keadaan baru, tanpa kerusakan).
Nilai kondisi 1	Kerusakan sangat sedikit (kerusakan dapat diperbaiki melalui pemeliharaan rutin dan tidak berdampak pada keamanan atau fungsi jembatan).
Nilai kondisi 2	Kerusakan yang memerlukan pemantauan atau pemeliharaan pada masa yang akan datang. Contohnya adalah pembusukan sedikit pada struktur kayu, penurunan mutu pada elemen pasangan batu, penumpukan sampah atau tanah di sekitar perletakan merupakan tanda-tanda yang membutuhkan penggantian.
Nilai kondisi 3	Kerusakan yang membutuhkan perhatian (kerusakan yang mungkin menjadi serius dalam 12 bulan). Contohnya adalah struktur beton dengan sedikit retak, rangka kayu membusuk, lubang pada permukaan lantai kendaraan, adanya gundukan aspal pada lantai kendaraan dan pada kepala jembatan, <i>scouring</i> dalam jumlah sedang pada pilar, kepala jembatan, rangka baja berkarat.
Nilai kondisi 4	Kondisi kritis (kerusakan serius yang membutuhkan perhatian segera). Contohnya adalah kegagalan rangka, keretakan atau kerontokan lantai beton, fondasi yang terkikis, kerangka beton yang memiliki tulangan yang terlihat dan berkarat, sandaran pegangan/pagar pengaman yang tidak ada.
Nilai kondisi 5	Elemen runtuh atau tidak berfungsi lagi. Contohnya adalah bangunan atas yang runtuh, timbunan tanah yang hanyut.

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022)

2.4.3 Pemeriksaan Rutin

Pemeriksaan rutin bertujuan untuk memastikan bahwa tidak ada perubahan yang tidak terduga pada kondisi jembatan. Apabila hal tidak terduga tersebut terjadi dapat dilakukan tindakan yang tepat. Pemeriksaan rutin dilaksanakan minimal 1 (satu) tahun sekali.

2.4.4 Pemeriksaan Khusus

Pemeriksaan khusus dilaksanakan apabila terjadi kekurangan informasi dari pemeriksaan – pemeriksaan sebelumnya. Pemeriksaan khusus ini dilakukan untuk menganalisis material, menjangkau lokasi yang sulit dijangkau dan untuk melengkapi pemeriksaan mendetail. Pada umumnya, dibutuhkan teknik dan peralatan yang lebih kompleks untuk melakukan pemeriksaan khusus serta pengetahuan dan penilaian dalam bidang teknis.

2.5 Usulan Penanganan Jembatan

Dalam melaksanakan identifikasi penanganan jembatan, diperlukan skrining teknis. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (1993), skrining teknis adalah penyaringan dari *database* yang memerlukan suatu penanganan karena kurangnya kapasitas lalu lintas, kurangnya kekuatan atau kondisinya yang buruk. Jembatan yang telah diprogramkan tidak dilakukan proses skrining teknis. Kriteria skrining teknis dapat dilihat pada Tabel 2.25 berikut:

Tabel 2.25 Kriteria Skrining Teknis

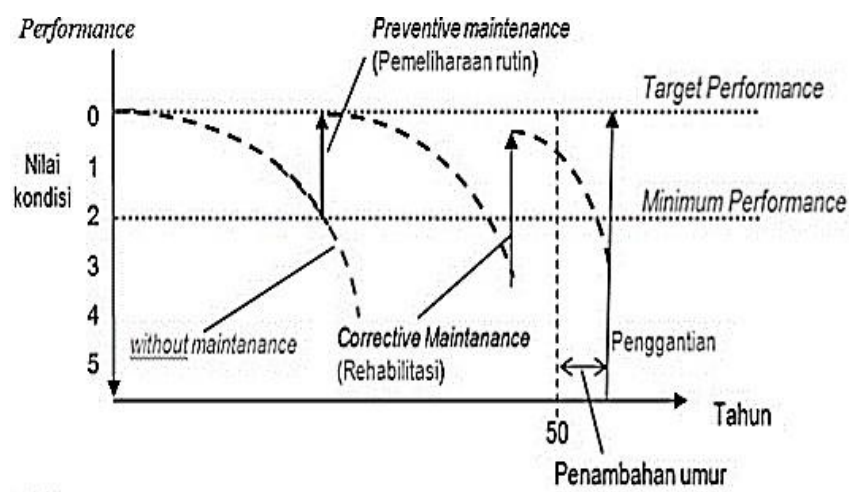
Parameter	Nilai	Kategori	Penanganan Indikatif
Kondisi	0	Baik s/d Rusak Ringan	Pemeliharaan Rutin
	1 - 2	Rusak Ringan	Pemeliharaan Rutin/Berkala
	3	Rusak Berat	Pemeliharaan Berkala
	4	Kritis	Rehabilitasi
	5	Runtuh	Penggantian

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1993)

2.6 Prediksi Sisa Umur Jembatan

Sisa umur jembatan merupakan prediksi sisa waktu yang dimiliki oleh suatu

struktur jembatan akibat kerusakan yang terjadi terhadap umur rencana (Fatharani & Sumargo, 2020). Sisa umur jembatan dipengaruhi oleh kondisi jembatan, sedangkan kondisi jembatan dipengaruhi oleh tingkat kerusakan jembatan (Marshando & Sumargo, 2020). Hal ini menunjukkan keterkaitan akan pentingnya penilaian kondisi jembatan untuk menentukan prioritas perbaikan serta dapat memastikan umur jembatan bisa sesuai dengan umur layan rencana bahkan dapat melampauinya. Adapun pengaruh sisa umur jembatan terhadap performa dan kinerja jembatan disajikan dalam diagram pada Gambar 2.4 berikut:



Gambar 2.4 Diagram Sisa Umur Jembatan

Sumber: (Ernawati et al., 2022)

Berdasarkan diagram sisa umur jembatan, kinerja jembatan akan menurun seiring dengan bertambahnya waktu pelayanan atau pertambahan waktu selama melayani beban lalu lintas di atasnya sehingga semakin bertambahnya usia jembatan maka akan semakin tinggi pula kebutuhan akan penanganan jembatan tersebut. Maka dari itu, perlu dilakukan analisis usia dan sisa umur jembatan yang mengacu pada Panduan Penanganan Preservasi Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga 2010. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2010), perhitungan sisa umur jembatan dapat menggunakan Persamaan (2.1) berikut:

$$NK = 5 - \left\{ \frac{100 - \frac{Y}{N\%}}{a} \right\}^{\left(\frac{1}{b} \right)} \quad (2.1)$$

Keterangan:

NK = nilai kondisi,

Y = umur jembatan,

N% = umur rencana,

a = koefisien (4,66), dan

b = koefisien (1,9051).

2.7 Evaluasi Kapasitas Struktur Jembatan

Evaluasi kapasitas struktur jembatan dilakukan untuk mengetahui kemampuan elemen struktur dalam menahan beban lalu lintas sesuai kondisi eksisting. Pada penelitian ini, evaluasi kapasitas dilakukan menggunakan metode *Bridge Load Rating* (BLR). Metode ini digunakan untuk menentukan tingkat keamanan struktur melalui perhitungan nilai *Rating Factor* (RF), yaitu perbandingan antara kapasitas struktur dan efek beban yang bekerja. Data yang digunakan diperoleh dari hasil analisis struktur, meliputi gaya dalam seperti momen dan gaya geser yang nantinya dibandingkan dengan kapasitas nominal penampang.

2.7.1 Analisis Struktur Atas Jembatan

Analisis struktur atas jembatan dilakukan untuk mengetahui bagaimana elemen struktur merespons beban yang bekerja, baik beban mati maupun beban lalu lintas. Struktur atas yang dianalisis meliputi elemen utama seperti girder dan pelat lantai yang berperan dalam menahan serta menyalurkan beban ke struktur bawah.

2.7.1.1 Beban yang Bekerja pada Jembatan

Dalam perencanaan jembatan, terdapat standar pembebanan yang tertuang dalam SNI 1725:2016. Standar ini menetapkan persyaratan minimum pembebanan serta kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perencanaan. Beban yang bekerja pada jembatan antara lain berat sendiri, beban mati tambahan, beban lalu lintas dan beban aksi lingkungan (Batubara & Simatupang, 2018).

1. Beban Mati

Beban mati merupakan berat jembatan yang bersifat permanen. Beban mati lainnya yaitu beban mati tambahan yang merupakan beban non-struktural yang besarnya dapat berubah selama umur jembatan (Sapulete, 2020). Berat isi material disajikan pada Tabel 2.26 berikut:

Tabel 2.26 Berat Isi untuk Beban Mati

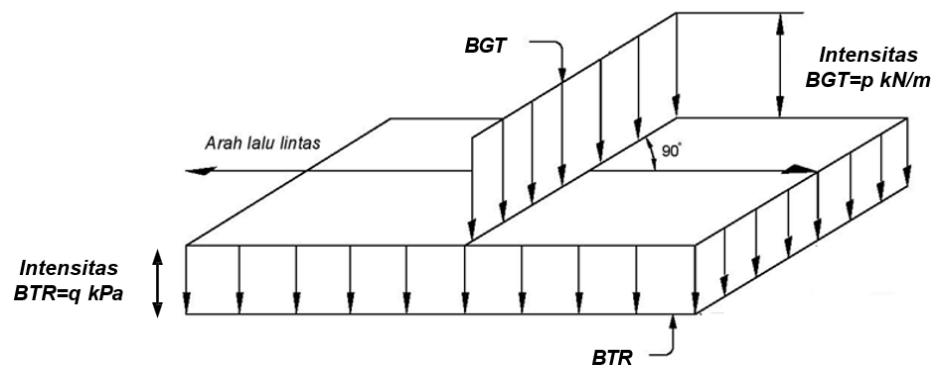
No	Bahan	Berat Isi (kN/m^3)	Kerapatan Massa (kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal	22	2245
2	Besi tuang	71	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan	18,8 – 22,7	1920 – 2135
5	Beton aspal	22	2245
6	Beton ringan	12,25 – 19,6	1250 – 2000
7	Beton	22 – 25	2240 – 2560
8	Beton prategang	25 – 26	2560 – 2640
9	Beton bertulang	23,5 – 25,5	2400 – 2600
10	Baja	78,5	7850
11	Kayu	7,8	800
12	Kayu keras	11	1125

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2016)

2. Beban Lalu Lintas

a. Beban Lajur “D”

Beban lajur bekerja pada seluruh lebar jembatan yang bergantung pada lebar jalur kendaraan yang menimbulkan pengaruh terhadap jembatan secara ekuivalen (Widyaningrum et al., 2016). Beban lajur terdiri atas beban terbagi rata (BTR) digabungkan dengan beban garis (BGT) yang disajikan pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Beban Lajur “D”

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2016a)

Beban terbagi rata (BTR) memiliki intensitas sebesar q kPa, besar q bergantung pada panjang total yang terbebani (L) yaitu:

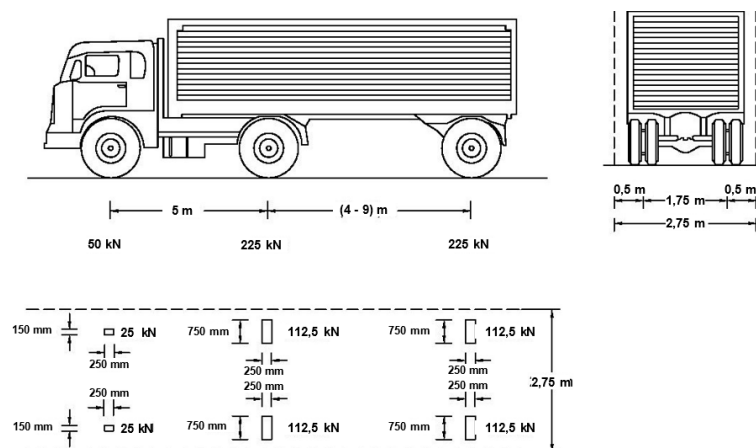
$$\text{Jika } L < 30 \text{ m, maka } q = 9,0 \text{ kPa} \quad (2.2)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m, maka } q = 9 \times \left(0,5 + \frac{15}{L}\right) \text{ kPa} \quad (2.3)$$

Sedangkan, untuk beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas sebesar p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besar p adalah 49 kN/m.

b. Beban Truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk 3 gandar yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat pada Gambar 2.6 yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur rencana (Widyaningrum et al., 2016). Berat setiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 (dua) gandar tersebut dapat diubah antara 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.



Gambar 2.6 Beban Truk “T”

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2016a)

c. Beban Rem

Beban rem diasumsikan sebagai gaya dalam arah memanjang yang bekerja pada arah horizontal pada jarak 1800 mm di atas permukaan lantai jembatan (Sapulete, 2020). Gaya rem diambil dari nilai terbesar antara

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

3. Beban Pejalan Kaki

Beban pejalan kaki didefinisikan sebagai beban yang dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Beban pejalan kaki didefinisikan pada trotoar yang memiliki lebar lebih dari 600 mm dengan intensitas 5 kPa.

4. Beban Tekanan Tanah

Pada bagian tanah dibelakang dinding penahan tanah yang dibebani lalu lintas, harus diperhitungkan adanya beban tambahan yang setara dengan tanah setebal 0,60 m yang berupa beban merata ekuivalen beban kendaraan pada bagian tersebut (Arya Pratama & Tanjung, 2024). Menurut Badan Standarisasi Nasional (2016), tekanan tanah lateral dihitung berdasarkan berat tanah w_s , kohesi (c), dan sudut gesek dalam (ϕ). Tekanan tanah lateral harus diasumsikan linier sebanding dengan kedalaman tanah sebagaimana Persamaan (2.4) berikut:

$$p = k \times \gamma_s \times z \quad (2.4)$$

Keterangan:

p = tekanan tanah lateral (kPa),

k = koefisien tekanan tanah lateral,

dapat berupa k_0 (koefisien tanah kondisi diam) atau;

k_a (koefisien tanah kondisi aktif) atau;

k_p (koefisien tanah kondisi pasif).

γ_s = berat jenis tanah (kN/m³), dan

z = kedalaman (m).

5. Beban Angin

a. Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin diasumsikan sebagai angin rencana dengan kecepatan dasar (VB) sebesar 90 hingga 126 km/jam (Badan Standarisasi Nasional, 2016). Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang diperhitungkan adalah luas area dari semua komponen, termasuk sistem lantai dan *railing* yang di ambil tegak lurus terhadap arah angin. Arah ini harus divariasikan

untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponennya. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan.

Bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} harus dihitung dengan Persamaan (2.5) berikut:

$$V_{DZ} = 2,5V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right) \quad (2.5)$$

Keterangan:

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

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

V_B = kecepatan angin rencana 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm, yang akan menghasilkan tekanan.

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

V_o = kecepatan gesekan angin yang merupakan karakteristik metodologi untuk berbagai macam tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam).

Z_o = panjang gesekan di hulu jembatan yang merupakan karakteristik metodologi yang ditentukan pada Tabel 2.19. (mm).

V_{10} dapat diperoleh dari :

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

Tabel 2.27 Nilai V_o dan Z_o untuk Berbagai Variasi Permukaan Hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_o (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_o (km/jam)	70	1000	2500

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2016a)

b. Beban Angin pada Struktur (EW_s)

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeban untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam SNI 1725:2016. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin dasar dapat dilihat pada Tabel 2.28. tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan Persamaan (2.6) berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (2.6)$$

Keterangan:

P_B = tekanan angin dasar (MPa).

Tabel 2.28 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: (Badan Standarisasi Nasional, 2016a)

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

6. Beban 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 (Badan Standarisasi Nasional, 2016b). Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. Beban

gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R) dengan formulasi Persamaan (2.7) berikut:

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad (2.7)$$

Keterangan:

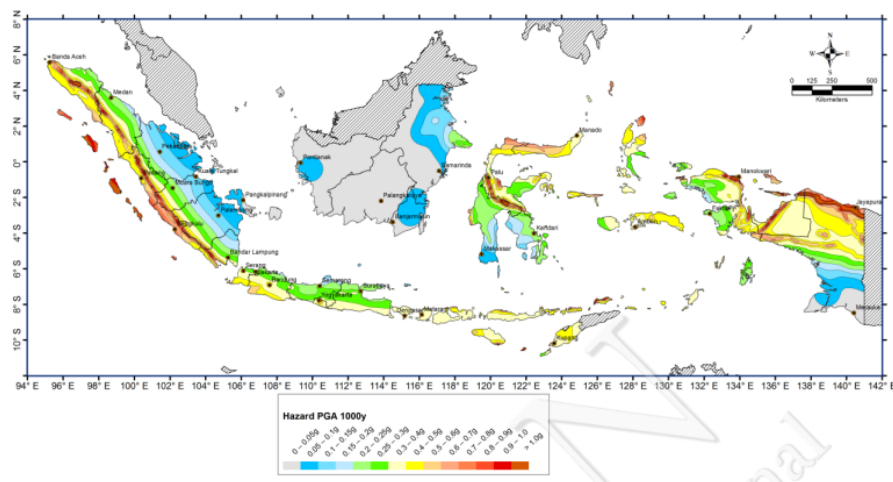
EQ = Gaya gempa horizontal statis (kN).

C_{sm} = Koefisien respon gempa elastik.

R_d = Faktor modifikasi respon, dan

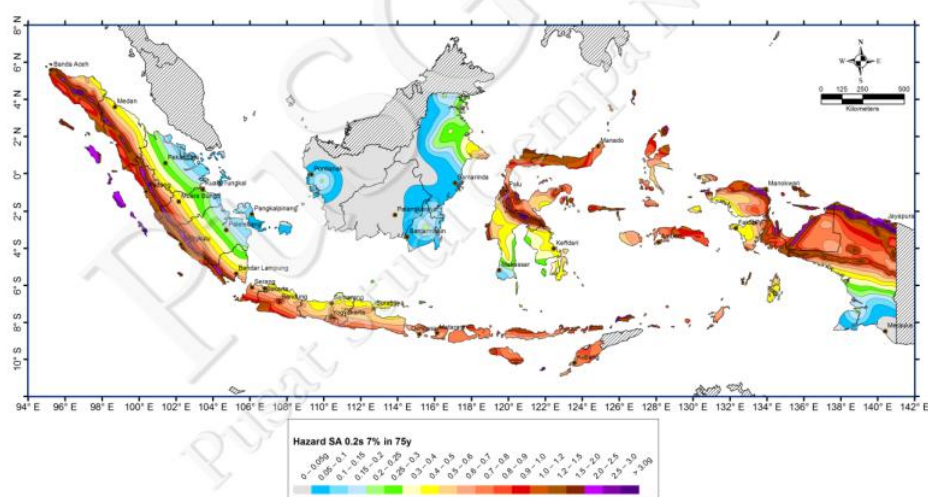
W_t = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN).

Koefisien respon elastik (C_{sm}) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan yang terlihat pada Gambar 2.7, Gambar 2.8, dan Gambar 2.9 sesuai daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa di kalikan dengan suatu faktor amplifikasi dengan kondisi tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan. Ketentuan pada standar ini berlaku untuk jembatan konvensional.



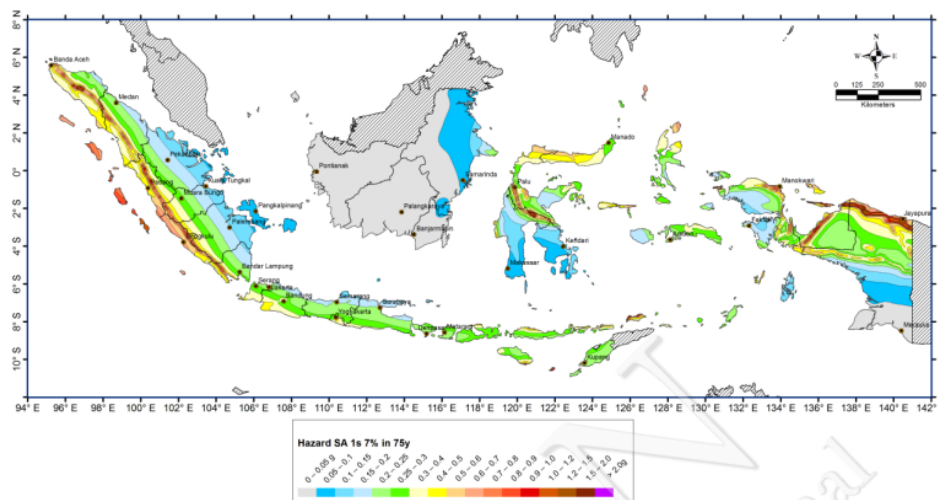
Gambar 2.7 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (PGA) untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun.

Sumber: (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 2.8 Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 Tahun.

Sumber: (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)



Gambar 2.9 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik di Batuan Dasar untuk Probabilitas Terlampaui 7% Dalam 75 tahun.

Sumber: (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

a. Bahaya Gempa

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 situs kelas F.

b. Prosedur Umum

Peta gempa dalam ketentuan ini meliputi peta percepatan puncak bantuan dasar (PGA) dan respons spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik dibatuan dasar yang mewakili level hazard (potensi bahaya) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun.

c. Prosedur Spesifik Situs

Prosedur spesifik-situs dapat dilakukan untuk pembuatan respon spektra rencana dan dapat dilakukan di lokasi mampu 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 ditetapkan 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, dan
- 5) Hubungan panjang runtuh patahan untuk tiap patahan yang berkontribusi.

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.

d. Faktor Situs

Penentuan respons 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).

Nilai F_{PGA} , F_a dan F_v untuk berbagai klasifikasi jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 2.29 dan Tabel 2.30.

Tabel 2.29 Faktor Amplikasi 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	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

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2016b)

Keterangan:

PGA = Percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Ss = Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode pendek ($T = 0,2$ detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

Tabel 2.30 Nilai Faktor Amplikasi 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

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 (SB)	1	1	1	1	1
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2	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

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2016b)

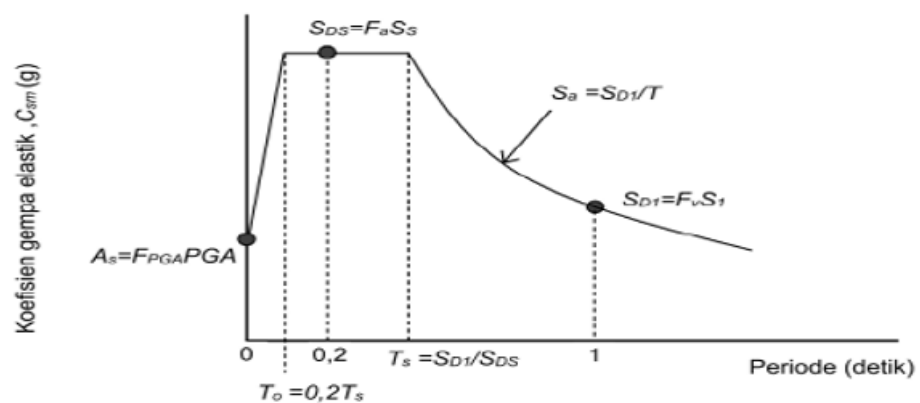
Keterangan:

S_1 = Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1 detik dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

e. Respon Spektra Rencana

Respons spektra adalah nilai yang menggambarkan respons maksimum sistem berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Bentuk tipikal respons spektra dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Bentuk Tipikal Respons Spektra di Permukaan Tanah

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2016b)

Respons spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2017 (PGA, Ss dan S1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a , dan F_v . Perumusan

respons spektra dapat dilihat pada Persamaan (2.8, (2.9, dan (2.10 berikut:

$$A_S = F_{PGA} \times PGA \quad (2.8)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \quad (2.9)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad (2.10)$$

f. Koefisien Respon Gempa Elastik

Untuk periode lebih kecil dari T_0 , koefisien respon gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari Persamaan (2.11 berikut.

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \quad (2.11)$$

Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respons spektra percepatan, C_{sm} adalah dengan S_{DS} . Untuk periode lebih besar dari T_s , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari Persamaan (2.12, (2.13, dan (2.14 berikut:

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.12)$$

$$T_0 = 0,2T \quad (2.13)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.14)$$

Keterangan:

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

S_{D1} = Nilai spektra permukaan tanah pada periode 1 detik.

g. Kategori Kerja Seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah ssatu empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik (S_{D1}) sesuai Tabel 2.31. Kategori tersebut menggambarkan variasi risiko seismik dan digunakan untuk penentuan zona gempa.

Tabel 2.31 Zona Gempa

Koefisien Percepatan (S_{D1})	Zona Gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,3$	2

Koefisien Percepatan (S_{D1})	Zona Gempa
$0,3 < S_{D1} \leq 0,5$	3
$S_{D1} > 0,5$	4

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2016b)

Keterangan:

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

F_v = Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik.

S_1 = Parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1.0 detik mengacu pada peta gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

h. Faktor Modifikasi Respon

Penggunaan faktor modifikasi respons pada pasal ini maka detailing struktur harus sesuai dengan ketentuan pada pasal 7 dan pasal 7.5 SNI 2833:2016. Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gaya gempa elastis dengan faktor modifikasi respons (R) sesuai dengan Tabel 2.33. Sebagai alternatif penggunaan faktor R pada Tabel 2.33. 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 respons (R) diambil sebesar 1 untuk seluruh jenis bangunan bawah dan hubungan antar elemen struktur.

Tabel 2.32 Faktor Modifikasi Respons (R) untuk Bangunan Bawah

Bangunan Bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat Penting	Penting	Lainnya
Pilar Tipe Dinding	1,5	1,5	2
Tiang/kolom beton bertulang:			
Tiang Vertikal	1,5	2	3
Tiang Miring	1,5	1,5	2

Bangunan Bawah	Kategori Kepentingan		
	Sangat Penting	Penting	Lainnya
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: (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

Tabel 2.33 Faktor Modifikasi Respons (R) untuk Hubungan Antar Elemen

Hubungan Elemen Struktur	Semua Kategori Kepentingan
Bangunan Atas dengan Kepala Jembatan	0,8
Sambungan Mulai Dilatasi pada Bangunan Atas	0,8
Kolom, Pilar atau Tiang dengan Bangunan Atas	1
Kolom atau Pilar dengan Fondasi	1

Sumber: (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

2.7.1.2 Kombinasi Pembebanan Jembatan

Berdasarkan Badan Standarisasi Nasional (2016), komponen dan sambungan pada jembatan untuk kombinasi beban – beban ditentukan pada setiap keadaan sebagai berikut:

- Kuat I : Kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya 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.

- Ekstrem I : Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup 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 tumbukan 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 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 badan 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.

Adapun pembagian kombinasi beban dan faktor beban untuk jembatan sebagai berikut:

Kuat I	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 1,8 TB + 1,8 TD
Kuat II	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 1,4 TB + 1,4 TD
Kuat III	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 1,4 EWS
Kuat IV	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR
Kuat V	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 0,4 EWS
Ekstrem I	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 0,5 TB + 0,5 TD + 1,0 EQ
Ekstrem II	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 0,5 TB + 0,5 TD
Layan I	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 1,0 TB + 1,0 TD + 0,3 EWS
Layan II	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 1,3 TB + 1,3 TD
Layan III	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 0,8 TB + 0,8 TD
Layan IV	: 1,0 DL + 1,0 ADL + 1,0 LL + 1,0 PR + 0,7 EWS
Fatik	: 0,75 TB + 0,75 TD

Keterangan:

DL	: <i>Dead Load</i>	TB	: Gaya Akibat Rem
ADL	: <i>Additional Dead Load</i>	TD	: Gaya Akibat Beban Lajur
LL	: <i>Live Load</i>	EWS	: Beban Angin pada Struktur
PR	: <i>Prestress</i>	EQ	: Gaya Gempa

2.7.1.3 Penulangan Struktur Jembatan

Penulangan struktur jembatan dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Menghitung rasio tulangan

Rasio tulangan minimal,

$$\rho_{\min} = \frac{1,0}{f_y} \quad (2.15)$$

$$\rho_b = \beta_1 \times 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} \quad (2.16)$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b \quad (2.17)$$

2. Menghitung momen nominal

Momen nominal diperoleh dari rumus berikut:

$$M_n = M_u / \phi \quad (2.18)$$

3. Menghitung tahanan momen nominal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^3} \quad (2.19)$$

Keterangan:

b = lebar pelat yang ditinjau (mm), dan

d = tebal efektif struktur (mm).

4. Menghitung tahanan momen maksimum

$$R_{maks} = \rho_{maks} \times f_y \times \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times \rho_{maks} \times f_y}{0,85 \times f'_c} \right) \quad (2.20)$$

5. Kontrol $R_n > R_{maks}$

6. Menghitung rasio tulangan yang diperlukan

$$\rho = 0,85 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,353 \times R_n}{f'_c}} \right) \quad (2.21)$$

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

$$A_s = \rho \times b \times d \quad (2.22)$$

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

$$\frac{A_s}{b \times d} \times \frac{1,0}{f_y} \quad (2.23)$$

9. Menentukan jarak antar tulangan

$$S = \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d_t^2 \times b}{A_s} \quad (2.24)$$

Keterangan:

d_t = diameter tulangan (mm).

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

2.7.1.4 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya yang berkerja pada tendon gelagar prategang dalam setiap tahap pembebanan. Kehilangan tersebut terjadi akibat sistem penegangan maupun akibat pengaruh waktu. Kehilangan prategang dibagi menjadi 2, yaitu kehilangan prategang seketika yang disebabkan oleh perpindahan elastis dari beton, gesekan disepanjang kelengkungan tendon pada struktur pascatarik, dan slip pada angkur serta kehilangan prategang akibat pengaruh waktu yang disebabkan oleh perpindahan dari beton pada level baja akibat rangkai dan penyusutan beton dan baja. Berikut adalah estimasi kehilangan prategang awal yang dapat dilihat pada Tabel 2.34.

Tabel 2.34 Estimasi Nilai Kehilangan Prategang

Nilai Tipikal Kehilangan Prategang			
Kasus	I	II	III
Pelat	23% - 24%	21% - 23%	19% - 21%
Gelagar	32% - 35%	28% - 32%	25% - 28%

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021)

Keterangan:

Kasus I = Komponen cor di tempat dengan tendon pratarik pada kondisi atmosfer kering.

Kasus II = Komponen cor di tempat dengan tendon pratarik pada kondisi atmosfer basah.

Kasus III = Komponen pracetak dengan pascatarik.

Kehilangan gaya prategang langsung dapat diakibatkan oleh beberapa hal, antara lain:

1. Gesekan angkur

Kehilangan gaya akibat gesekan angkur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prestress akibat jacking:

$$P_o = 97\% \times P_j \quad (2.25)$$

2. Gesekan Kabel

Kehilangan gaya akibat gesekan kabel menurut RSNI T-12-2004 sebagai berikut:

$$P_x = P_j \times e^{-\mu(\alpha + \beta \times L_x)} \quad (2.26)$$

Keterangan :

e = bilangan natural,

μ = koefisien gesek,

β = bilangan *wobble*, dan

L_x = panjang bentang (mm).

Tabel 2.35 Koefisien Gesek Kelengkungan dan *Wobble*

Jenis Tendon	Koefisien <i>wobble</i> (K)	Koefisien kelengkungan (μ)
Tendon di-grout dalam pembungkus logam		
Tendon kawat	0,0033-0,0049	0,15-0,25
Batang kekuatan tinggi	0,0003-0,0020	0,08-0,30
<i>Strand</i> 7 kawat	0,0016-0,0066	0,15-0,25
Tendon tanpa letakan dilapisi semen perekat (<i>mastic</i>)		
Tendon kawat	0,0033-0,0066	0,15-0,25
<i>Strand</i> 7 kawat	0,0033-0,0066	0,15-0,25
Tendon yang dilumasi <i>pre-greased</i>		
Tendon kawat	0,0010-0,0066	0,05-0,15
<i>Strand</i> 7 kawat	0,0010-0,0066	0,05-0,15

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2004)

3. Pemendekkan Elastis

Tegangan baja pre-stress sebelum loss of prestress (di tengah bentang),

$$\sigma_{pi} = \frac{n_s \times P_{bs}}{A_t} \quad (2.27)$$

Keterangan :

A_t = Luas tampang tendon baja prestress (mm^2)

n_s = Jumlah total strands, dan

P_{bs} = Beban putus satu strands (MPa).

Kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik dengan memperhitungkan pengaruh berat sendiri,

$$\Delta\sigma_{pe'} = \frac{\sigma_{pi} \times n \times K_e}{1 + n \times K_e} \quad (2.28)$$

Keterangan:

n = Modulus rasio antara baja prategang dan girder

$$K_e = \frac{A_t}{A \times \left(\frac{e^2}{i^2} \right)} \quad (2.29)$$

Tegangan beton pada level bajanya oleh pengaruh gaya prategang,

$$\sigma_{p_t} = \frac{\Delta\sigma_{pe'}}{n} - \frac{M_{balok} \times e_s}{I_x} \quad (2.30)$$

Keterangan:

e_s = jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat gelagar (mm), dan

I_x = momen inersia penampang gelagar (mm^4).

Kehilangan tegangan baja oleh regangan elastik tanpa pengaruh berat sendiri,

$$\Delta\sigma_{pe} = \frac{1}{2} \times n \times \sigma_{p_t} \quad (2.31)$$

Loss of prestress akibat pemendekan elastis:

$$\Delta P_e = \Delta\sigma_{pe} \times A_t \quad (2.32)$$

4. Pengangkuran

Loss of prestress akibat pengangkuran,

$$\Delta P = 2 \times L_{max} \times \tan \omega \quad (2.33)$$

$$P'_{\max} = P_o - \frac{\Delta P}{2} \quad (2.34)$$

$$P_{\max} = P'_{\max} - \Delta P_e \quad (2.35)$$

5. Pengaruh Susut

Jika tidak dilakukan pengukuran atau pengujian khusus, nilai regangan susut rencana beton pada umur t (hari) untuk beton yang dirawat basah di lokasi pekerjaan dapat ditentukan berdasarkan Persamaan (2.36) berikut:

$$\epsilon_{cs,t} = \left(\frac{t}{35+t} \right) \epsilon_{cs,u} \quad (2.36)$$

Keterangan:

$\epsilon_{cs,t}$ = nilai regangan susut beton pada umur t hari, dan

$\epsilon_{cs,u}$ = nilai susut maksimum beton, yang besarnya bisa diambil sebagai:

$$\epsilon_{cs,u} = 780 \times 10^{-6} \lambda_{cs} \quad (2.37)$$

Nilai λ_{cs} ditentukan oleh kondisi campuran beton dan lingkungan pekerjaan:

$$\lambda_{cs} = K_h^s \times K_d^s \times K_s^s \times K_f^s \times K_b^s \times K_{ac}^s \quad (2.38)$$

Keterangan:

t = umur beton yang dirawat basah di lokasi pekerjaan, terhitung sejak 7 hari setelah pengecoran (hari),

K_h^s = faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat (%),

K_d^s = faktor pengaruh ketebalan komponen beton (cm),

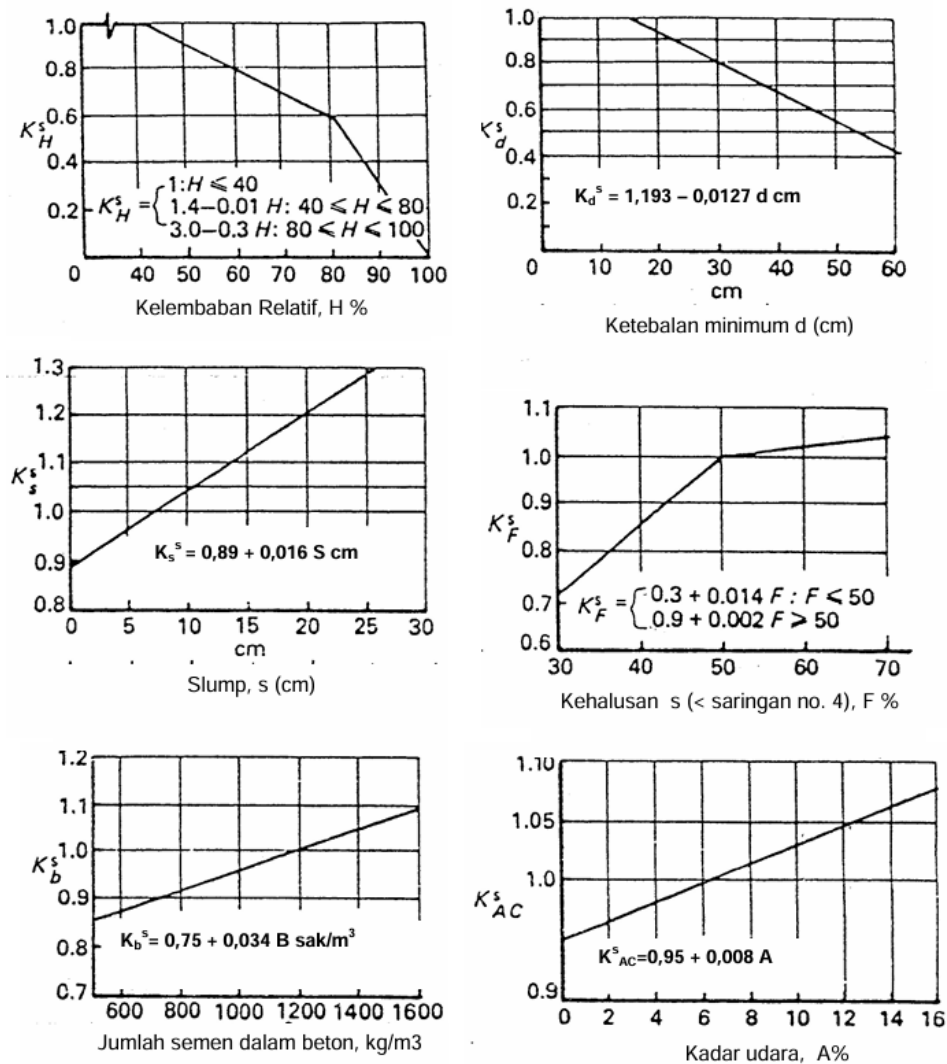
K_s^s = faktor pengaruh konsistensi (*slump*) adukan beton (cm),

K_f^s = faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton (%),

K_b^s = faktor pengaruh jumlah semen dalam beton (kg/m^3), dan

K_{ac}^s = faktor pengaruh kadar udara dalam beton (%).

Besaran faktor-faktor K_h^s , K_d^s , K_s^s , K_f^s , K_b^s , K_{ac}^s dapat diambil dari Gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Grafik Penentuan Faktor Susut

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2004)

Untuk komponen beton yang dirawat dengan cara penguapan (*steam cured*), maka nilai $\epsilon_{cs,t}$ ditentukan oleh Persamaan (2.36). Nilai t menyatakan umur beton yang dirawat dengan cara penguapan, terhitung sejak 1 - 3 hari setelah pengecoran dalam satuan hari.

Besar nilai kehilangan gaya prategang akibat susut didapatkan dengan Persamaan (2.39) berikut:

$$SH = A_t \times \epsilon_{cs,t} \times E_s \quad (2.39)$$

Keterangan:

A_t = luas tampang tendon baja prategang (mm²), dan

E_s = Modulus elastisitas baja prategang (MPa).

6. Pengaruh Rangkak

Rangkak merupakan regangan jangka panjang yang tergantung waktu pada suatu kondisi tegangan tetap dan akan mengakibatkan suatu tambahan regangan terhadap regangan elastis beton. Nilai rangkak bisa dihitung dalam perbandingannya terhadap regangan elastis melalui suatu koefisien rangkak $\varphi_{cc(t)}$ sebagai berikut:

$$\varepsilon_{cc,t} = \varphi_{cc(t)} \times \varepsilon_e \quad (2.40)$$

ε_e merupakan regangan elastis sesaat, yang diakibatkan oleh bekerjanya suatu tegangan tetap. Dalam hal koefisien rangkak $\varphi_{cc(t)}$, apabila tidak dilakukan pengukuran atau pengujian secara khusus dapat dihitung dengan Persamaan (2.41), (2.42), dan (2.43) berikut:

$$\varphi_{cc(t)} = \left(\frac{t^{0.6}}{10 + t^{0.6}} \right) C_u \quad (2.41)$$

$$C_u = 2,35 \times \gamma_{cc} \quad (2.42)$$

$$\gamma_{cc} = K_h^c \times K_d^c \times K_s^c \times K_f^c \times K_b^c \times K_{ac}^c \quad (2.43)$$

Keterangan:

t = waktu setelah pembebanan (hari),

C_u = koefisien rangkak maksimum

K_h^s = faktor pengaruh kelembaban relatif udara setempat (%),

K_d^s = faktor pengaruh ketebalan komponen beton (cm),

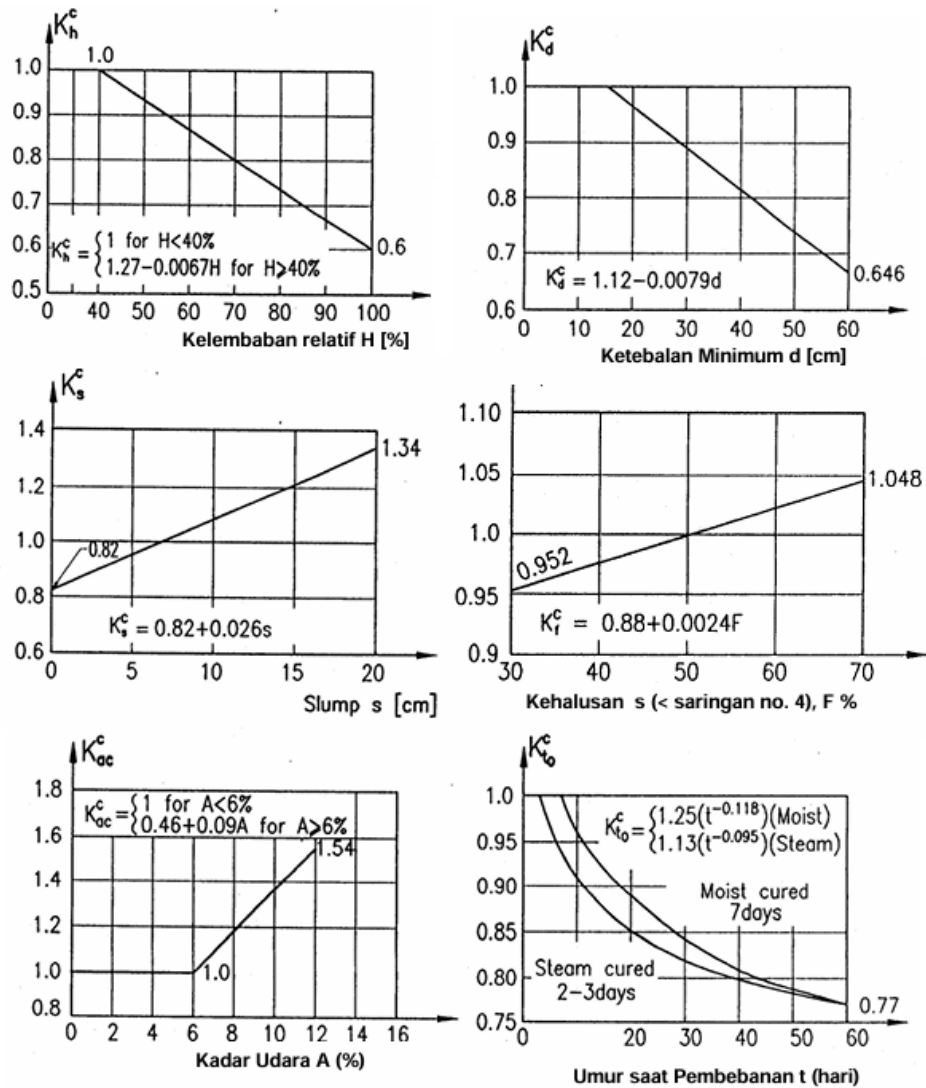
K_s^s = faktor pengaruh konsistensi (*slump*) adukan beton (cm),

K_f^s = faktor pengaruh kadar agregat halus dalam beton (%),

K_{ac}^s = faktor pengaruh kadar udara dalam beton (%), dan

K_{to}^s = faktor pengaruh umur beton saat dibebani (hari).

Besaran faktor – faktor K_h^c , K_d^c , K_s^c , K_f^c , K_{ac}^c , K_{to}^c dapat diambil dari Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2.12 Grafik Penentuan Faktor Rangkak

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2004)

Namun apabila tidak dilakukan suatu perhitungan rinci seperti yang dirumuskan dalam Persamaan 2.41 sampai Persamaan 2.43, atau jika dianggap memang tidak dibutuhkan suatu perhitungan rinci yang sebagaimana disebutkan di atas, maka dalam asumsi pada suatu kondisi yang standar, nilai koefisien rangkak maksimum C_u bisa diambil secara langsung dari Tabel 2.36 di bawah ini. Dalam hal ini, yang disebut sebagai suatu kondisi standar adalah:

- Kelembaban relatif udara setempat $H = 70\%$
- Ketebalan minimum komponen beton $d = 15\text{ cm}$
- Konsistensi (*slump*) adukan beton $s = 7,5\text{ cm}$

- Kadar agregat halus dalam beton F = 50 %
- Kadar udara dalam beton AC = 6 %.

Tabel 2.36 Koefisien Standar Rangkak Beton sebagai Tambahan Regangan Jangka Panjang

Kekuatan karakteristik f'_c (MPa)	Koefisien rangkak maksimum C_u
20	2,8
25	2,5
30	2,3
35	2,15
40-60	2,0

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2004)

Besar nilai kehilangan gaya prategang akibat rangkak didapatkan dengan Persamaan (2.44) berikut:

$$CR = A_t \times E_s \times \varphi_{cc}(t) \times \left(\frac{f_{pci}}{E_{balok}} \right) \quad (2.44)$$

Keterangan:

f_{pci} = Tegangan beton akibat momen berat sendiri yang bekerja setelah diberi gaya prategang, dan

E_{balok} = Modulus elastisitas beton saat transfer gaya prategang.

7. Pengaruh Relaksasi Baja

Relaksasi baja prategang harus diperhitungkan sebagai faktor yang mempengaruhi kehilangan gaya prategang, besar nilainya tergantung pada waktu. Jika tidak ada perhitungan yang lebih teliti, maka kehilangan tegangan dalam tendon σ_R akibat relaksasi baja prategang sebagai berikut:

$$RE = A_t \times c \times R_t \times (f_{pi} - \Delta f_{pi}) \quad (2.45)$$

$$f_{pi} = \frac{P_i}{A_t} \quad (2.46)$$

$$\Delta f_{pi} = \sigma_{CR} + \sigma_{SH} \quad (2.47)$$

$$\sigma_{SH} = \frac{SH}{A_t} \quad (2.48)$$

$$\sigma_{CR} = \frac{CR}{A_t} \quad (2.49)$$

Keterangan:

RE = Kehilangan gaya prategang akibat relaksasi baja (MPa),

A_t = Luas tampang tendon baja prategang (mm),

c = Relaksasi setelah 1000 jam pada 70% beban putus (UTS),

R_t = Faktor relaksasi rencana tendon,

f_{pi} = Tegangan baja prategang segera setelah transfer (MPa), dan

Δf_{pi} = Kehilangan tegangan pada baja prategang akibat susut dan rangkai beton (MPa).

Nilai dari relaksasi setelah 1000 jam pada 70% beban putus (UTS) berkisar antara 2,5% - 3,3%. Adapun nilai faktor relaksasi rencana tendon yang bergantung pada beberapa kondisi sebagai berikut:

Jika f_{pi} < 50% UTS, maka R_t = 0

Jika f_{pi} = 50% UTS, maka R_t = 1

Jika f_{pi} > 50% UTS, maka R_t = 2.

Berdasarkan pada kondisi yang menyebabkan kehilangan gaya prategang, nilai – nilai tersebut diakumulasikan untuk dilakukan kontrol terhadap asumsi awal.

Kehilangan prategang jangka panjang,

$$\Delta P = CR + SH + RE \quad (2.50)$$

Gaya efektif di tengah bentang balok,

$$P_{eff} = P_i - \Delta P \quad (2.51)$$

Kehilangan gaya prategang total,

$$\left(1 - \frac{P_{eff}}{P_j} \right) \times 100 \quad (2.52)$$

2.7.1.5 Tegangan Akibat Gaya Prategang

Tegangan yang diperhitungkan akibat gaya prategang diambil dalam beberapa kondisi struktur tersebut diantaranya:

1. Kondisi *stressing*

$$f_i = \pm \frac{P_i}{A_g} \pm \frac{P_i \times e}{S} \pm \frac{M_{\text{balok}}}{S} \quad (2.53)$$

$$S = \frac{I_g}{y_i} \text{ atau } S = \frac{I_g}{y_b} \quad (2.54)$$

Keterangan:

f_i = tegangan pada saat stressing (MPa),

P_i = gaya prategang pada kondisi awal (kN),

A_g = luas penampang gelagar (mm^2),

M_{balok} = momen akibat berat sendiri gelagar (kNm),

S = modulus penampang gelagar (mm^3),

I_g = inersia penampang gelagar (mm^4),

e = eksentrisitas gelagar (mm),

y_t = titik berat penampang terhadap sisi atas gelagar (mm), dan

y_b = titik berat penampang terhadap sisi bawah gelagar (mm).

2. Kondisi saat Pelaksanaan

$$f_{\text{cons}} = \pm \frac{P_i}{A_g} \pm \frac{P_i \times e}{S} \pm \frac{M_s}{S} \quad (2.55)$$

Keterangan:

f_{cons} = tegangan pada saat pelaksanaan (MPa),

M_s = momen akibat berat sendiri gelagar, pelat lantai, diafragma (kNm).

3. Kondisi Layan

$$f_s = \pm \frac{P_e}{A_g} \pm \frac{P_e \times e}{S} \pm \frac{M_s}{S} \pm \frac{M_A + M_{LL}}{S_c} \quad (2.56)$$

$$S_c = \frac{I_c}{y_{tc}} \text{ atau } S_c = \frac{I_c}{y_{bc}} \quad (2.57)$$

Keterangan:

f_s = tegangan kondisi awal layan (MPa),

I_c = inersia penampang komposit (mm^4),

S_c = modulus penampang gelagar (mm^3),

M_A = momen akibat beban mati tambahan (kNm),

M_{LL} = momen akibat beban mati tambahan (kNm),

- M_s = momen akibat berat sendiri gelagar, pelat lantai, diafragma (kNm),
 P_e = gaya prategang kondisi akhir (kN),
 y_{bc} = titik berat penampang komposit terhadap sisi bawah (mm⁴), dan
 y_{tc} = titik berat penampang komposit terhadap sisi atas (mm⁴).

2.7.1.6 Lendutan

Kontrol lendutan dilakukan pada saat transfer dan pada kondisi layan. Pada saat transfer, beban berat sendiri yang bekerja terjadi lendutan ke atas yang disebabkan oleh tekanan tendon ke atas pada waktu penarikan kabel prategang. Lendutan yang terjadi pada kondisi layan diakibatkan oleh beban layan yang terjadi pada struktur. Lendutan yang terjadi tidak boleh melebihi nilai lendutan maksimum. Menurut Badan Standarisasi Nasional (2016a), nilai lendutan maksimum yang diizinkan adalah $L/300$, dimana L adalah panjang bentang balok.

Lendutan terhadap beban merata,

$$\delta = \frac{5 \times Q \times L^4}{384 \times E_c \times I_x} \quad (2.58)$$

Lendutan terhadap beban terpusat,

$$\delta = \frac{Q \times L^3}{48 \times E_c \times I_x} \quad (2.59)$$

Keterangan:

- Q = beban merata (kN/m),
 P = beban terpusat (kN),
 E_c = modulus elastis beton (MPa),
 I_x = momen inersia (mm⁴), dan
 L = panjang bentang jembatan (m).

2.7.1.7 Kapasitas Momen Ultimit

Tinjauan ultimit yang dihitung hanya kapasitas momen ultimit positif karena tendon melewati bawah garis netral. Kuat leleh baja prategang (f_{ps}) pada keadaan ultimit, ditetapkan:

$$L/H \leq 35 \quad (2.60)$$

$$f_{ps} = f_{eff} + 150 + \frac{f'_c}{100 \times \rho_p} \quad (2.61)$$

$$f_{ps} < f_{eff} + 240 \text{ MPa dan } < 0,8 f_{py} \quad (2.62)$$

Momen nominal,

$$M_n = A_{ps} \times f_{ps} \times (d - a/2) \quad (2.63)$$

Keterangan:

A_{ps} = luas penampang tendon baja prategang (mm^2)

f_{ps} = kuat leleh baja prategang (MPa)

d = tinggi (mm), dan

a = luas (mm^2).

2.7.1.8 Kapasitas Gaya Geser

Kapasitas gaya geser adalah batas kekuatan maksimum yang dapat ditahan oleh elemen struktur ketika diberi beban geser sebelum mengalami kegagalan. Penentuan kapasitas ini krusial dalam desain struktur untuk menjaga keamanan dan kestabilan. Gaya geser timbul dari beban horizontal atau miring terhadap balok. Menurut Badan Standarisasi Nasional (2019), kapasitas gaya geser beton diambil dari nilai terkecil yang didapatkan dari Persamaan (2.64), (2.65), dan (2.66) berikut:

$$V_c = \left(0,05 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} + 4,8 \times \frac{V_u d_p}{M_u} \right) \times b_w \times d \quad (2.64)$$

$$V_c = \left(0,05 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} + 4,8 \right) \times b_w \times d \quad (2.65)$$

$$V_c = 0,48 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \quad (2.66)$$

Keterangan:

V_c = kapasitas geser penampang (kN),

λ = faktor prategang (SNI 2847:2019),

f'_c = kuat tekan beton girder (MPa),

V_u = gaya geser ultimit (kN),

d_p = kedalaman tulangan prategang (m),

M_u = momen ultimit (kNm),

b_w = lebar penampang (m), dan

d = kedalaman rata-rata strands dan tulangan non-prategang (m).

2.7.2 Penilaian Kapasitas Struktur Jembatan

Evaluasi kapasitas struktur jembatan dilakukan untuk menentukan kapasitas struktur eksisting sebagai dasar perhitungan *Bridge Load Rating* (Agung Hari Wibowo & Chandra Kurniawan, 2024). Penilaian yang dilakukan adalah penilaian beban desain sesuai dengan Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor: 03/SE/M/2016 Tentang Pedoman Penentuan *Bridge Load Rating* Untuk Jembatan Eksisting (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2016).

2.7.2.1 Persamaan Umum

Persamaan umum yang digunakan dalam menentukan penilaian beban setiap komponen dari sambungan yang bekerja gaya tunggal (gaya aksial, lentur, atau geser).

$$RF = \frac{C - (\gamma_{DC})(DC) - (\gamma_{DW})(DW) \pm (\gamma_P)(P)}{(\gamma_L)(LL + IM)} \quad (2.67)$$

Untuk kondisi kekuatan batas:

$$C = \phi_c \times \phi_s \times \phi \times R_n \quad (2.68)$$

dengan batas terendah yang berlaku adalah sebagai berikut:

$$\phi_c \phi_s \geq 0,85 \quad (2.69)$$

Untuk keadaan batas layan:

$$C = f_R \quad (2.70)$$

Keterangan:

RF = faktor penilaian (*Rating Factor*)

C = kapasitas

f_R = tegangan yang diizinkan ditentukan dalam LRFD

R_n = ketahanan nominal elemen (saat di inspeksi)

DC = beban mati karena komponen struktural dan tambahannya

DW = beban mati akibat lapisan permukaan dan utilitas yang digunakan

P = beban permanen selain beban mati

LL = beban hidup

IM = beban dinamis

γ_{DC} = faktor beban LRFD untuk komponen struktural dan tambahannya

- γ_{DW} = faktor beban LRFD untuk lapisan permukaan dan utilitas yang digunakan
 γ_P = faktor beban LRFD untuk beban permanen lainnya selain dari beban mati
 = 1.0
 γ_{LL} = faktor evaluasi beban hidup
 ϕ_c = faktor kondisi
 ϕ_s = faktor sistem
 ϕ = faktor tahanan LRFD

Penilaian beban dapat diaplikasikan pada setiap kondisi batas dan pengaruh beban dengan nilai terendah yang menentukan faktor penilaian beban. Kondisi batas dan faktor beban untuk penilaian beban terdapat pada Tabel 2.37.

Elemen struktur yang terdapat kombinasi beban harus dinilai dengan mempertimbangkan interaksi beban. (contoh: interaksi gaya aksial dengan momen lentur atau interaksi gaya geser dan momen lentur).

2.7.2.2 Faktor Beban

Penilaian beban harus mempertimbangkan semua beban permanen. Beban permanen termasuk beban mati dan efek dari proses konstruksi. Faktor beban untuk beban permanen ditunjukkan pada Tabel 2.37 (berdasarkan AASHTO).

Tabel 2.37 Batas Kekuatan dan Faktor Beban untuk Penilaian Jembatan

Tipe Jembatan	Kondisi Batas	Beban Mati DC	Beban Mati DW	LL (<i>Live Load/Beban Hidup</i>)	
				Beban Desain	Beban Khusus
Struktur baja	Kekuatan I	1,25	1,50	1,80	-
	Kekuatan II	1,25	1,50	-	Tabel 2.38
	Service II	1,00	1,00	1,00	1,00
	Fatigue	0,00	0,00	0,75	-
Beton Bertulang	Kekuatan I	1,25	1,50	1,80	-
	Kekuatan II	1,25	1,50	-	Tabel 2.38
	Service I	1,00	1,00	-	1,00

Tipe Jembatan	Kondisi Batas	Beban Mati DC	Beban Mati DW	LL (<i>Live Load/Beban Hidup</i>)	
				Beban Desain	Beban Khusus
Beton Prategang	Kekuatan I	1,25	1,50	1,80	-
	Kekuatan II	1,25	1,50	-	Tabel 2.38
	Service III	1,00	1,00	1,00	-
	Service I	1,00	1,00	-	1,00
Kayu	Kekuatan I	1,25	1,50	1,80	-
	Kekuatan II	1,25	1,50	-	Tabel 2.38

Faktor beban hidup yang diberikan pada Tabel 2.38 untuk mengevaluasi izin untuk kendaraan khusus yang diberikan atau efek beban maksimum dari semua kendaraan khusus yang diperbolehkan untuk beroperasi secara tunggal (berdasarkan AASHTO). Faktor beban jalur terdistribusi harus digunakan untuk mengantisipasi kemungkinan adanya kendaraan berat lainnya saat beban khusus melintasi jembatan.

Tabel 2.38 Faktor Beban Khusus

Tipe Izin	Frekuensi	Kondisi Pembebanan	Faktor Distribusi DF	LHR (Satu Arah)	Faktor Beban Dengan Beban Izin	
					≤ 45 ton	≥ 65 ton
Rutin dan tahunan	Penyeberangan yang tidak terbatas	Lalu lintas gabungan (kendaraan lain berada di atas jembatan)	Dua lajur atau lebih	>5000	1,80	1,30
				=1000	1,60	1,20
				<100	1,40	1,10

Tipe Izin	Frekuensi	Kondisi Pembebanan	Faktor Distribusi DF	LHR (Satu Arah)	Faktor Beban Dengan Beban Izin	
					≤ 45 ton	≥ 65 ton
Penyeberangan terbatas yang khusus	Perjalanan tunggal	Hanya ada kendaraan khusus di atas jembatan	Satu lajur	N/A	1,15	
				>5000	1,50	
				=1000	1,40	
	Perjalanan tunggal	Lalu lintas gabungan (kendaraan lain berada di atas jembatan)	Satu lajur	<100	1,35	
				>5000	1,85	
				=1000	1,75	
	Multiple-Trips (kurang dari 100 perjalanan)	Berbagai kendaraan berada di atas jembatan	Satu lajur	<100	1,55	
				>5000	1,85	
				=1000	1,75	

Keterangan:

- DF = faktor distribusi LRFD
- Untuk izin rutin, berat kendaraan antara 45 ton dan 65 ton, dilakukan interpolasi berdasarkan berat dan rata-rata jumlah kendaraan. Gunakan hanya berat gandar pada jembatan.

2.7.2.3 Kekuatan Material dan Tegangan yang Diizinkan

1. Baja Tulangan

Kuat tarik baja tulangan yang tidak diketahui dengan tepat dapat menggunakan Tabel 2.39 sebagai nilai kekuatan dari baja tulangan yang

diperkirakan dengan mempertimbangan tahun pembuatannya (berdasarkan BMS 1993). Dalam prakteknya, kekuatan baja harus diperoleh melalui pengujian untuk memastikan sifat mekanik yang lebih akurat.

Tabel 2.39 Kuat Tarik Baja Tulangan Berdasarkan Tahun Pembangunan

Tahun Pembangunan Jembatan	Tegangan Leleh Baja Tulangan (MPa)
Sebelum 1970	210
Setelah 1970	230

2. Beton

Kuat tekan beton (f'_c) yang tidak diketahui dan beton dalam kondisi baik, nilai f'_c untuk bangunan atas, komponen beton bertulang dan beton pratekan dapat diambil nilai dari Tabel 2.40 dengan mempertimbangan tahun pembuatannya (berdasarkan BMS 1993).

Tabel 2.40 Kuat Tekan Minimum Beton Berdasarkan Tahun
Pembangunannya

Tahun Pembangunan Jembatan	Beton Bertulang	Beton Pratekan
	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan (MPa)
Sebelum 1970	20	Tidak ada
Sesudah 1970	22	35

Untuk hasil yang lebih akurat dapat dilakukan pengujian mutu beton dengan menggunakan metode pengujian yang tidak merusak (*non-destructive test*). Kuat tekan beton juga dapat diperoleh berdasarkan hasil uji bor inti, dengan diameter minimum 75 mm. Uji bor inti tidak boleh dilakukan pada komponen beton pratekan kecuali gambar tersedia dan lokasi kabel pratekan dapat ditentukan.

3. Baja Prategang

Jika kekuatan tarik baja prategang tidak diketahui, maka dapat menggunakan nilai pada Tabel 2.41 (berdasarkan BMS).

Tabel 2.41 Kuat Tarik Baja Prategang

Tahun Pembangunan	Tensile Strength, f_{pu} (MPa)
Sebelum 1970	Tidak ada
Sesudah 1970	1725

Pada saat menilai beban khusus pada kondisi layan, tegangan yang terjadi pada tulangan dan/atau kabel/baja prategang yang paling dekat serat tegangan ekstrim tidak boleh melebihi 0,9 dari tegangan leleh. Tegangan leleh untuk baja prategang, nilai f_{py} dapat dilihat pada Tabel 2.42 (berdasarkan AASHTO).

Tabel 2.42 Tegangan Leleh dari Baja Prategang

Tipe Tendon	Tegangan Leleh, f_{py}
<i>Low-Relaxation Strand</i>	$0,9 f_{pu}$
<i>Stress-Relieved Strand and Type 1 High-Strength Bar</i>	$0,85 f_{pu}$
<i>Type 2 High-Strength Bar</i>	$0,8 f_{pu}$

4. Baja Struktur

Untuk baja struktur yang tidak diketahui mutu dan sifat – sifat mekanisnya dapat digunakan Tabel 2.43 sebagai nilai mutu baja (berdasarkan BMS).

Tabel 2.43 Karakteristik Struktur Baja Berdasarkan Tahun Pembangunan

Tahun Konstruksi	Tegangan Leleh Minimum, f_y (MPa)	Tegangan Tarik Ultimit, f_u (MPa)
Sebelum 1970	230	340
Sesudah 1970	250	360

2.7.2.4 Faktor Kondisi

Faktor kondisi digunakan untuk memperhitungkan peningkatan ketidakpastian daya layan akibat adanya kerusakan pada komponen struktur dan kemungkinan peningkatan kerusakan di masa mendatang. Tabel 2.44 menunjukkan

faktor kondisi yang mengacu pada nilai kondisi struktur jembatan berdasarkan BMS.

Tabel 2.44 Faktor Kondisi (ϕ_c)

Nilai Kondisi Bangunan Atas	Deskripsi Kondisi	ϕ_c	
		Bangunan Atas	Lantai
0	Jembatan dalam keadaan baru tanpa kerusakan cukup jelas. Elemen jembatan berada dalam kondisi baik.	1,00	1,00
1	Kerusakan sangat sedikit (dapat diperbaiki dengan pemeliharaan rutin tidak berdampak pada keamanan atau fungsi jembatan).	1,00	1,00
2	Kerusakan yang memerlukan pemantauan atau pemeliharaan di masa yang akan datang, memberikan tanda-tanda diperlukan penggantian.	0,90	1,00
3	Kerusakan yang membutuhkan perhatian (kemungkinan akan menjadi serius dalam 1 bulan).	0,70	0,70
4	Kondisi kritis, kerusakan yang membutuhkan tindakan segera.	0,30	0,30
5	Runtuh dan tidak berfungsi lagi.	0	0

2.7.2.5 Faktor Sistem

Faktor sistem diterapkan pada tahanan nominal untuk menggambarkan tingkat pengurangan dari sistem bangunan atas yang lengkap. Jembatan dengan faktor reduksi yang kecil mempunyai faktor kapasitas komponen yang berkurang, sehingga memiliki penilaian beban yang lebih rendah. Faktor sistem pada Tabel

2.45 Faktor Sistem (ϕ_s) untuk Struktur Baja Tabel 2.45 untuk struktur baja dan Tabel 2.46 untuk struktur beton bertulang yang keduanya berdasarkan AASHTO.

Tabel 2.45 Faktor Sistem (ϕ_s) untuk Struktur Baja

Elemen	ϕ_s
Lentur	0,9
Geser	0,9
Aksial tekan	0,85
Aksial tarik terhadap kuat tarik leleh	0,9
Aksial tarik terhadap kuat tarik fraktur	0,75
Perhubung geser	0,75
Sambungan baut	0,75
Hubungan las tumpul penertasi penuh	0,9
Hubungan las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75

Tabel 2.46 Faktor Sistem (ϕ_s) untuk Struktur Beton Bertulang

Elemen	ϕ_s
Lentur	0,8
Geser dan torsi	0,7
Aksial tekan dengan tulangan spiral	0,7
Aksial tekan dengan sengkang biasa	0,65
Tumpuan beton	0,7

2.7.2.6 Penilaian Beban Desain

Jika faktor penilaian (RF) lebih besar atau sama dengan 1, maka jembatan tersebut tidak membutuhkan tindakan penanganan (tidak perlu pembatasan beban atau perbaikan), atau jika diperlukan, dapat menghitung penilaian untuk beban khusus yang akan melintas jembatan. Jika RF dari hasil penilaian beban desain lebih kecil dari 1 (satu) maka perlu dilakukan penanganan, baik itu pembatasan beban, perbaikan, perkuatan, atau rehabilitasi pada struktur jembatan atau dapat dilakukan evaluasi dengan tingkatan yang lebih tinggi, dengan pemeriksaan khusus yang menggunakan uji tidak merusak dan analisis yang lebih detail.