BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Jembatan

Jembatan merupakan sebuah struktur bangunan atau konstruksi yang dibangun untuk menjadi penghubung antara wilayah yang terpisah oleh sungai, lembah, danau, laut, atau elemen lainnya. Fungsinya adalah untuk memungkinkan lalu lintas kendaraan, pejalan kaki, dan barang melewati rintangan alami tersebut. Jembatan biasanya terdiri dari kolom atau tiang penyangga (pilar), balok atau gantungan (girder), dan lantai jalan yang menyediakan jalur untuk berjalan atau berlalu lintas. Bahan-bahan yang digunakan dalam konstruksi jembatan bervariasi, termasuk beton, baja, kayu, batu, atau kombinasi dari beberapa bahan tersebut, tergantung pada ukuran, desain, dan lokasi jembatan. Jembatan memiliki peran penting dalam mendukung transportasi dan mobilitas manusia serta distribusi barang dan jasa di berbagai daerah (Struktur, Jembatan, and Kab 2023).

Jembatan beton adalah bangunan jembatan yang mayoritas strukturnya menggunakan material beton. Jembatan dibangun dengan umur rencana 100 tahun untuk jembatan besar, minimum jembatan dapat digunakan 50 tahun. Ini berarti, disamping kekuatan dan kemampuan untuk melayani beban lalu lintas, serta pemeliharaan jembatan yang baik, perlu diperhatikan juga bagaiamana perencanaan jembatan yang seusia dengan standar yang telah ditetapkan. Secara umum struktur jembatan dibagi menjadi 2, yaitu struktur atas dan struktur bawah (Kasus, Tj, and Kec 2018).

Dalam merencanakan jembatan dan merancang jembatan, penting untuk memperhatikan kebutuhan transportasi, persyaratan teknis, serta aspek estetika arsitektural yang mencakup: aspek lalu lintas, aspek teknik, dan aspek keindahan (Christin, Supriyadi, and Sangadji 2022).

2.2. Klasifikasi Jembatan

Klasifikasi jembatan menurut Direktorat Jendral Bina Marga kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia yaitu:

1. Jembatan Permanen Kelas A

   Dirancang sebagai jembatan permanen dengan lebar trotoar jembatan 9 m (badan jalan 7 m dan lebar trotoar 1 m (kanan-kiri), yang menggunakan beban lalu lintas BM – 100 (100% sesuai dengan pembebanan di Spesifikasi Pembebanan untuk Jembatan dan Jalan Raya No 12/1970 (Ii and Teori 1988).

2. Jembatan Permanen Kelas B

   Dirancang sebagai jembatan permanen dengan lebar total jembatan 7 m (badan jalan 6 m dan lebar trotoar 0,5 m (kanan-kiri), yang menggunakan beban lalu lintas BM – 100 (100% sesuai dengan pembebanan di Spesifikasi Pembebanan untuk Jembatan dan Jalan Raya No 12/1970 (Ii and Teori 1988).

3. Jembatan Permanen Kelas C

   Dirancang sebagai jembatan permanen dengan lebar total jembatan 4,5 m (badan jalan 3,5 m dan lebar trotoar 0.5 m (kanan-kiri), yang menggunakan beban lalu lintas BM – 100 (100% sesuai dengan pembebanan di Spesifikasi Pembebanan untuk Jembatan dan Jalan Raya No 12/1970 (Ii and Teori 1988).

2.3. Komponen Struktur Jembatan

Secara umum, struktur jembatan terbagi menjadi 2 bagian utama yaitu (Sumantri 2017):

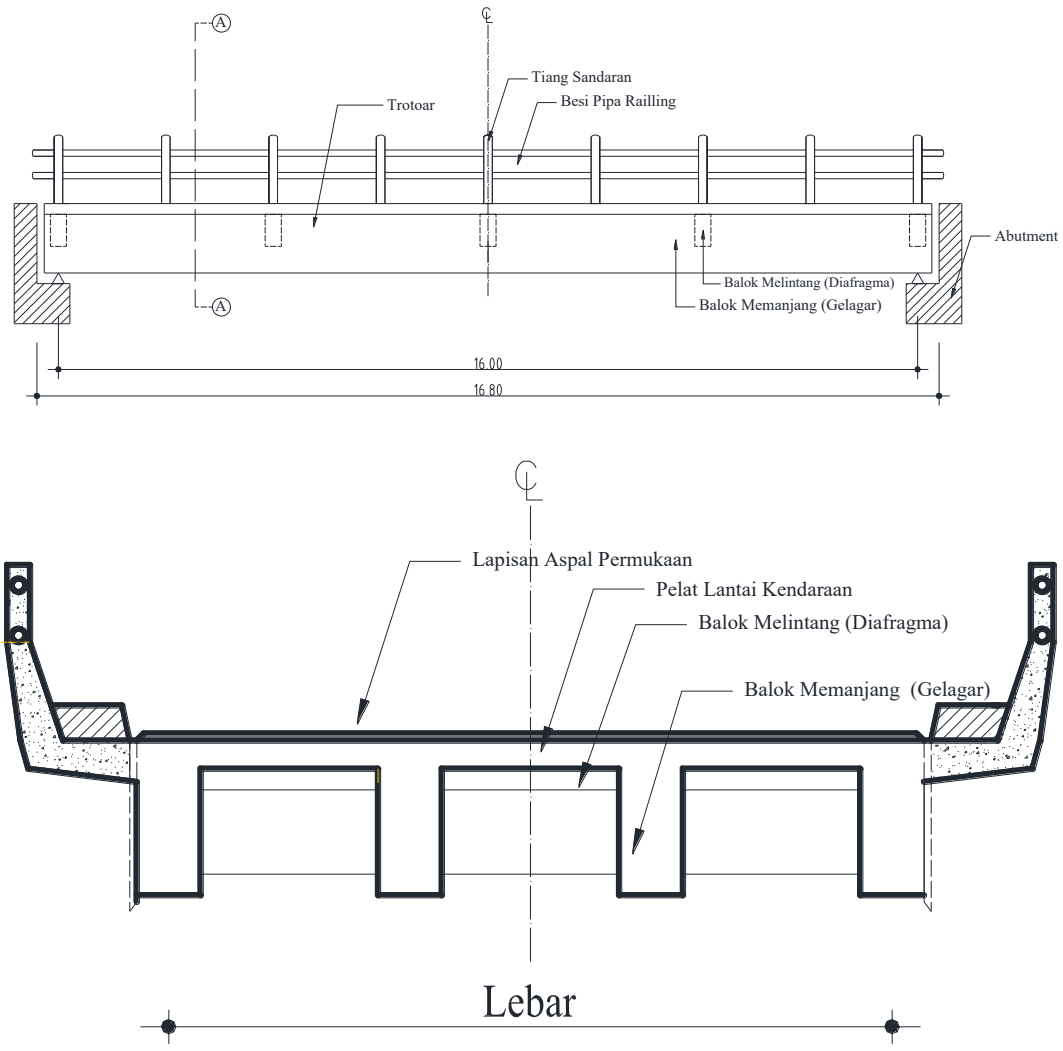
1. Struktur Bagian Atas

   Struktur atas jembatan meliputi:

   a. Struktur utama, yaitu bagian jembatan yang memikul seluruh beban pada jembatan untuk kemudian menyalurkan ke sturktur bawah. Struktur utama jembatan dapat terbuat dari beton bertulang (*reinforced concrete*), beton prategang (*pre-stress concrete*), dan baja atau kayu.

   b. Pelat lantai kendaraan (*slab*), direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat memikul beban kendaraan secara langsung. Bentuk *slab* dapat beruba: *solid slab, voided slab* dan *covered slab*.

c. Diafragma, berfungsi untuk memperkuat sistem penahan, yaitu untuk menahan beban horizontal dan juga untuk menghindari terjadinya tekuk pada gelagar memanjang
d. Perletakan, merupakan tumpuan bagi struktur utama untuk menyalurkan beban ke struktur bawah.
e. Pada struktur atas, terdapat komponen pelengkap yang terdiri dari: trotoar, tiang sandaran (*post guard fence*), pipa/balok sandaran (*railing*), *curb* yaitu bagian terluar dari trotoar yang terletak dekat lantai kendaraan dan berfungsi untuk menahan roda/ban, lapisan permukaan (*wearing surface*). Dapat dilihat pada Gambar 2.1.

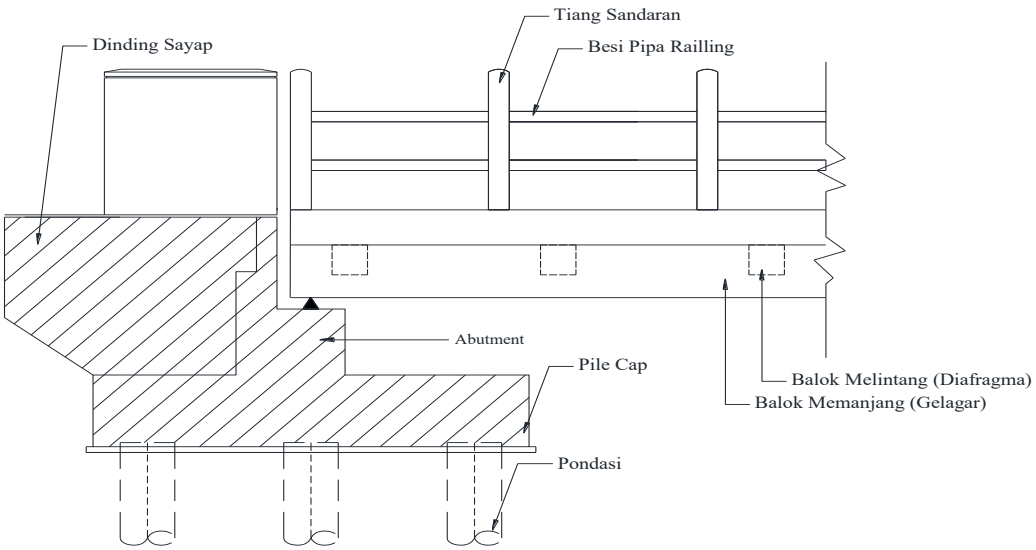


Gambar 2. 1 Tampak Samping dan Potongan Melintang Jembatan (Pot. A-A)

2. Struktur Bagian Bawah

   Struktur bawah jembatan meliputi:

   a. *Abutment*, terletak pada pangkal jembatan. Berfungsi untuk memikul semua beban yang bekerja pada bangunan atas dasar dengan aman sekaligus sebagai beban bangunan penahan tanah serta menerima beban dan diteruskan ke pondasi. Dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 *Abutment*

   b. Pondasi, berfungsi menyalurkan beban-beban yang berpusat diatasnya ke tanah sedemikian rupa sehinngga dapat memikul semua beban yang ada. Dapat dilihat pada 2.3.



Gambar 2. 3 Jembatan Beton Bertulang

2.4. Pembebanan Pada Jembatan

Dalam merencanakan suatu struktur hal yang paling menentukan adalah pembebanan yang akan didukung konstruksi. Begitu juga halnya dengan perencanaan konstruksi jembatan, dimana pembebanan perencanaan jembatan dan jalan raya merupakan dasar dalam menentukan beban-beban dan gaya-gaya untuk perhitungan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap bagian jembatan jalan raya. Sebagai mana yang tercantum dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 1725:2016).

Pembebanan yang digunakan dalam perencanaan Jembatan Beton Bertulang Kota Pariaman mengacu pada aturan terbaru SNI 1725 (2016) tentang pembebanan jembatan. Dalam standar ini ditetapkan persyaratan minimum untuk pembebanan dilengkapi dengan batasan penggunaan pada masing-masing beban, faktor beban dan kombinasi pembebanan yang digunakan dalam merencanakan jembatan. Standar ini juga memberikan faktor beban minimum yang diperlukan menentukan besarnya beban-beban rencana selama masa konstruksi (SNI 1725:2016).

2.4.1. Beban Primer

Beban primer merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Beban primer terdiri dari beban tetap (mati) dan beban hidup (beban lalu lintas).

1. Beban Tetap (Mati)

Secara umum beban permanen merupakan beban yang kondisinya akan tetap pada suatu konstruksi dan nilainya tidak akan berubah. Dalam menentukan berat bangunan digunakan persamaan massa dikalikan dengan percepatan gravitasi (g). Dimana massa dari bagian-bagian bangunan dihitung berdasarkan berat jenis dan dimensi bahan yang digunakan. SNI menetapkan nilai percepatan gravitasi sebesar 9,81 m/detik^2.

Adapun nilai berat isi dan kerapatan massa untuk masing-masing bahan terdapat pada SNI 1725:2016 halaman 13. Berat isi untuk beban mati dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Berat Isi Untuk Beban Mati

NO	Bahan	Berat Isi (KN/m^3).	Kerapatan Massa (kg/m^3).
1	Lapisan permukaan ber aspal (*Bituminous wearing surfaces*)	22,0	2245

Tabel 2.1 Berat Isi Untuk Beban Mati (Lanjutan)

NO	Bahan	Berat Isi (KN/m^3).	Kerapatan Massa (kg/m^3).
2	Besi tuang (*Cast iron*)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (*Compacted sand, silt or clay*)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (*Rolled gravel, macadam or ballast*)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (*Asphalt concrate*)	22,0	2245
6	Beton ringan (*Low density*)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'c < 35$ Mpa $35 < f'c$	22,0-25,0 22 + 0,022 f'c	2320 2240 + 2,29 $f'c$
	Baja (*Steel*)	78,5	7850
	Kayu (*Wood*)	7,8	800
	Kayu Keras (*Hard wood*)	11,0	1125

Sumber: SNI 1725:2016

a. Berat Sendiri (MS)

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailler yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat pada Gambar 2.2. Berat dari tiap-tiap gandar disebar menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan (Sumber SNI 1725 : 2016, halaman 41).

Adapun faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dapat dilihat pada Tabel 2.2 (Sumber SNI 1725 : 2016, halaman 14).

Tabel 2. 2 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri

Tipe Beban	Faktor Beban (γ MS)			
	Keadaan Batas Layan (γ^{s} MS)		Keadaan Batas Layan (γ^{U} MS)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber: SNI 1725:2016

b. Berat Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Pada jembatan ini yang menjadi beban mati tambahan yaitu beban aspal dan trotoar.

Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban mati tambahan dapat dilihat pada Tabel 2.3 (berdasrkan SNI 1725 : 2016, halaman 14).

Tabel 2. 3 Faktor Beban Untuk Bebaan Mati Tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban (γ MA)			
	Keadaan Batas Layan (γ^{s} MA)		Keadaan Batas Ultimit (γ^{U} MA)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00[1]	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan(1) : Faktor beban layanan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

Sumber: SNI 1725:2016

2. Beban Lalu Lintas (Hidup)

Terdapat dua jenis beban lalu lintas yang digunakan dalam perencanaan jembatan, yaitu beban lajur "D" dan beban truk "T". Beban lajur "D" merupakan beban yang bekerja di sepanjang jalur kendaraan, seolah dibebani oleh iring-iring kendaraan kecil yang cukup padat. Beban truk "T" Adalah beban satu kendaraan dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi. Kedua beban tersebut tidak boleh dikombinasikan dalam proses analisis.

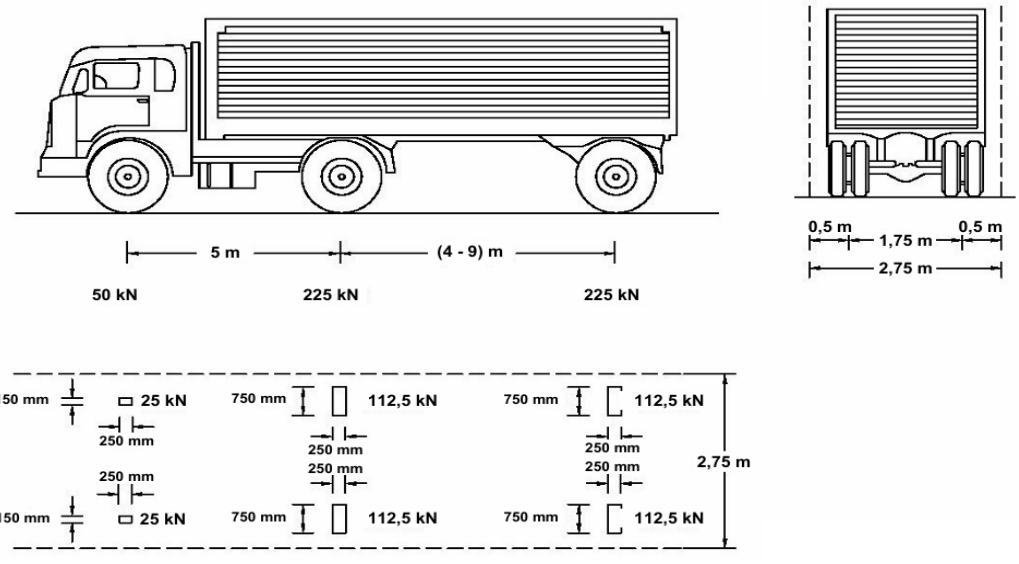
a. Berat Truk "T" (TT)

Pembebanan truk "T" terdiri atas kendaraan truk semi-trailler yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat pada Gambar 2.4. Berat dari tiap-tiap gandar disebarkan menjadi 2 beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 sampai dengan 9,0 m, untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan, dapat dilihat pada Tabel 2.4. Sesuai dengan aturan SNI 1725:2016, halaman 41.

Tabel 2. 4 Faktor Beban Untuk Beban Truk "T"

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan ($\gamma^{s}\pi$)	Keadaan Batas Ultimit ($\gamma^{s}\pi$)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016



Gambar 2. 4 Pembebanan Truk "T" (500 kN)
Sumber: SNI 1725:2016

Untuk pembebanan truk "T", FBD diambil 30%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada diatas permukaan tanah. Untuk bagian bangunan bawah dan fondasi yang berada di bawah garis permukaan, nilai FBD harus diambil sebagai peralihan linier dari nilai pada garis permukaan tanah sampai nol pada kedalaman 2 m. (SNI 1725:2016, halaman 45)

Untuk pembebanan truk dibagi menjadi:

Roda depan:

$$P_{TT} = (1 + 0{,}30) \text{ x } 25 \text{ kN} \quad (2.1)$$

Roda tengah:

$$P_{TT} = (1 + 0{,}30) \text{ x } 112{,}5 \text{ kN} \quad (2.2)$$

Roda belakang:

$$P_{TT} = (1 + 0{,}30) \text{ x } 112{,}5 \text{ kN} \quad (2.3)$$

b. Beban Pejalan Kaki (TP)

Suatu komponen jembatan yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan (SNI 1725:2016, halaman 46). Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyebrangan yang langsung memikul beban pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal 5 kPa. Berikut faktor beban akibat pembebanan untuk pejalan kaki dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Faktor beban akibat pembebanan untuk pejalan kaki

Jangka Waktu	Faktor Beban	
	$K_{S;;TP;}$	$K_{U;;TP;}$
Transien	1	1,8

Sumber : Standar Pembebanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005, hal 24)

c. Beban Lajur "D" (TD)

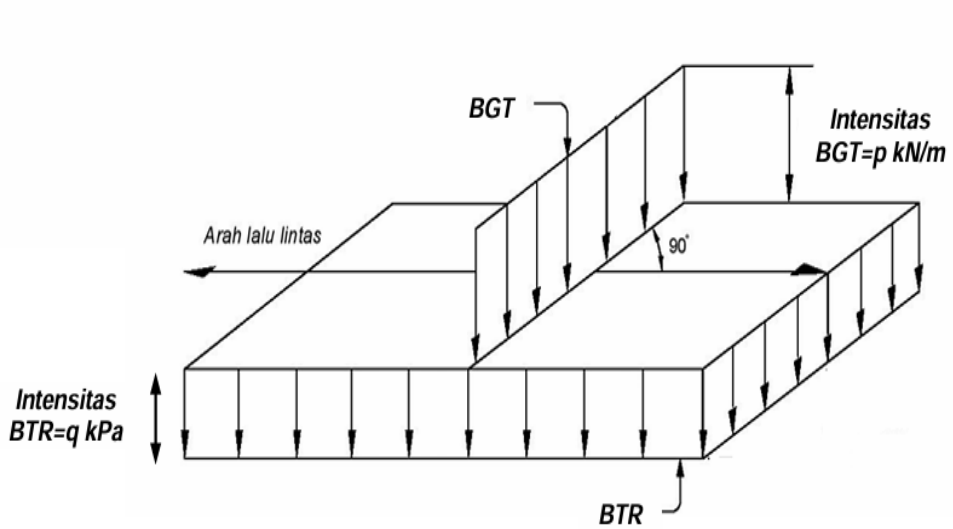
Beban lajur "D" terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digunakan dengan beban garis (BGT), seperti terlihat dalam Gambar 2.5. Adapun faktor beban yang digunakan untuk beban lajur "D" seperti Tabel 2.6 sesuai dengan aturan (SNI 1725:2016, halaman 39)

Tabel 2. 6 Faktor Beban Untuk Beban Lajur "D"

Tipe Beban	**Jembatan**	**Faktor Beban**	
		Keadaan Batas Layan (γ^{s} TD)	**Keadaan Batas Ultimit (γ^{U} TD)**
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725:2016

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kP_a dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut (SNI 1725:2016, halaman 39).



Gambar 2. 5 Beban Lajur "D"
Sumber: SNI 1725:2016

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9{,}0 \text{ kP} \qquad (2.4)$$

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m} : q = 9{,}0\ (0{,}5 + \frac{15}{L}) \qquad (2.5)$$

Keterangan:

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

L: Panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas (q) kN/m ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas q adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya (SNI 1725:2016, halaman 39).

d. Beban Rem (TB)

Beban rem dihasilkan akibat adanya efek lalu lintas, maka nilai beban rem dipengaruhi oleh beban yang bekerja di atasnya. Mengacu pada 1725:2016 nilai gaya rem diambil yang terbesar dari:

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

Nilai terbesar dari gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus

diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan.

2.4.2. Beban Skunder

Beban sekunder merupakan beban sementara yang selalu diperhitungkan dalam perhitungan tegangan pada setiap perencanaan jembatan. Adapun yang termasuk beban sekunder ini adalah sebagai berikut:

1. Beban Angin

Tekanan angin yang ditentukan pada SNI 1725:2016 halaman 55 diasumsikan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (Va) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus di distribusikan secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Luas area yang dihitung adalah luas area dari semua komponen.

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut (SNI 1725:2016, halaman 55)

$$V_{DZ} = 2{,}5\ Vo\ (\frac{V_{10}}{V_B}) In\ \frac{Z}{Z_o} \qquad (2.6)$$

Keterangan:

V_{DZ} : Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_{10} : Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm diatas permukaan tanah atau diatas permukaan air rencana (km/jam).

V_B :Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000

Z : Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin di hitung (Z> 10000 mm).

Vo : Kecepatan gesekan angin

Z_o : Panjang gesekan dihulu jembatan.

Untuk nilai Vo dan Zo terlihat pada Tabel 2.7 sesuai dengan aturan yang bersumber pada SNI 1725:2016, halaman 56

V_{10} dapat diperoleh dari:

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

Tabel 2. 7 Nilai V_0 dan Z_0 Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

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

Sumber: SNI 1725:2016

a. Beban Angin Pada Struktur (EWS)

Beban angin pada struktur (EWS) adalah angin yang bekerja langsung pada bagian-bagian struktur jembatan. Arah angin diasumsikan horizontal dan tegak lurus terhadap jembatan. Angin yang bekerja pada struktur dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$V_D = P_B \frac{V_{DZ}}{V_B} \quad (2.7)$$

Keterangan:

P_B = Tekanan angin dasar (Mpa)

Berdasarkan SNI 1725 (2016) gaya total beban angin tidak boleh kurang dari 4,4 N/mm pada bidang tekan dan 2,2 N/mm pada bidang hisap untuk struktur rangka dan pelengkung, serta tidak boleh kurang dari 4,4 N/mm pada balok gelagar. Adapun nilai tekanan angin dasar dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Tekanan Angin Dasar

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (Mpa)	Angin Hisap (Mpa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan Datar	0,0019	N/A

Sumber: SNI 1725:2016

b. Beban Angin Pada Kendaraan (EWI)

Beban angin pada kendaraan (EWI) adalah angin yang bekerja pada kendaraan yang kemudian memebrikan suatu efek pada struktur. Nilai EWI sendiri sebesar 1,46 N/mm ditempatkan tegak lurus jembatan dengan jarak 1800 mm diatas permukaan jalan. Apabila angin yang bekerja tidak lurus terhadap struktur maka nilai beban angin dapat diambil berdasarkan Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Komponen Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan

Sudut	Komponen Tegak Lurus	Komponen Sejajar
Derajat	N/mm	N/mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sumber: SNI 1725:2016

2. Beban Gempa

(SNI 2833:2016)Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan struktur ekivalen yang kemudian dimodifikasikan dengan faktor modifikasi respon (R) dengan formula sebagai berikut: (Sumber: SNI 2833:2016, halaman 9)

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \text{ x } W_t \qquad (2.8)$$

Keterangan:

E_Q : Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{Sm} : Koefisien respon elastik

R : Faktor modifikasi respons

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

Perhitungan gempa menggunakan SNI 2833:2016 tentang perancangan jembatan terhadap beban gempa dengan peta gempa 2010. Perhitungan gempa scara statik ekivalen.

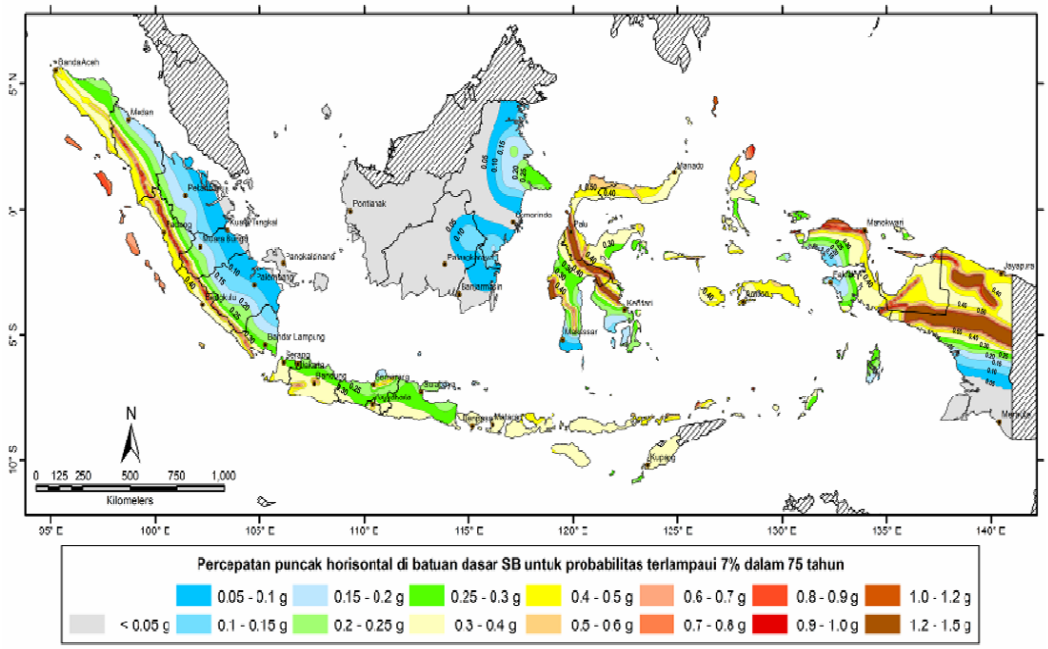
Lokasi : Kota Pariaman

Jenis Tanah : *Clay*

a. Menentukan Parameter Percepatan Gempa

Percepatan puncak di batuan dasar (PGA)

PGA = 0,3 g (Gambar 2.6, SNI 2833:2016, halaman 11)



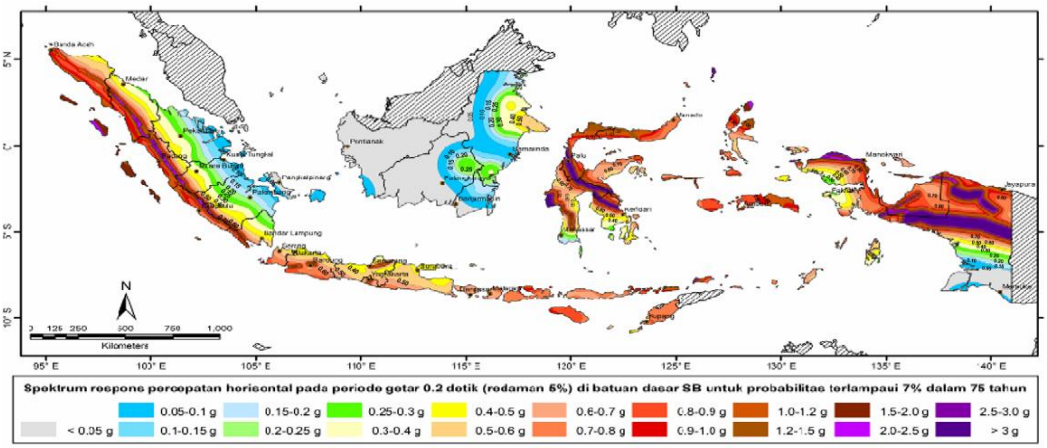
Gambar 2. 6 Peta Perecapatan Puncak Di Batuan Dasar (PGA)

Untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun

Sumber: SNI 2833:2016

Respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (Ss)

Ss = 0,75 g (Gambar 2.7, SNI 2883:2016, halaman 12)



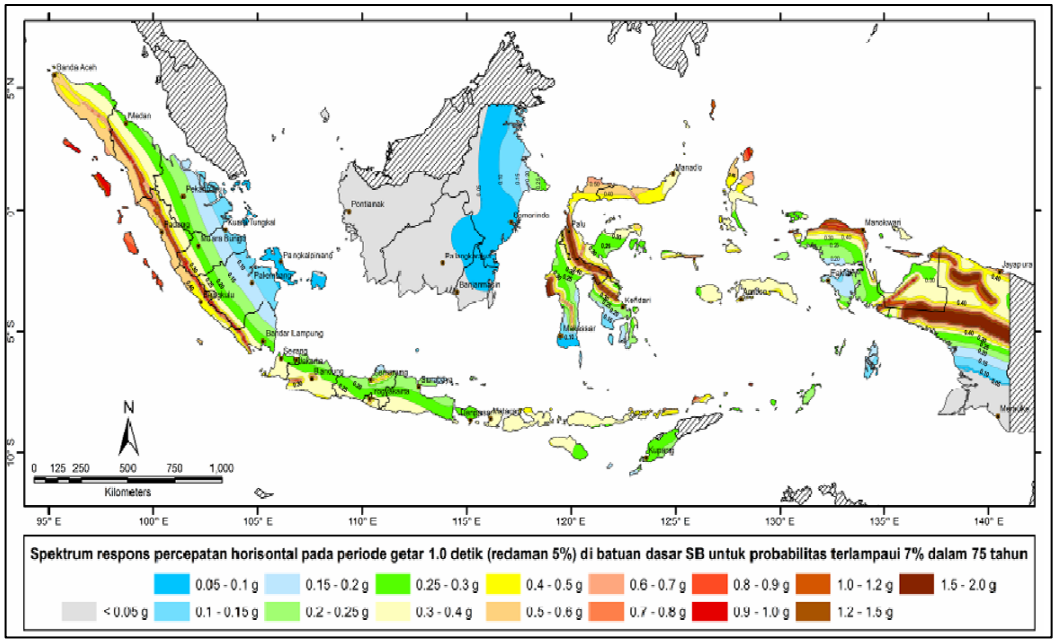
Gambar 2. 7 Peta Respon Spektra Percepatan 0,2 Detik Di Batuan Dasar

Untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun.

Sumber: SNI 2833:2016

Respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar (S1)

Ss = 0,4 g (Gambar 2.8, SNI 2883:2016, halaman 13)



Gambar 2. 8 Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik Di Batuan Dasar Untuk Probabilitas Terlampaui 7% dalam 75 Tahun.

Sumber: SNI 2833:2016

b. Menentukan Faktor Situs

Faktor amplifikasi untuk PGA dan periode 0,2 detik

FPGA = 1,2 (Tabel 2.10, SNI 2883:2016, halaman 16)

Fa = 1,2 (Tabel 2.11, SNI 2883:2016, halaman 16)

Tabel 2.10 Faktor Amplifikasi Untuk PGA dan 0,2 Detik (F_{PGA}/F_a)

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

Sumber: SNI 2833:2016

Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik

Fv = 2,8 g (Tabel 2.11, SNI 2883:2016, halaman 16)

Tabel 2. 11 Besarnya Nilai Faktor Amplifikasi Untuk Periode 1 Detik (Fv)

Kelas Situs	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Sumber: SNI 2833:2016

c. Gempa statik ekivalen

$$A_S = F_{PGA} \text{ x } PGA \quad (2.9)$$

Keterangan:

A_S : Percepatan tanah teramplifikasi

F_{PGA} : Faktor smplifikasi situs

PGA : Percepatan puncak batuan dasar

(Sumber SNI 2883:2016, halaman 17)

$$S_{DS} = Fa \text{ x } Ss \quad (2.10)$$

Keterangan:

S_{DS} : Percepatan spektra permukaan tanah periode pendek

F_a : Koefisien situs untuk periode pendek

(Sumber SNI 2883:2016, halaman 17)

$$S_{D1} = Fv \text{ x } S_1 \quad (2.11)$$

Keterangan:

S_{D1} : Percepatan spektra permukaan tanah periode 1,0 detik

F_V : Koefisien situs untuk periode 1,0 detik

(Sumber SNI 2883:2016, halaman 17)

Waktu getar alami struktur (T)

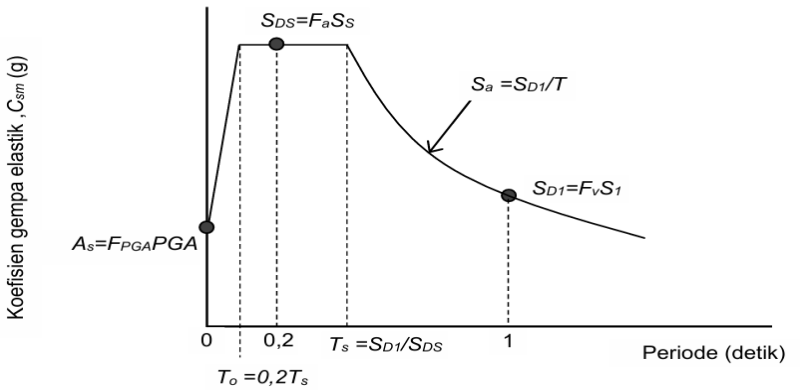
$$T_S = \frac{SD_1}{SD_S} \quad (2.12)$$

(Sumber SNI 2883:2016, halaman 17)

$$T_0 = 0,2 \; T_S \quad (2.13)$$

(Sumber SNI 2883:2016, halaman 17)

Bentuk tipikal respons spektra dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Bentuk Tipikal Respon Spektra

Sumber: SNI 2833:2016

2.5. Faktor Beban dan Kombinasi Beban

Berikut merupakan beberapa kombinasi pembebanan untuk perencanaan jembatan yang terdapat dalam SNI 1725:2016.

1. Kuat I

   Kombinasi pembebanan yang memperhitungakan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

2. Kuat II

   Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

3. Kuat III

   Kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenai beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

4. Kuat IV

   Kombinasi pembebanan untuk memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan beban hidup yang besar.

5. Kuat V

   Kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

6. Ekstrem I

   Kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup γEQ yang mempertimbangkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

7. Ekstrem II

   Kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup terkurangi dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidraulika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (TC). Kusus pembebanan akibat banjir boleh dikombinasikan dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.

8. Layan I

   Kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Kombinasi ini juga digunakan untuk mengontrol lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur beton bertulang: dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.

9. Layan II

   Kombinasi pembebanan yang ditunjukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada sturuktur baja dan selip pada sambungan akibat beban kendaraan.

10. 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.

11. Layan IV

    Kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak.

12. Fatik

    Kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat indukasi beban yang waktunya tak terbatas.

2.6. Perencanaan Struktur Atas Jembatan

Struktur atas jembatan merupakan bagian struktur yang pertama kali menerima beban untuk kemudian disalurkan ke struktur bawah jembatan. Perencanaan jembatan beton bertulang ini meliputi perencanaan tiang sandaran, trotoar, pelat lantai kendaraan, balok melintang (diafragma), balok memanjang (gelagar), *abutment,* dan pondasi.

2.6.1. Tiang Sandaran

Tiang sandaran sebagai struktur jembatan yang diperhitungkan mampu menahan beban horizontal sebesar 100 kg/m' dan mampu menahan *railling* sandaran, yang bekerja pada tinggi 90 cm diatas lantai trotoar (Tamba, Yanti, and Megasari 2017).

1. Momen maksimum yang bekerja pada satu tiang sandaran.

$$M_{maks} = Ph \times L \qquad (2.14)$$

Keterangan:

M_{maks} : Momen lentur maksimum (Kg.m)

P_h : Gaya horizontal terfaktor (Kg)

L : Lengan momen / tinggi efektif (m)

2. Penulangan tiang sandaran.

$$k = \frac{M_u}{\phi b d^2} \qquad (2.15)$$

Keterangan:

k : Koefisien ketahanan lentur (Mpa)

M_u : Momen ultimit rencana (Kg.m)

ϕ : Faktor reduksi kekuatan

b : Lebar penampang (mm)

d : Tinggi efektif (mm)

$$\rho_{perlu} = \frac{0{,}85\, f'c}{fy} \quad (2.16)$$

Keterangan:

ρ_{perlu} : Rasio tulangan yang diperlukan

F'c : Kuat tekan beton (Mpa)

fy : Kuat leleh baja (Mpa)

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy} \quad (2.17)$$

Keterangan:

ρ_{min} : Rasio tulangan minimum

fy : Kuat leleh baja (Mpa)

$$As = \rho bd \quad (2.18)$$

Keterangan:

A_s : Luas tulangan tarik (mm^2)

ρ : Rasio tulangan tarik

b : Lebar penampang

d : Tinggi efektif (mm)

3. Kontrol Kapasitas Momen

$$Mn = A_s f_y \; d - \frac{a}{2} \quad (2.19)$$

Keterangan:

Mn : Momen nominal (Kg.m)

A_s : Luas tulangan tarik (mm^2)

fy : Kuat leleh baja (Mpa)

d : Tinggi efektif (mm)

2.6.2. Trotoar

Trotoar adalah jalur pejalan kaki yang dibuat sejajar dengan jalan atau jembatan. Pada perencanaan jembatan, umumnya trotoar memiliki lebar minimum 50-100 cm. Adapun perhitungan tulangan pada trotoar dapat dilihat pada tahapan berikut.

1. Momen ultimit rencana

$$M_U = K.MS + K.TP \quad (2.20)$$

Keterangan:

M_U : Momen ultimit rencana (Kg.m)

Ms : Momen akibat berat sendiri

Tp : Momen akibat beban trotoar

2. Momen nominal awal

$$M_n = \frac{Mu}{0,8} \quad (2.21)$$

Keterangan:

Mn : Momen nominal awal

M_U : Momen ultimit

3. Nilai Rn

$$Rn = \frac{Mu}{b \times d} \quad (2.22)$$

Keterangan:

Rn : Koefisien ketahanan nominal (Mpa)

M_U : Momen ultimit (Kg.m)

b : Panjang slab jembatan yang ditinjau (mm)

d : Tebal efektif slab beton (mm)

4. Nilai m

$$m = \frac{fy}{0,85.f'c} \quad (2.23)$$

Keterangan:

fy : Kuat tarik baja (Mpa)

5. Rasio tulangan ρ

Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} \quad (2.24)$$

Rasio tulangan *balance*

$$\rho_b = 0,85 \times \beta 1 \times \frac{f'c}{fy} \times \frac{600}{600 + fy} \quad (2.25)$$

Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{maks} = 0,75 \times \rho_b \quad (2.26)$$

Rasio tulang perlu

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}}\right) \quad (2.27)$$

Adapun nilai yang digunakan adalah nilai yang terbesar.

6. Luas tulangan pokok yang diperlukan

$$As_{Perlu} = \rho \text{ x } b \text{ x } d \quad (2.28)$$

Keterangan:

AS_{Perlu} : Luas tulangan pokok yang diperlukan

ρ : Rasio tulangan

b : Lebar penampang

d : Tinggi efektif

7. Jarak tulangan pokok

$$S = \frac{\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } d^2_t \text{ x } b}{As} \quad (2.29)$$

Keterangan:

S : Jarak spasi tulangan

d_t : Diamater tulangan

b : Lebar penampang

As : Luas tulangan perlu

Berdasarkan SNI 2847 (2019) jarak maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450 mm.

8. Luas tulangan terpasang:

$$S = \frac{\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } dt^2 \text{ x } b}{S} \quad (2.30)$$

9. Tulangan Bagi

Pada pelat-pelat dimana tulangan pokoknya hanya berjalan dalam satu arah, maka tegak lurus pada tulangan. Tulangan pokok tersebut harus dipasang tulangan pembagi.

Tulangan bagi yang dipasang pada arah memanjang jembatan:

$$AS_{bagi} = 50\% \text{ . As.perlu} \quad (2.31)$$

Keterangan:

AS_{bagi} : Luas tulangan bagi yang diperlukan

AS_{perlu} : Luas tulangan utama yang diperlukan

Jarak terjauh minimum antar tulangan:

$$AS_{bagi} = \frac{\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } dt^2 \text{x } b}{\text{Asbagi}} \quad (2.32)$$

2.6.3. Pelat Lantai Kendaraan

Berdasarkan (RSNI T12, 2004) pelat lantai yang berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum (ts) dengan memenuhi kedua ketentuan berikut.

Apabila $\frac{Iy}{Ix} > 2$ digunakan penulangan satu arah

(Sumber SNI 2847:2019)

(RSNI T12, 2004) Pelat lantai berfungsi sebagai lantai kendaraan pada jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s memenuhi kedua ketentuan seperti yang tercantum dalam RSNI T12, 2004, halaman 38

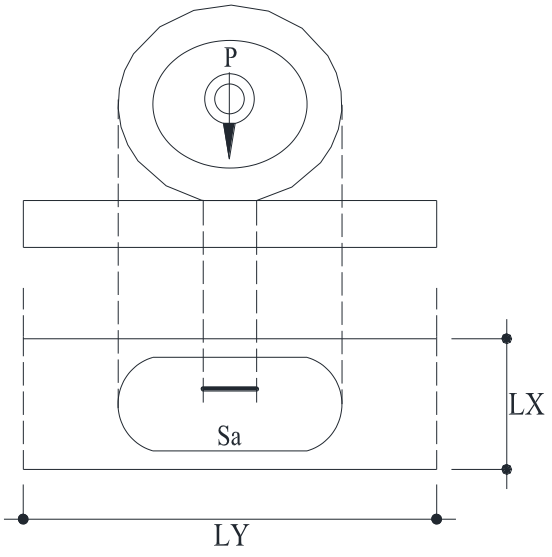
$$ts \geq 200 \text{ mm} \quad (2.33)$$

$$ts \geq (100 + 40\ l) \text{ mm} \quad (2.34)$$

Keterangan:

l : Bentang pelat ukur dari pusat ke pusat tumpuan (dalam meter).

Lebar manfaat menurut PBI 1971 pasal 13.4.3 lebar manfaat ditentukan, dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Lebar Manfaat Tekanan Roda Pada Lantai Kendaraan

$$L_y > 3.\ r.\ L_x \quad (2.35)$$

$$Sa = \frac{3}{4} a' + \frac{3}{4} r\ L_x \quad (2.36)$$

Keterangan:

L_y : Ukuran (bentang) terbesar pelat

L_x :Ukuran (bentang) terkecil pelat; bentang yang memikul pada pelat yang memikul dalam satu arah

Sa : Lebar kerja pelat pada beban terpusat di tengah-tengah bentang l_x

a : Ukuran beban terpusat pada pelat yang memikul dalam satu arah diarah bentang l_x

r : Koefisien yang mempengaruhi lebar kerja pelat pada beban terpusat, tergantung pada sifat-sifat tumpuan pelat

1. Beban hidup yang bekerja

$$P=\frac{T}{S_a} \tag{2.37}$$

Keterangan:

P : Beban hidup terbagi rata

S_a :Lebar kerja pelat pada beban terpusat di tengah-tengah bentang l_x

T : Beban tekanan roda

2. Kontrol ketebalan pelat

Tebal pelat yang direncanakan harus memenuhi ketebalan minimum berdasarakan Tabel 2.12 SNI 2847 (2019).

Tabel 2. 12 Ketebalan Minimum Pelat

Kondisi Tumpuan	h Minimum
Tumpuan Sederhana	l / 20
Satu Ujung Menerus	l / 24
Kedua Ujung Menerus	l / 28
Kantilever	l / 10

Sumber: SNI 2847:2019

3. Momen nominal awal

$$M_o=\frac{1}{4}\cdot P\cdot L \tag{2.38}$$

4. Momen arah lintang L_x

$$M_{Lx}=\frac{5}{6}\cdot M_o \tag{2.39}$$

$$M_{tx} = \frac{5}{8} \cdot M_o \quad (2.40)$$

Keterangan:

M_{lx} : Momen arah lintang (Kg/m)

M_o : Momen nominal awal

5. Momen arah lintang Ly

$$M_{ly}^{+} = \frac{M_{lx}}{1 + \frac{4 \cdot a'}{3 \cdot L_x}} \quad (2.41)$$

6. Penulangan pelat lantai

$$\rho min = \frac{1,4}{fy} \quad (2.42)$$

Rasio tulangan *balance*

$$\rho b = 0,85 \text{ x } \beta 1 \text{ x } \frac{fc}{fy} \text{ x } \frac{600}{600 + fy} \quad (2.43)$$

Rasio tulangan maksimum

$$\rho maks = 0,75 \text{ x } \rho b \quad (2.44)$$

Rasio tulangan perlu

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \text{ x } \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \text{ x m x Rn}}{fy}} \right. \quad (2.45)$$

Adapun nilai yang digunakan adalah nilai yang terbesar.

7. Luas tulangan pokok yang diperlukan

$$AS_{Perlu} = \rho \text{ x } b \text{ x } d \quad (2.46)$$

AS_{Perlu} : Luas tulangan pokok yang diperlukan (mm^2)

ρ : Rasio tulangan

b : Lebar penampang (cm)

d : Tinggi efektif (cm)

8. Jarak tulangan pokok

$$S = \frac{As'}{As.\ Perlu} x 1000 \quad (2.47)$$

S : Jarak spasi tulangan

As : Luas tulangan perlu

Berdasarkan SNI 2847 (2019) jarak maksimum untuk tulangan ulir harus kurang dari 3h dan 450 mm.

9. Luas tulangan terpasang:

$$S = \frac{As'}{As.\ Perlu} x 1000 \quad (2.48)$$

10.Tulangan Bagi

Pada pelat dimana tulangan pokoknya hanya berjalan dalam satu arah, maka tegak lurus pada tulangan. Tulangan pokok tersebut harus dipasang tulangan pembagi.

Tulangan bagi yang dipasang pada arah memanjang jembatan:

$$AS_{bagi} = 50\% \ . AS_{perlu} \qquad (2.49)$$

Keterangan:

AS_{bagi} : Luas tulangan bagi yang diperlukan

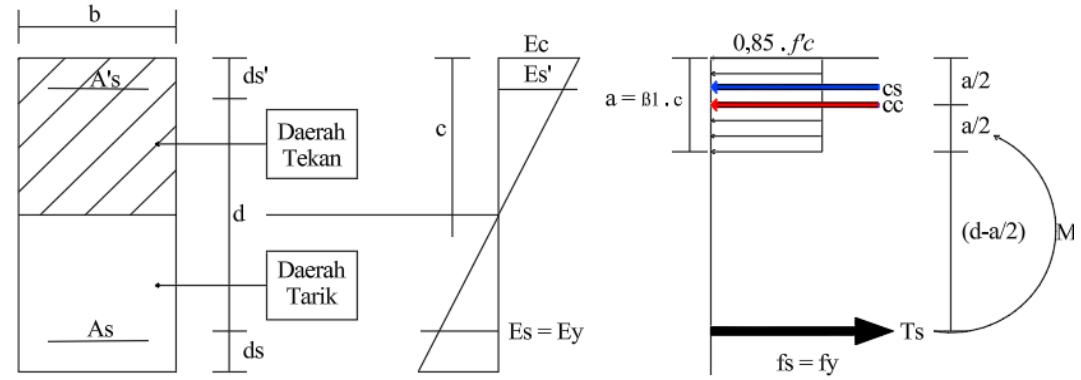
AS_{perlu} : Luas tulangan utama yang diperlukan

Jarak terjauh minimum anatar tulangan:

$$AS_{bagi} = \frac{\frac{1}{4} \text{ x } \pi \text{ x } dt^2 \text{x } b}{Asbagi} \qquad (2.50)$$

2.6.4. Balok Melintang (Diafragma)

Diafragma berfungsi untuk meratakan beban yang diterima gelagar memanjang dan sebagai pengaku agar tidak terjadinya puntir. Beban yang dipikul oleh diafragma dianggap sebagai beban merata yang berkaja pada diafragma.



Gambar 2. 11 Analisa Penampang Tulangan Rangkap

Berdasarkan SNI 2847:2019 analisis perhitungan balok dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

A. Perhitungan Tulangan Lentur Balok

1. Asumsikan

   Berdasarakan perencanaan beton struktural lebar effektif (be) diambil dari nilai terkecil dari hasil rumus berikut:

$$\frac{c}{dt} \leq 0{,}375 \quad (2.51)$$

Pada tahap ini c/dt akan ditentukan secara "*trial and error*" dengan syarat tidak melebihi 0,375. Hal ini dilakukan agar penampang yang dihasilkan tergolong tension controlled.

2. Menghitung nilai c dengan nilai c/dt yang diperoleh pada Langkah pertama.

Dengan $d=dt=(h-ts-\emptyset s-\frac{1}{2} D1)$ (2.52)

Sehingga $C=\frac{c}{dt} x\ dt$ (2.53)

Keterangan:

h : Tinggi balok (mm)

T_s : Selimut beton (mm)

∅s : Diameter tulangan Sengkang(mm)

D1 : Diameter tulangan utama (mm)

3. Menghitung nilai tinggi balok tegangan *whitney*

$$a = \beta 1 \times c \quad (2.54)$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 nilai β1 sangat dipengaruhi oleh f'c, dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2. 13 Nilai **β1** x c untuk distribusi tegangan beton persegi

f'c Mpa	*β*1	
17 ≤ fc' ≤ 28	0,85	a)
28 < fc' < 55	$0{,}85-\frac{0{,}05(fc'-28}{7}$	b)
fc' ≥ 5	0,65	c)

Sumber SNI 2847-2019 (478:2019)

4. Menghitung nilai gaya tekan Cc

$$Cc = 0{,}85 \times fc' \times b \times \beta 1 \times c = 0{,}85 \times f'c \times a \quad (2.55)$$

Keterangan:

f'c : Mutu beton (Mpa)

b : Lebar balok

a : Tinggi balok tegangan

5. Menghitung nilai tulangan Tarik (A_{S1})

$$Cc=T1 \quad (2.56)$$

$$Cc= As1 \text{ x } fy \quad (2.57)$$

$$As1= \frac{Cc}{fy} \quad (2.58)$$

Keterangan:

A_{S1} : Tulangan tarik

fy : Tegangan leleh baja (Mpa)

6. Menghitung nilai Mn_1

$$Mn1 = As1 \text{ x } fy \left(d \frac{a}{2}\right) \quad (2.59)$$

Keterangan:

A_{S1} : Tulangan tarik

fy : Tegangan leleh baja (Mpa)

a : Nilai tinggi balok

Setelah mendapatkan nilai Mn_1 maka perlu dilakukan pengecekan apakah perlu menggunakan tulangan tekan atau tarik. Dengan ketentuan sebagai berikut :

Mn1< Mn : diperlukan tulangan tekan = perhitungan rangkap

Mn1> Mn : tidak diperlukan tulangan tekan = perhitungan tunggal

7. Menghitung nilai Mn_2

$$Mn = Mn_1 + Mn_2 \quad (2.60)$$

$$Mn2 = Mn - Mn_2 \quad (2.61)$$

8. Menghitung tegangan pada tulangan tekan fs

$$f's = Es \text{ x } \varepsilon's \quad (2.62)$$

$$\varepsilon' s = 0{,}003 \left(\frac{c\text{-}d'}{c}\right) \quad (2.63)$$

$$d'= \left(ts+\emptyset_s+\frac{1}{2}D_1\right) \quad (2.64)$$

Keterangan:

f’s : Tegangan tulangan

$\varepsilon' s$: Regangan tulangan

d : Tinggi efektif

ts : Selimut beton

$\emptyset_s$: Diameter tulangan Sengkang

D_1 : Diamater tulangan utama

Apabila:

$$fs' \geq fy, \text{ maka tulanagn tekan leleh, } fs' = fy \quad (2.65)$$

$$fs' < fy, \text{ maka tulanagn tekan tidak leleh, } fs' = \text{Es x } \varepsilon\text{'s} \quad (2.66)$$

9. Menghitung nilai luas tulangan (As')

$$\text{As'} = \left(\frac{\text{Mn}_2}{\text{f's (d-d')}}\right) \quad (2.67)$$

10. Menghitung nilai luas (As dan As')

$$\text{As} = \text{As1} + \text{As2} \quad (2.68)$$

$$\text{As'} = \text{As2} \quad (2.69)$$

11. Menghitung luasan tulangan aktual

Jumlah tulangan tarik

$$\text{n} = \left(\frac{\text{As teoritis}}{\frac{1}{4}\text{x } \pi \text{ x D}^2}\right) \quad (2.70)$$

Jumlah tulangan aktual

$$\text{n} = \left(\frac{\text{As teoritis}}{\frac{1}{4}\text{x } \pi \text{ x D}^2}\right) \quad (2.71)$$

12. Menghitung nilai tinggi balok tegangan *Whitney* (α) yang baru

$$\alpha = \left(\frac{([\text{As x fy}]-[\text{As x } fs])}{0{,}85\, f'c \text{ x b}}\right) \quad (2.72)$$

$$\text{As x fy} = 0{,}85 \text{ x f'c x b xa} + \text{A's} + \text{f'}s \quad (2.73)$$

13. Menghitung nilai tinggi garis netral (c) dan cek kategori penampang

$$\text{Mn} = \text{Cc x (d - a 2)} + \text{Cs x (d - d')} \quad (2.74)$$

$$\text{Mn} = (\text{ As x fy - As' x fs' }) \text{ x } \left(\text{d - } \frac{\alpha}{2}\right) + \text{As' x fs' (d - d')} \quad (2.75)$$

14. Menghitung kuat nominal dan cek kapasitas penampang

$$\text{Mn} = \text{Cc x (d - a 2)} + \text{Cs x (d - d')} \quad (2.76)$$

$$\text{Mn} = (\text{ As x fy - As' x fs' }) \text{ x } \left(\text{d - } \frac{\alpha}{2}\right) + \text{As' x fs' (d - d')} \quad (2.77)$$

Periksa kapasitas penampang $\emptyset$ Mn $\geq$ Mu

B. Perhitungan Tulangan Geser Balok

1. Langkah 1

Tentukan besaran nilai gaya geser ultimate (Vu) yang diperoleh dari hasil analisa struktur. Berdasarkan SNI 2847:2019, pasal 9.4.3.2 Hal-182 disebutkan

bahwa nilai Vu diambil sejarak d dari muka kolom. Nilai d merupakan tinggi efektif dari balok.

2. Langkah 2

   Hitung nilai kuat beton Vc. Nilai Vc untuk balok dalam bentuk sederhana berdasarkan SNI 2847:2019; Tabel 22.5.5.1; Hal-485, ditentukan sebagai berikut:

$$Vc = 0.17 \sqrt{fc'} bwd \quad (2.78)$$

3. Langkah 3

   Periksa sayarat kemampuan penampang dalam menerima beban geser.

$$Vu = \phi (Vc + 0{,}66\sqrt{fc'}\ b_w\ d) \quad (2.79)$$

4. Langkah 4

   Klasifikasi nilai Vu (cek kategori 1 s/d 5)

   a. Cek kategori 1

$$Vu \leq 0{,}5\ \emptyset\ Vc \quad (2.80)$$

   Pada kategori ini nalok tidak perlu menggunakan tulangan sengkang dimana kekuatan yang dimiliki beton sudah dianggap mampu untuk memikul beban geser *ultimate*.

   b. Cek kategori 2

$$0{,}5\ \emptyset\ Vc \leq Vu1 \leq\ Vc \quad (2.81)$$

   Nilai Vs dan Av yang digunakan nilai minimal, dengan persamaan berikut

$$Vs\ min = 0{,}062 \sqrt{fc'}\ b_w.d \quad 0{,}45.b_w.d \quad (2.82)$$

$$Av\ min = 0{,}062 \sqrt{fc'}\ \frac{b_w S}{f_{yt}} \geq \frac{(0{,}35\ b_w S)}{f_{yt}} \quad (2.83)$$

   Dengan spasi (s) maksismum tulangan geser

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600\ mm \quad (2.84)$$

   c. Cek kategori 3

$$0{,}5\ \emptyset\ Vc \leq Vu1 \leq\ (Vc + Vsmin) \quad (2.85)$$

   Kuat geser Vs min:

$$Vs\ min = 0{,}062 \sqrt{fc'}\ b_w.d \text{ atau } Vs,min = 0{,}35\ bw\ d \quad (2.86)$$

   Luas tulangan geser:

$$Vs\ min = 0{,}062 \sqrt{f'c}\ \frac{b_w S}{f_{yt}} \text{ atau } Vs\ min = \frac{(0{,}35\ b_w S)}{f_{yt}} \quad (2.87)$$

Dengan spasi (s) maksismum tulangan geser:

$$s \leq \frac{d}{2} \leq 600 \text{ mm} \quad (2.88)$$

d. Cek kategori 4

$$\text{Apabila } \emptyset\,(Vc + Vs, \min) \leq Vu \leq \phi\left(Vc + \frac{1}{3}\sqrt{f'c}\, b_w.d\right) \quad (2.89)$$

Nilai gaya geser dari tulangan

$$Vs = \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} \quad (2.90)$$

Luas tulangan geser

$$Av = \frac{Vs \times s}{f_{yt}.d} \quad (2.91)$$

e. Cek kategori 5

$$\text{Apabila } \phi\left(Vc + \frac{1}{3}\sqrt{f'c}\, b_w.d\right) \leq Vu \leq \phi\left(Vc + \frac{2}{3}\sqrt{f'c}\, b_w.d\right) \quad (2.92)$$

Nilai gaya geser dari tulangan:

$$Vs = \frac{Vu - \phi Vc}{\phi} \quad (2.93)$$

Luas tulangan geser

$$Av = \frac{Vs\ x\ s}{f_{yt}.d} \quad (2.94)$$

5. Langkah 5

   Hitung Vs rencana berdasarakan kategori yang telah ditentukan
6. Langkah 6
7. Tentukan jarak tulangan geser (s) yang akan digunakan berdasarakan syaratan kategori desain.
8. Langkah 8

   Pastikan nilai Av aktual berdasarkan tulangan geser yang digunakan lapangan.
9. Langkah 9

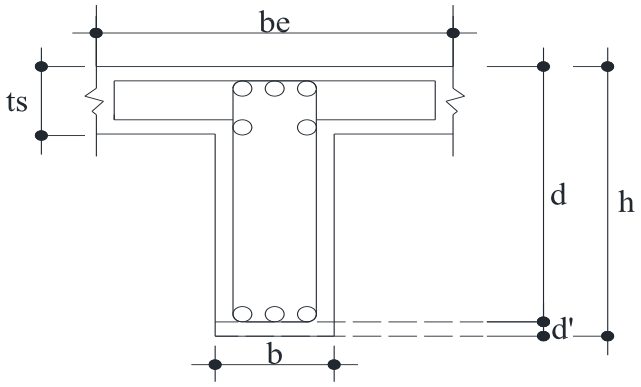
   Hitung kembali nilai vs berdasarakan luas tulangan aktual step-7
10. Lakukan pengecekan terhadap syarat kekuatan desain tulangan geser (Vn) terhadap gaya geser *ultimate* (Vu)

$$\phi \text{ x } Vn \geq Vu \quad (2.95)$$

Faktor reduksi $\phi = 0{,}75$

2.6.5. Balok Memanjang (Gelagar)

Gelagar adalah konstruksi utama yang menerima beban lantai kendaraan diatasnya. Tahapan pengerjaan balok memanjang (Balok T) adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 12 Perencanaan Balok T

Pembebanan pada gelagar memanjang:

1. Menghitung lebar efektif balok (b_f) berdasarkan ketentuan yang ada (Balok tampang-T terhubung atau terisolasi)

$$b_f \leq L/4 \tag{2.96}$$

$$b_f \leq 0{,}5\ (L_1 + L_2) + b_w \tag{2.97}$$

2. Menentukan nilai β_1 berdasarakan nilai $f'c$ ditentukan

$$17\ \text{Mpa} \leq f'c \leq 28\ \text{Mpa} \rightarrow 0{,}65 \leq \beta_1 = 0{,}85 - 0{,}05\ \frac{(f'c - 28)}{7} \tag{2.98}$$

3. Kontrol posisi tulangan, menganggap tulangan tarik dan tekan leleh semua.

$$C_{nf} = 0{,}85.\ f'c.\ b_f.\ t \tag{2.99}$$

$$C_s = A_s.\ f_y \tag{2.100}$$

$$C_{nf} + C_s \tag{2.101}$$

$$T_s = A_s.\ f_y \tag{2.102}$$

4. Maka kedalaman balok tekan (α) ada didalam sayap $C_{nf} + C_s > T_s$
5. $a_b = 600 \cdot \frac{d}{600+f_y}$
6. Alternatif penyelesaian-1 (karena balok tekan beton ada di dalam sayap maka konstribusi tulangan tekan sangat kecil sehingga bisa diabaikan), menganggap tulangan tarik leleh maka.
7. $$C_c = T_s \tag{2.103}$$

$$0{,}85\ f'_c\ b_f\ a = A_s\ f_y \tag{2.104}$$

$$\alpha = 46{,}17 \text{ mm} < t \tag{2.105}$$

8. Untuk menghitung faktor ϕ digunakan ε_s dari tulangan tarik terluar, yaitu

$$\varepsilon_s = \frac{0.003(d-c)}{c} \geq 0.005 \tag{2.106}$$

dengan

$$c = \alpha / \beta_1 \tag{2.107}$$

9. $$M_n = C_c . (550 - 0{,}5 . \alpha \tag{2.108}$$

$$M_u = \phi . M_n \tag{2.109}$$

10. Alternatif penyelesaian-2 (memperhitungkan tulangan tekan apa adanya). Anggapan-anggapan itu sebagai berikut:
    a. **Letak garis/sumbu netral,** letak garis netral berada diantara tulangan tarik dan tekan.
    b. **Kondisi regangan tulangan tarik dan tekan (leleh semua).**

11. $$(C_c + C_s) = T_s \tag{2.110}$$

$$0{,}85 . f'c . b_f . \alpha + 6{,}490 . 400 \tag{2.111}$$

Balok tekan beton α tidak mungkin = 0, jadi anggapan dalam persamaan diatas pasti salah. Letak kesalahannya ada pada anggapan bahwa tulangan tekan leleh → anggapan diubah!

Anggapan-anggapan baru itu sebagai berikut:

a. **Letak garis/sumbu netral,** letak garis netral berada diantara tulangan tarik dan tekan,
b. **Kondisi regangan pada tulangan tarik leleh tetapi pada tulangan tekan tidak.**

12. Tegangan pada tulangan tekan

$$f'_s = \varepsilon'_s \cdot E_s = 0.003 \cdot \frac{c-d'}{c} \cdot 200000 \tag{2.112}$$

$$C_s = A_s . f_s \tag{2.113}$$

13. $$C_c + C_s = T_s \tag{2.114}$$

14. C > d' = 50 mm jadi letak garis netral berada dianatara tulangan tarik dan tekan, sesuai anggapan!

    $\alpha = \beta_1 . c = 43{,}92$ mm < $a_b = 330$ mm, penulangan liat (*under-reinforced*)

    → tulangan tarik pasti leleh.

15. Kontrol regangan pada tulangan tekan dan tarik:

a. Tulangan tekan:

$$\varepsilon'_s = \frac{c-d'}{c} \cdot 0.003 \quad (2.115)$$

b. Tulangan tarik:

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} 0.003 \quad (2.116)$$

16. Untuk menghitung faktor ϕ digunakan ε_s dari tulangan tarik terluar, yaitu

$$\varepsilon_s = 0{,}0289 > 0{,}005 \quad (2.117)$$

Karena $\varepsilon_s > 0{,}005$ maka $\phi = 0{,}90$

17. Momen dihitung terhadap tulangan tarik

$$M_n = C_c \left(d - \frac{1}{2}a\right) + C_s(d - d') \quad (2.118)$$

$$M_n \geq \phi / M_u \quad (2.119)$$

2.6.6. *Abutment*

Pada stabilitas *abutment*, dilakukan perhitungan pembebanan pada jembatan terlebih dahulu. Perhitungan beban jembatan berdasarkan SNI 1725:2016. Beban beban pada jembatan adalah sebagai berikut (Sipil 2022):

a. Beban Jembatan

Beban jembatan merupakan beban akibat beban struktural dan nonstruktural jembatan meliputi gelagar, rangka, pelat, trotoar, dan railling.

b. Beban Tambahan

Beban tambahan pada jembatan yaitu beban aspal dan beban air hujan.

c. Beban Lalu Lintas

Beban lajur D terdiri dari beban terbagi rata (BTR) dan beban garis (BGT). Pada jembatan bentang < 30m, BTR diambil sebesar 9 kPa. Sedangkan pada jembatan dengan bentang >30m digunakan persamaan berikut:

$$q = 9 \frac{0{,}5}{15/L} \quad (2.120)$$

d. Beban Lalu Lintas

Beban truk diambil terbesar antara

$$P_{TB} = 25\% \text{ x Berat gandar truk} \quad (2.121)$$

$$P_{TB} = 5\% \text{ x (Berat truk} + (q_{BTR} x\ P\ x\ L)) \quad (2.122)$$

Keterangan:

q_{BTR} : Beban terbagi rata

P : Panjang jembatan

L : Lebar jembatan

e. Beban Pejalan Kaki

Beban pejalan kaki diambil sebesar 5 kN/m2.

f. Beban Gesekkan Perletakkan

Perubahan temperatur menyebabkan pemuaian terhadap struktur jembatan sehingga terjadi gesekan yang berpengaruh terhadap abutment.

g. Beban Gempa

Beban gempa vertikal diambil sebesar 10% dari struktur atas, sedangkan beban gempa horizontal.

$$P_{EQ} = \frac{CSM}{Rd} \text{ x } W_t \quad (2.123)$$

Keterangan:

CSM :Koefisien gempa

Rd :Faktor modifikasi gempa

W_t : Berat total struktur

Koefisien gempa dihitung berdasarkan SNI 2833:2016 dan respon spektra. Hasil dari perhitungan pembebanan jembatan akan digunakan dalam perhitungan stabilitas abutment.

Pada perhitungan stabilitas *abutment* terdapat tekanan tanah lateral, daya dukung, tahanan lateral tiang yang bekerja. Tekanan tanah dihitung berdasarakan persamaan 2.10 dan 2.102 dibawah ini:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a - 2_{c'} H \sqrt{Ka} \quad (2.124)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p + 2_{c'} H \sqrt{Kp} \quad (2.125)$$

Keterangan:

P_a : Tekanan tanah aktif

P_p : Tekanan tanah pasif

γ : Berat volume tanah

H : Tinggi

K_a : Koefisien tanah aktif

K_p : Koefisien tanah pasif

c : Kohesi

Daya dukung pondasi dangkal dapat dihitung berdasarakan persamaan 2.102 dan 2.103

$$q_{toe} = \frac{\Sigma V}{B} \gamma \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad (2.126)$$

$$q_u = c\, N_c\, F_{cd}\, F_{ci} + q\, N_q\, F_{qd}\, F_{tqt} + \frac{1}{2} \gamma\, B'\, N_\gamma\, F_{\gamma d}\, F_{\gamma i} \quad (2.127)$$

Daya dukung pondasi dalam dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.128

$$Q_L = QP+QS = \alpha\ (NP \times K)\ AP + \beta\ (NS/3+1)\ AS \quad (2.128)$$

Keterangan:

Q_L : Daya dukung maksimum pondasi

Q_p : Tahanan ujung tiang

Q_s : Tahanan samping

β : Koefisien

N_p : Rata-rata N-SPT terkoreksi sedalam kedalaman tiang

A_S : Luas selimut

Tahanan lateral tiang pendek pada tanah lempung dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.129

$$H_u = 9\ C_u\ d\ \left(L - \frac{3}{4}\ d\right) \quad (2.129)$$

Keterangan:

H_u : Tahanan lateral tiang

C_u : Kohesi *undrained*

D : Diameter tiang

L : Panjang tiang

Tahanan lateral tiang panjang pada tanah granular dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.130

$$H_u = \frac{2\ My}{e + 2\frac{f}{3}} \quad (2.130)$$

Keterangan:

H_u : Tahanan lateral tiang

M_y : Momen tahanan bahan tiang

e : Jarak beban ke muka tanah

f : Letak momen maksimal

Hasil perhitungan dari beban jembatan dan gaya-gaya yang bekerja pada *abutment* digunakan dalam perhitungan stabilitas guling, geser, dan daya dukung.

Stabilitas *abutment* didapat dari persamaan 2.131, 2.132 dan 2.133 dibawah ini:

1. Geser

$$\text{SF} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Geser}} \qquad (2.131)$$

2. Guling

$$\text{SF} = \frac{\Sigma \text{ Momen Penahan}}{\Sigma \text{ Momen Guling}} \qquad (2.132)$$

3. Daya Dukung

$$\text{SF } (\textit{bearing capasity}) = \frac{\text{qu}}{\text{qmax}} \qquad (2.133)$$

Suatu *abutment* dikatakan aman jika SF guling $\geq$ 2,2, geser $\geq$ 1,1, dan daya dukung $\geq$ 3. Mengacu pada SNI 8460:2017.

2.7. Perencanaan Struktur Bawah Jembatan

Struktur bawah jemabatan adalah struktur yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur atas termasuk beban lalu lintas ke tanah pendukung jembatan melalui fondasi. Jika tanah pendukung jembatan tidak mampu menahan beban struktur termasuk beban hidupnya, maka dibawah struktur bawah diperlukan fondasi tidak langsung yang dapat berupa sumuran, tiang pancang dan tiang bor. Struktur bawah terbagi menjadi dua bagian yaitu kepala jembatan dan pilar (SNI 8460.2017).

2.7.1. Pembebanan Struktur Bawah Jembatan

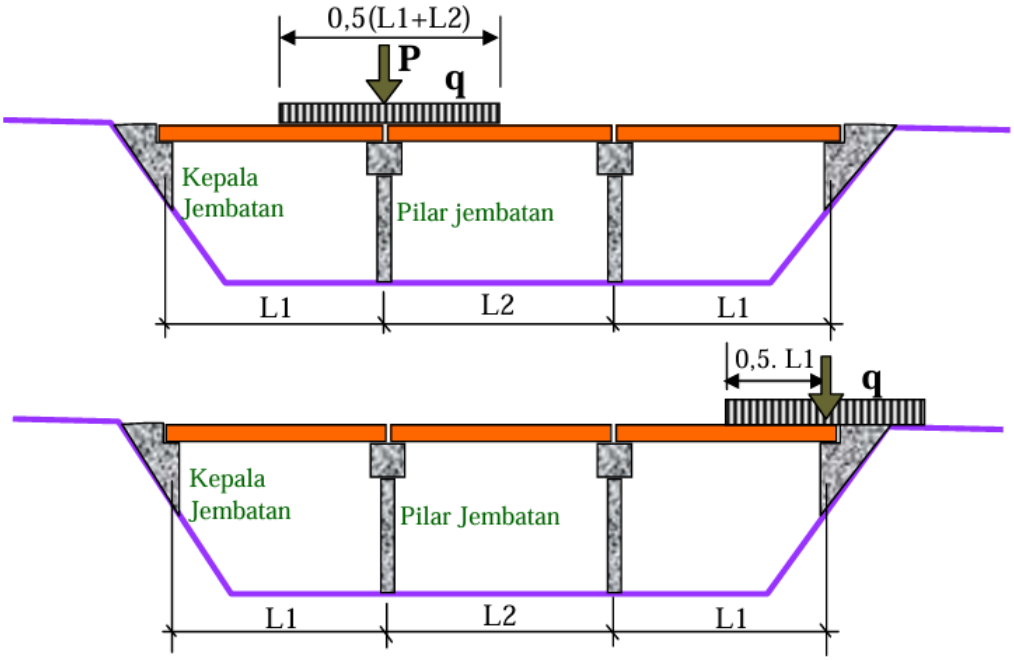
Kepala dan Pilar Jembatan harus diperhitungkan terhadap semua beban yang mungkin terjadi pada jembatan, struktur bawah akan menerima bebean-beban sebagai berikut:

1. Beban Tetap

A. Beban lalu Lintas

Beban hidup atau beban lalulintas yang bekerja pada lantai jembatan adalah beban merata sebesar 9 KN/m2, dan beban garis sebesar 49 KN/m. Beban yang bekerja pada lantai jembatan ini diterima oleh girder atau rangka, yang

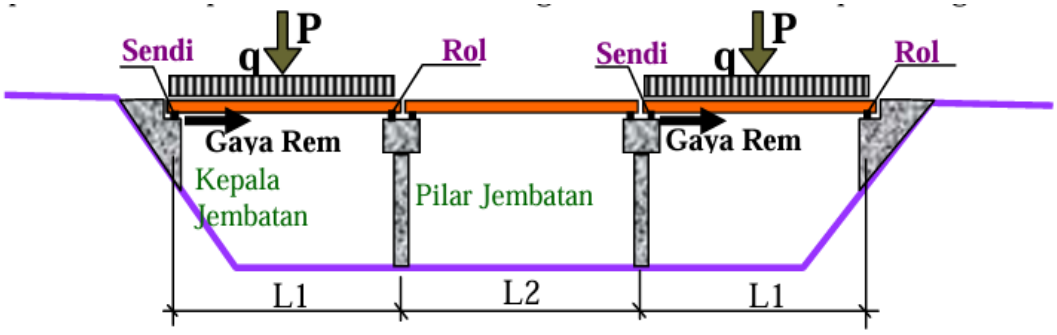
selanjutnya disalurkan ke kepala atau pilar jembatan. Peninjauan beban kepala jembatan dan pilar jembatan dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Pembebanan Pada Pilar dan Kepala Jembatan Oleh P dan q

B. Beban lalu Lintas

Beban olah gaya rem adalah beban yang diakibatkan oleh kendaraan yang berhenti secara bersamaan diatas jembatan. Beban ini ditimbulkan oleh adanya gesekan antara roda kendaraan dengan lantai jembatan. Besarnya gaya rem ditentukan menurut Gambar 2.14 . yang dianggap ada pada semua lajur lalu lintas tanpa dikalikan dengan faktor beban dinamis dan bekerja dalam satu arah yang besarnya tergantung pada bentang jembatan. Beban rem tersebut dianggap bekerja horisontal dalam arah sumbu jembatan . Beban rem yang diterima oleh lantai jembatan ini didistribusikan ke pilar dan kepala jembatan oleh balok atau rangka jembatan. Beban rem ini bekerja bersama-sama dengan beban p dan q. Dalam memperkirakan pengaruh gaya rem terhadap perletakan dan bangunan bawah jembatan, maka gesekan atau karakteristik perpindahan geser dari perletakan ekspansi dan kekakuan bangunan bawah harus diperhitungkan.



Gambar 2. 14 Gaya Rem Pada Pilar dan Kepala Jembatan

2. Beban Lingkungan

A. Beban Angin

Besarnya beban akibat gaya angin yang bekerja pada struktur sebesar

TEW=0,0006 C_w $(V_w)^2$ d (Gaya angin yang bekerja pada jembatan (2.134)

TEW = 0,0012 \, C_w \, $(V_w)^2$ (Gaya angin yang bekerja pada kendaraan) (2.135)

Keterangan:

V_W : Kecepatan angin rencana untuk keadaan batas yang ditinjau

C_W : Koefisien seret

d : Tinggi bagian samping jembatan (m)

Peninjuan beban angin pada saat tidak ada kendaraan Angin tekan 100% dari TEW dan ngin hisap 50% dari TEW jembatan. Peninjuan beban angin pada jembatan saat ada kendaraan Angin tekan 50% dari TEW jembatan dan angin hisap 25% dari TEW jembatan Dan yang bekerja pada kendaraan 100% dari TEW kendaraan.

B. Beban Tumbukan Kendaraan

Sebesar Beban akibat tumbukan kendaraan pada pilar jembatan jalan layang ditentukan sebesar 1000 kN pada arah tegak lurus jembatan dan sebesar 500 kN pada arah memanjang jembatan.

C. Beban Gempa

Jembatan yang dibangun pada daerah rawan gempa harus diperhitungkan terhadap beban gempa. Untuk jembatan lurus dengan ketinggian pilar tidak mencapa 30 m dapat dilakukan analisa statis ekuivalen. Untuk jembatan yang melingkar atau jembatan dengan ketinggian pilar diatas 30 m harus dilakukan analisis dinamis

2.7.2. Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Penggunaan pondasi tiang akan mencapai tingkat ekonomis jika kedalaman lapisan tanah keras diatas 10 meter dari permukaan tanah, namun demikian penggunaan tiang yang kedalamannya kurang dari 10 meter masih diijinkan. Tanah dinyatakan keras jika nilai qc dari sondir ≥ 150 kg/cm2, atau nilai N Spt ≥ 50 (Teknik, n.d.).

Kedalaman tiang ditentukan dengan mempertimbangkan:

1. Daya dukung dan sifat kompresibilitas tanah atau bebatuan
2. Penurunan yang diijinkan dari struktur.
3. Perkiraan kedalaman gerusan.
4. Kemungkinan pergerakan tanah.
5. Pengalihan atau pengerukan di kemudian hari yang berdekatan dengan fondasi.
6. Letak dan kedalaman fondasi dari struktur yang berdekatan.
7. Permukaan air tanah.

Data tanah yang akan dipergunakan untuk menganalisa daya dukung fondasi tiang pancang dan tiang bor dapat diperoleh dari Sondir, Boring dan SPT.

Ketentuan-ketentuan untuk pondasi tiang pancang

1. Pada tanah kohesif padat atau tanah berbuit padat d > 3,0 meter
2. Pada tanah kohesif lunak atau tanah berbutir lepas d > 6,0 meter
3. Bila kedalaman tanah padat atau bebatuan kurang dari 3,0 meter, maka di sarankan menggunakan fondasi dangkal.
4. Penetrasi tiang pada tanah timbunan harus masuk lapisan tanah asli minimal 3,0 meter.

Jarak tiang dan kedalaman tiang

1. Jarak minimum antar tiang yang sejajar segaris = 5,0 d. Dimana d = diameter atau lebar terkecil dari tiang.
2. Tiang yang tidak segaris , jarak minimal antar tiang pada kedalaman y di bawah filecup harus lebih kecil dari 2,50 d + 0,02 y atau 3,5 d.
3. Kepala tiang harus tertanam lebih dari 30 cm ke dalam *pile cap*.

Perhitungan daya dukung pondasi tiang dari data sondir dan N.SPT

Berikut cara mencari daya dukung pondasi tiang pancang menggunakan data sondir atau N.SPT

Data Sondir

$$Q_u=Q_b+Q_s=q_c\cdot A_b+q_s\cdot Kll \quad (2.136)$$

$$Q_a=\frac{Q_u}{SF},\quad SF=3\sim5 \quad (2.137)$$

Keterangan:

q_c : Nilai tahanan konus (kg/cm2)

q_s : Nilai jumlah hambatan lekat/friksi (kg/cm)

Ab : Luas penampang tiang (cm2)

Kll : Keliling tiang (cm)

Data N.SPT

$$Q_u=30\cdot\bar{N}\cdot A_b+\frac{\bar{N_s}}{5}\cdot Kll\cdot L_s+\frac{\bar{N_c}}{2}\cdot Kll\cdot L_c \quad (2.138)$$

$$Q_a=\frac{Q_u}{SF},\quad SF=3\sim5 \quad (2.139)$$

Keterangan:

$\bar{N}_1$: Nilai rata-rata N berjarak 4D dibawah

$\bar{N}_2$: Nilai rata-rata N berjarak 10D diatas ujung tiang

$\bar{N}_S$: Nilai rata-rata N pada lapisan pasir

$\bar{N}_C$: Nilai rata-rata N pada lapisan lempung

Ab : Luas penampang ujung tiang (cm2)

Kll : Keliling tiang (cm)

Ls : Panjang tiang pada lapisan pasir (cm)

Lc : Panjang tiang pada lapisan lempung (cm)

Efesiensi Grup Tiang Pancang

Untuk kelompok tiang yang daya dukung utamanya mengandalkan tahanan gesek, harus dilakukan evaluasi efesiensi daya dukung kelompok tiang, dan disarankan jarak as antara tiang lebih dari tiga diameter tiang.

$$E=1-\left[\frac{\theta}{90}\cdot\left[\frac{(n-1)\cdot m+(m-1)\cdot n}{m\cdot n}\right]\right] \quad (2.140)$$

Keterangan:

θ : arc tg ($^{D}/_{K}$)

m : Jumlah tiang dalam arah sumbu x

n : Jumlah tiang dalam arah sumbu y

D : Diameter tiang

k : Jarak antara tiang

2.7.3. Perencanaan Pondasi *Bore Pile*

Pondasi *bore pile* adalah suatu pondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan di cor. Dalam proses pelaksanaan pondasi ini melibatkan pengeboran lubang dengan menggunakan alat khusus sehingga mencapai kedalaman yang dibutuhkan. Setelah mencapai kedalaman yang dibutuhkan, tulangan besi pondasi yang telah dirakit sebelumnya dimasukkan kedalam lubang, lalu dilakukan pengecoran pada lubang yang di bor tersebut.

Perhitungan daya dukung pondasi *bore pile* data sondir dan N.SPT

Berikut cara mencari daya dukung pondasi *bore pile* menggunakan data sondir atau N.SPT

Data N.SPT

$$Q_u=Q_p+Q_s \tag{2.141}$$

Keterangan:

Q_u = Daya dukung *Ultimate* (ton)

Q_p = Daya dukung ujung tiang (ton)

Q_s = Daya dukung selimut tiang (ton)

Data Sondir

Perhitungan daya dukung ultimate pondasi bore pile menurut metode mayerhoff (1956) dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$Q_{ult}= (qc \times Ap)+(JHL \times Kl) \tag{2.142}$$

Keterangan:

Qult = Kapasitas daya dukung.

qc = Tahanan ujung sondir.

Ap = Luas penampang tiang.

Kl = Jumlah hambatan lekat.

JHL = Keliling tiang.

Daya dukung ijin pondasi dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{ijin} = \frac{(qc \times Ap)}{3} + \frac{(JHL \times Kl)}{5} \quad (2.143)$$

Keterangan:

qc = Tahanan ujung sondir.

Ap = Luas penampang

JHL = Jumlah hambatan lekat.

Kl = Keliling tiang

Efesiensi Grup Tiang *Bore Pile*

Persamaan untuk menghitung efesiensi kelompo tiang menurut Conversi Labarre sebagai berikut:

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m+(m-1)}{90\ mn} \quad (2.144)$$

Keterangan:

Eg = Efisiensi kelompok tiang

m = Jumlah baris tiang

n’ = Jumlah tiang dalam satu baris

s = Jarak tiang

ɵ = Arc tg d/s, (dalam derajat)

d = Diameter tiang