

**SKRIPSI**

**PEMODELAN JEMBATAN KOMPOSIT**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ANDI AQMAL AZHARI ABDILLAH  
D011 19 1100**



**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PEMODELAN JEMBATAN KOMPOSIT

Disusun dan diajukan oleh

**ANDI AQMAL AZHARI ABDILLAH**  
**D011 19 1100**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 21 Agustus 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT  
NIP: 197206192000122001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST, M.Eng  
NIP: 197011081994121001

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng  
NIP: 196805292002121002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;  
Nama : Andi aqmal Azhari Abdillah  
NIM : D011191100  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### Pemodelan Jembatan Komposit

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 21 Agustus 2023

Yang Menyatakan



Andi Aqmal Azhari Abdillah

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya panjatkan untuk Allah SWT Tuhan yang Maha Esa, atas segala Rahmat dan karunia-Nya kepada setiap manusia, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tak lupa sholawat serta salam kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW sebaik-baiknya suri tauladan. Penyusunan tugas akhir ini yang berjudul “**PEMODELAN JEMBATAN KOMPOSIT**” merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesainya tugas akhir ini tidak hanya dari penulis melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. H. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.,IPM.**  
Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.,** selaku ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Ibu Prof. Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.,** selaku pembimbing kedua yang telah membimbing dan memberi nasihat-nasihat yang membangun serta kesabaran beliau dapat menghadapi kualitas keilmuan penulis.
4. **Bapak Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.,** selaku pembimbing pertama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya yang saya sangat cintai, yaitu bapak **Andi Sumangarukka** dan Ibu **Zufrina Madinatul Hujad** yang selama ini selalu

menyayangi saya begitu tulus dan berkat doanya lah penulis bisa mencapai titik ini.

2. Saudara kandung saya bang **alief** dan bang **azslam** yang selalu mendukung saya dalam segala hal.
3. Saudari **Nafilah Khairiyah** yang selalu menemani dan membantu saya melewati segala hal baik susah maupun senang.
4. **bayu, arzha, bianca, dan shasya** selaku teman saya yang selalu menghibur, menjadi tempat bertukar pikiran, dan selalu mendukung saya.
5. **Afdal**, dan Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur** yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2019** yang senantiasa memberikan warna serta pengalaman yang sangat berharga selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Agustus 2023

Penulis

## ABSTRAK

**ANDI AQMAL AZHARI ABDILLAH. PEMODELAN JEMBATAN KOMPOSIT**  
(dibimbing oleh Rita Irmawaty dan Rudy Djamaluddin)

Tugas akhir ini bertujuan untuk merencanakan balok gelagar dan penghubung geser untuk jembatan komposit, yang didesain untuk memikul beban mati, beban lajur, beban rem, beban pejalan kaki, beban angin, dan beban gempa. Jembatan komposit ini terdiri dari tiga bentang yang memiliki panjang 44 m setiap bentang. Struktur gelagar utama di desain menggunakan pelat *girder*. Pemodelan dan analisis struktur jembatan komposit dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SAP 2000 v21. Adapun pengontrolan pada elemen struktur yaitu pelat *girder*, diafragma, dan penghubung geser dilakukan secara manual dan dikontrol sesuai dengan persyaratan dan ketentuan yang berlaku. Hasil analisa struktur menunjukkan bahwa elemen struktur pelat girder 192 cm x 60 cm x 2 cm x 6 cm, diafragma IWF 700 mm x 300 mm x 13 mm x 24 mm, dengan penghubung geser stud kepala  $\varnothing 19$  mm x 175 mm sejumlah 536 buah per gelagar telah memenuhi persyaratan desain.

**Kata Kunci:** Jembatan komposit, SAP 2000, pelat *girder*, penghubung geser

## ***ABSTRACT***

**ANDI AQMAL AZHARI ABDILLAH. PEMODELAN JEMBATAN KOMPOSIT**  
(supervised by Rita Irmawaty Rudy and Djamaluddin)

This final project aims to design girder beams and shear connectors for composite bridges, which are designed to carry dead loads, lane loads, brake loads, pedestrian loads, wind loads, and earthquake loads. This composite bridge consists of three spans which have a length of 44 m each span. The main girder structure is designed using girder plates. Modeling and analysis of composite bridge structures is carried out using SAP 2000 v21 software. The control of the structural elements, namely girder plates, diaphragms, and shear connectors, is carried out manually and controlled in accordance with the applicable terms and conditions. The results of the structural analysis show that the structural elements of the plate girder are 192 cm x 60 cm x 2 cm x 6 cm, the IWF diaphragm is 700 mm x 300 mm x 13 mm x 24 mm, with shear connector stud heads of  $\phi 19$  mm x 175 mm totaling 536 pieces per girder has met the design requirements.

**Keywords:** Composite bridge, SAP 2000, plate girder, shear connectors

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
DAFTAR SIMBOL .....	xiv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Perancangan .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Jembatan Komposit .....	4
2.1.1 Tipe-tipe jembatan komposit .....	5
2.1.2 Elemen Jembatan .....	7
2.2 Lantai Jembatan ( <i>Deck</i> ) .....	7
2.3 Pelat Girder .....	8
2.3.1 Perencanaan pengaku .....	9
2.4 Diafragma .....	10
2.5 Penghubung Geser ( <i>Shear Connector</i> ) .....	10
2.6 Sambungan Baut/Mur .....	11
2.6.1 Kekuatan Tarik dan Geser Baut .....	12
2.6.2 Kekuatan Tumpu dan Sobek pada Lubang Baut .....	12
2.7 Pembebanan Jembatan .....	13
2.7.1 Beban permanen .....	13
2.7.2 Beban lalu lintas .....	15
2.7.3 Beban angin .....	18
2.7.4 Beban Gempa .....	21
2.8 Kombinasi Pembebanan .....	29
BAB III METODE PERANCANGAN .....	32
3.1 Gambaran Umum .....	32
3.2 Standar dan Rujukan yang Digunakan .....	32
3.3 Bagan Alir .....	33
3.4 Data Perencanaan .....	33
3.5 Beban-Beban yang Berkerja .....	34
3.5.1 Beban Permanen .....	34
3.5.2 Beban lalu lintas .....	36
3.5.3 Beban Angin .....	37
3.5.4 Beban Gempa .....	38
3.6 Kombinasi Pembebanan .....	40
3.7 Pemodelan Struktur .....	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	46
4.1 Preliminary Desain.....	46
4.1.1 Perencanaan Gelagar Induk (Plate Girder) .....	46
4.1.2 Pembebanan .....	46
4.1.3 Dimensi gelagar .....	49
4.2 Analisis dan Pengecekan Struktur pada Program SAP2000 V21 .....	56
4.3 Hasil Analisa Struktur .....	57
4.3.1 Lendutan .....	57
4.3.2 Perencanaan Pengaku.....	58
4.3.3 Penyambungan Pelat Girder.....	63
4.3.4 Penyambungan Diafragma .....	80
4.3.5 Perhitungan <i>Shear Connector</i> .....	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
5.1 Kesimpulan .....	85
5.2 Saran .....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	86

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. (a) sistem lantai komposit, (b) baja struktur dan pelat lantai beton, (c) penghubung geser .....	4
Gambar 2. Potongan melintang jembatan .....	7
Gambar 3. Metode penyambungan dalam penyusunan pelat girder .....	8
Gambar 4. Jenis jenis penghubung geser .....	11
Gambar 5. Baut bermutu tinggi.....	12
Gambar 6. beban lajur “D” .....	16
Gambar 7. konfigurasi pembebanan truk “T” .....	17
Gambar 8. faktor beban dinamis untuk beban “T” untuk pembebanan lajur “D” .....	18
Gambar 9. Respon Spektra dipermukaan tanah .....	24
Gambar 10. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar .....	26
Gambar 11. Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar .....	27
Gambar 12. Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) .....	28
Gambar 13. Lokasi jembatan Desa Moncongloe Gowa .....	32
Gambar 14. Bagan alir perencanaan jembatan.....	33
Gambar 15. Desain respons spektrum rencana .....	39
Gambar 16. Website penginputan desain respons spektrum .....	39
Gambar 17. Pendefinisian Material Jembatan .....	41
Gambar 18. pendefinisian Properti penampang gelagar .....	42
Gambar 19. Pendefinisian Properti penampang diafragma.....	42
Gambar 20. Penginputan data garis x dan y.....	43
Gambar 21. Pemodelan grid.....	43
Gambar 22. Pemodelan tumpuan jembatan .....	43
Gambar 23. Penambahan <i>Joint link</i> .....	44
Gambar 24. Definisi beban yang bekerja.....	44
Gambar 25. Pemodelan Beban pada <i>SAP 2000 v21</i> .....	45
Gambar 26. Tampak 3D jembatan .....	45
Gambar 27. Dimensi profil pelat girder .....	47
Gambar 28. Penampang pelat girder.....	51
Gambar 29. Penampang pelat girder setelah komposit.....	53
Gambar 30. Pengecekan struktur .....	56
Gambar 31. Verifikasi struktur telah aman .....	57
Gambar 32. Jarak pengaku vertikal.....	60
Gambar 33. Tampak atas pengaku vertikal .....	62
Gambar 34. Pembebanan .....	64
Gambar 35. Tampak atas perletakan baut pada sambungan <i>flens</i> titik 1 .....	66
Gambar 36. Perletakan baut penyambung badan titik 1 .....	68
Gambar 37. Tampak memanjang sambungan gelagar titik 1 .....	71
Gambar 38. Potongan memanjang sambungan gelagar titik 1.....	71
Gambar 39. Potongan melintang sambungan gelagar titik 1 .....	71
Gambar 40. Tampak atas perletakan baut pada sambungan <i>flens</i> titik 5 .....	73
Gambar 41. Perletakan baut penyambung badan titik 5 .....	75
Gambar 42. Tampak memanjang sambungan gelagar titik 5.....	79
Gambar 43. Potongan memanjang sambungan gelagar titik 5.....	80
Gambar 44. Potongan melintang sambungan gelagar titik 5 .....	80

Gambar 45. Sambungan pelat girder dengan diafragma..... 82

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Berat isi untuk beban mati.....	14
Tabel 2. Faktor beban untuk berat sendiri.....	14
Tabel 3. Faktor beban untuk beban mati tambahan .....	15
Tabel 4. Faktor beban untuk beban lajur “D” .....	15
Tabel 5. Faktor beban untuk beban “T” .....	16
Tabel 6. Nilai V0 dan Z0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu .....	19
Tabel 7. Tekanan angin dasar .....	20
Tabel 8. Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan .....	20
Tabel 9. Kelas Situs.....	22
Tabel 10. Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik ( $F_{PGA}/F_a$ ) .....	23
Tabel 11. Besarnya nilai factor amplifikasi untuk periode 1 detik .....	24
Tabel 12. Zona Gempa .....	25
Tabel 13. Kombinasi Pembebanan.....	31
Tabel 14. Rekapitulasi rencana beban mati tambahan .....	36
Tabel 15. Tabel Rekapitulasi Beban Hidup.....	38
Tabel 16. Parameter desain seismic .....	40
Tabel 17. Perhitungan penampang pelat girder.....	52
Tabel 18. Perhitungan penampang pelat girder setelah komposit.....	54
Tabel 19. Rekapitulasi Lendutan tiap kombinasi .....	57
Tabel 20. Rekapitulasi jarak baut pada titik sambungan 1.....	68
Tabel 21. Rekapitulasi jarak baut pada titik sambungan 5.....	75

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tampak Samping Jembatan.....	87
Lampiran 2. Potongan melintang jembatan .....	88
Lampiran 3. Potongan memanjang jembatan.....	89
Lampiran 4. Detail sambungan 1 .....	90
Lampiran 5. Detail sambungan 2 .....	91
Lampiran 6. Detail sambungan 3 .....	92
Lampiran 7. Posisi penempatan Stud.....	93
Lampiran 8. Data Tanah .....	94

## DAFTAR SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti/Keterangan
$A_f$	Luas sayap
$A_w$	Luas Web
$f_y$	Tegangan leleh
$A_s$	Luas pelat badan
$E_s$	Modulus elastisitas baja
$C_v$	Perbandingan antara kuat geser
$S$	Modulus penampang
$K_g$	Koefisien balok pelat berdinding penuh
$Q_n$	Kuat nominal geser penghubung geser
$E_c$	Modulus elastisitas beton
$f_u$	Tegangan putus
$b_s$	Lebar pengaku
$t_s$	Tebal pengaku
$A_{sc}$	Luas penampang penghubung geser
$R_n$	Tahanan baut
$b_f$	Lebar <i>flens</i>
$t_f$	Tebal <i>flens</i>
$t_w$	Tebal <i>web</i>
$h$	Tinggi <i>web</i>
$G$	Berat satuan unit
$q$	Beban merata
$p$	Beban terpusat
$M$	Momen
$D$	Defleksi
$TEW_s$	Beban angin struktur
$TEW_L$	Beban angin kendaraan
$n$	Rasio modular
$B_{ef}$	Lebar efektif
$Y_{ts}$	Jarak garis netral dari serat atas

Lambang/Singkatan	Arti/Keterangan
$Y_{bs}$	Jarak garis netral dari serat bawah
$I$	Momen inersia
$K_g$	Koefisien gelagar pelat
$a_r$	Rasio antara luas penampang melintang <i>web</i> dengan penampang melintang <i>flens</i>
$M_n$	Kuat lentur nominal
$A_c$	Penampang beton
$B_{eq}$	Lebar efektif setelah komposit
$\Delta$	lendutan
$V_n$	Kuat geser nominal
$\phi$	Faktor ketahanan
$A_{pb}$	Luas pengaku tumpuan
$A_g$	Luas brutto penampang
$\lambda$	Kelangsingan penampang balok
$N_n$	Kuat tekan nominal penampang
$f_{cr}$	Tegangan kritis
$N_g$	Ketahanan geser baut
$N_{tp}$	Ketahanan tumpu baut
$db$	Diameter baut
$T_p$	Tebal pelat
$A_n$	Ketahanan pelat
$N_h$	Gaya yang bekerja pada bidang horizontal
$N_v$	Gaya yang bekerja pada bidang vertikal
$N_V$	Gaya geser yang bekerja pada baut
$V_h$	Gaya geser horizontal
$f_u^b$	Tegangan Tarik putus baut
$f_u^p$	Tegangan Tarik putus pelat

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Jembatan adalah sebuah struktur yang dibangun dengan menghubungkan dua jalanan yang terputus karena adanya rintangan-rintangan seperti sungai, saluran irigasi, dan lembah dengan tujuan agar dapat memberikan akses kepada pengguna jalan baik pejalan kaki maupun pengguna transportasi umum dan pribadi. Karena itu, jembatan merupakan salah satu prasarana penting untuk penunjang kelancaran kegiatan lalu-lintas masyarakat.

Jembatan memiliki berbagai jenis desain yang dimana setiap desainnya memiliki fungsi dan tujuan yang berbeda. Perbedaan desain pada jembatan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti perbedaan kondisi tempat yang akan dibangun, fungsi jembatan, dan ketersediaan dana untuk pembangunan jembatan.

Jembatan terbagi atas dua komponen struktur yaitu struktur atas dan struktur bawah, yang dimana dua komponen tersebut memiliki fungsi yang berbeda. Struktur atas memiliki fungsi untuk menerima beban secara langsung seperti beban sendiri, beban mati, beban hidup, dan beban angin. Sedangkan struktur bawah memiliki fungsi untuk menerima beban dari struktur atas lalu disalurkan kepondasi, selain itu struktur bawah juga menerima beban berupa gaya tekanan tanah, aliran air, gesekan pada tumpuan dan tumbukan.

Jembatan Desa Moncongloe Gowa merupakan jembatan yang mengalami kerusakan pada salah satu abutmentnya disebabkan debit banjir yang sangat besar, sehingga terjadinya gerusan disekitar abutment jembatan dan menyebabkan runtuhnya jembatan. Jembatan yang terletak di Desa Moncongloe ini dibangun dengan sistem jembatan komposit yang memiliki bentang 100 meter yang akan direncanakan kembali menggunakan sistem yang sama yaitu sistem jembatan komposit dengan pemindahan titik lokasi jembatan terdahulu, dimana jembatan yang akan direncanakan ulang memiliki bentang 132 meter.

Jembatan komposit ini merupakan struktur bangunan yang dibuat dengan menggabungkan dua jenis material yang memiliki sifat berbeda yaitu beton dan

baja yang dihubungkan menggunakan penghubung geser (*shear connector*). Struktur komposit ini menjadi populer pada masa sekarang karena berbagai macam keuntungan yang dapat diperoleh.

Penggunaan jembatan komposit memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan jembatan konvensional yang terbuat dari beton atau baja, yaitu:

1. Beratnya yang ringan, sehingga mudah untuk dipasang dan transportasi materialnya lebih mudah.
2. Tahan terhadap korosi, sehingga dapat digunakan di lingkungan yang agresif.
3. Dapat bertahan lebih lama daripada jembatan konvensional.
4. Memiliki kekuatan tarik dan lentur yang tinggi, sehingga lebih tahan terhadap beban dinamis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang di atas, maka perlu dijelaskan permasalahan secara rinci untuk melakukan perencanaan kembali Jembatan Desa Moncongloe sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan balok gelagar, dan *shear connector*.
2. Bagaimana penentuan jenis pembebanan untuk jembatan komposit pada masing-masing strukturnya.
3. Bagaimana memodelkan dan menganalisa struktur jembatan pada perangkat lunak SAP2000 V21.

## 1.3 Tujuan Perancangan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini antara lain :

1. Merencanakan balok gelagar, dan penghubung geser.
2. Menentukan jenis pembebanan yang akan digunakan pada jembatan komposit.
3. Memodelkan dan menganalisis komponen struktur menggunakan perangkat lunak *SAP 2000 v21*.

## **1.4 Batasan Masalah**

Agar perancangan ini tidak keluar dari pembahasan maka penulis perlu membatasi permasalahan yang ada. Batasan masalah tersebut yaitu meliputi :

1. Tidak dilakukan desain bangunan bawah.
2. Tidak memperhatikan aspek arsitektural
3. Tidak mengkaji metode pelaksanaan konstruksi
4. Tidak dilakukan analisa anggaran biaya dan waktu pelaksanaan.
5. Tidak dilakukan peninjauan akibat beban getaran pada jembatan

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Agar lebih terarah, sistematika penulisan yang dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga Tugas Akhir yang dihasilkan lebih sistematis. Sistematika penulisan penelitian ini dapat diurutkan yaitu:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pokok-pokok bahasan dalam bab ini adalah latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan masalah dan sistematika penulisan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini diuraikan secara sistematis tentang teoeri, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, Langkah-langkah yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dariu laboratorium.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dalam bab ini, disusun perencanaan jembatan komposit

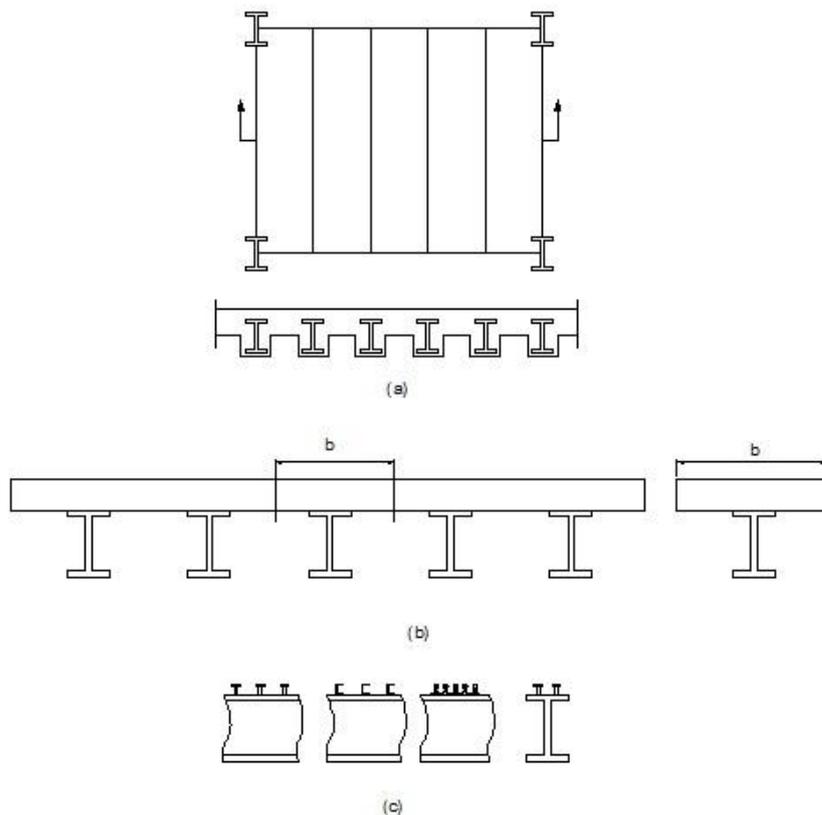
### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Jembatan Komposit

Jembatan Komposit merupakan perpaduan antara dua atau lebih material yang memiliki sifat dan kelebihan yang berbeda. Seperti pada konstruksi beton pada lantai kendaraan dan konstruksi baja pada balok gelagar dan diafragma yang disebut dengan komposit baja-beton. Beton pada lantai jembatan ditumpu oleh balok gelagar baja dengan sayapnya. Untuk menghubungkan beton dan baja menjadi satu kesatuan yang homogen, maka dihubungkan menggunakan penghubung geser (*shear connector*) sehingga beton dan baja dapat Bersama-sama menahan gaya-gaya yang timbul akibat beban yang berkerja pada jembatan. Berikut contoh bentuk struktur komposit pada jembatan dapa dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** (a) sistem lantai komposit, (b) baja struktur dan pelat lantai beton, (c) penghubung geser

Perencanaan jembatan komposit ini bertujuan agar baja dan beton bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja, sehingga akan menghasilkan desain elemen/profil yang lebih ekonomis. Struktur komposit juga mempunyai keunggulan yang lain seperti lebih kuat dan lebih kaku daripada struktur non-komposit. Sistem jembatan komposit memiliki dua jenis tipe yang umum digunakan sebagai desain, yaitu *multi girder bridge* dan *ladder deck bridge*.

### 2.1.1 Tipe-tipe jembatan komposit

#### 1. *Multi girder bridge*

Jenis ini menggunakan beberapa baja girder memanjang (longitudinal girder) dimana ukuran dan jenisnya serupa yang disusun dengan jarak yang sama sepanjang lebar jembatan. Komponen dari jenis jembatan multi girder bridge, yaitu :

##### a. Girder Utama (*Longitudinal Girder*)

Girder utama pada umumnya menggunakan plate girder profil I, namun untuk jembatan dengan bentang kecil juga memungkinkan untuk menggunakan universal beam yaitu baja dengan profil yang memiliki dimensi yang universal dan biasa di pabrikasi oleh berbagai perusahaan baja.

##### b. Perkuatan (*Bracing*)

Ada tiga jenis perkuatan yang dimiliki oleh *multi girder bridge*. Berikut penjelasannya:

#### 1. *Support Bracing*

*Support Bracing* merupakan jenis perkuatan yang berada di kedua ujung jembatan yaitu didaerah perletakan, teknis perkuatan dengan biasa menggunakan profil baja L yang disusun melintang menghubungkan antara satu girder dengan girder lainnya. Fungsi dari perkuatan ini adalah untuk stabilitas jembatan dan alat transfer beban horizontal (beban angin dan gaya selip) kebantalan yang menyediakan tahanan transversal yang terletak pada daerah perletakan jembatan.

#### 2. *Intermediate bracing*

*Intermediate bracing* atau yang biasa disebut dengan diafragma jembatan yaitu berupa pelat yang menghubungkan antara girder pada arah memanjang jembatan. Fungsi dari diafragma itu sendiri untuk menjaga agar girder baja tidak mengalami penekukkan akibat dari beban yang dipikul girder baja.

### 3. *Plan Bracing*

*Plan bracing* biasa disebut dengan ikatan angin adalah ikatan yang menyilang pada bagian bawah jembatan, dua lokasi kemungkinan perletakan plan bracing berada diatas flens atas dan dibawah flens atas.

#### c. *Crosshead Girders*

*Crosshead girders* adalah girder yang melintang tambahan yang menghubungkan dua buah girder utama dan berfungsi sebagai perletakan pada tengah bentang *continuous multiple spans*. *Crosshead girders* bukan merupakan komponen yang wajib dimiliki jembatan *multi girder* tetapi dibebberapa kondisi komponen ini dibutuhkan untuk mengurangi jumlah kolom dan bantalan.

### 2. *Ladder deck bridges*

*Ladder deck bridges* adalah modifikasi dari *multi girder bridge* yaitu dengan hanya menggunakan dua buah girder utama dengan cross girder sebagai support (perkuatan). Konfigurasi jembatan dengan *ladder deck* sangat sesuai dan ekonomis apabila ingin digunakan atau diaplikasikan pada jembatan bentang pendek dengan lebar jembatan yang memadai untuk jalur lintas dua jalur ganda. Komponen (bagian) dari jembatan *ladder deck*, yaitu:

#### a. Gelagar utama (*Main Girder*)

Gelagar utama dalam jembatan *ladder deck* selalu menggunakan *plate girder*, karena gelagar dengan penampang universal walaupun dengan luas penampang maksimum tidak akan cukup kuat, meskipun diaplikasikan untuk bentang yang sederhana.

#### b. Gelagar Silang (*Cross Girder*)

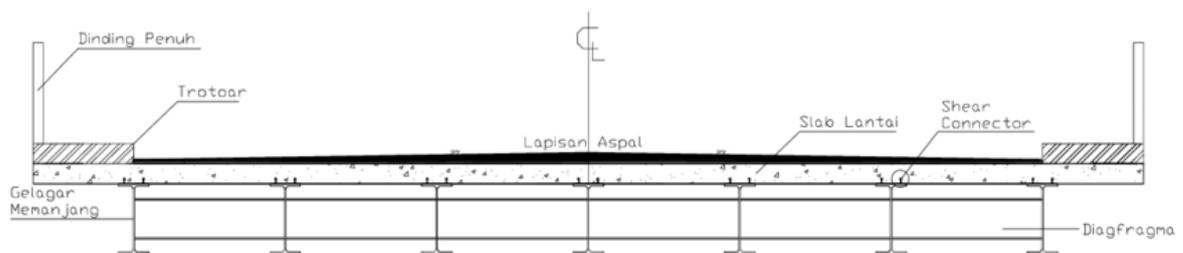
*Cross girder* biasanya dipasang dengan jarak 3,5 meter untuk menahan besarnya beban plat lantai setebal 250 mm.

### c. *Cantilever Girder*

*Cantilever girder* merupakan gelagar tambahan diluar gelagar utama sebagai bantalan untuk trotoar jalan. Tetapi apabila trotoar jalan tidak terlalu lebar, maka tidak perlu menggunakan *cantilever girder* karena momen yang timbul masih mampu ditahan oleh plat lantai seperti konfigurasi pada jembatan *multi girder*.

## 2.1.2 Elemen Jembatan

Komponen-komponen pada jembatan pada dasarnya merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan, dikarenakan peran dan fungsi masing-masing dari setiap elemennya yang tidak bisa digantikan dengan yang lain. Jembatan akan berkerja dengan baik apabila elemen yang ada dalam sebuah jembatan direncanakan sesuai dengan kebutuhannya tanpa melupakan aspek-aspek penting dalam perencanaan jembatan. Jembatan sendiri terbagi menjadi dua komponen utama yaitu struktur atas dan bawah. Struktur atas pada jembatan antara lain lantai kendaraan (*Deck*), gelagar jembatan (*Girder*), penghubung geser (*Shear connector*) perletakan jembatan (*Bearing*), dan *expansion joint*, lalu struktur bawah antara lain adalah *Abutment*, plat injak, pilar jembatan, *pile cap*, dan pondasi jembatan. Gambaran umum struktur atas dapat terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Potongan melintang jembatan

## 2.2 Lantai Jembatan (*Deck*)

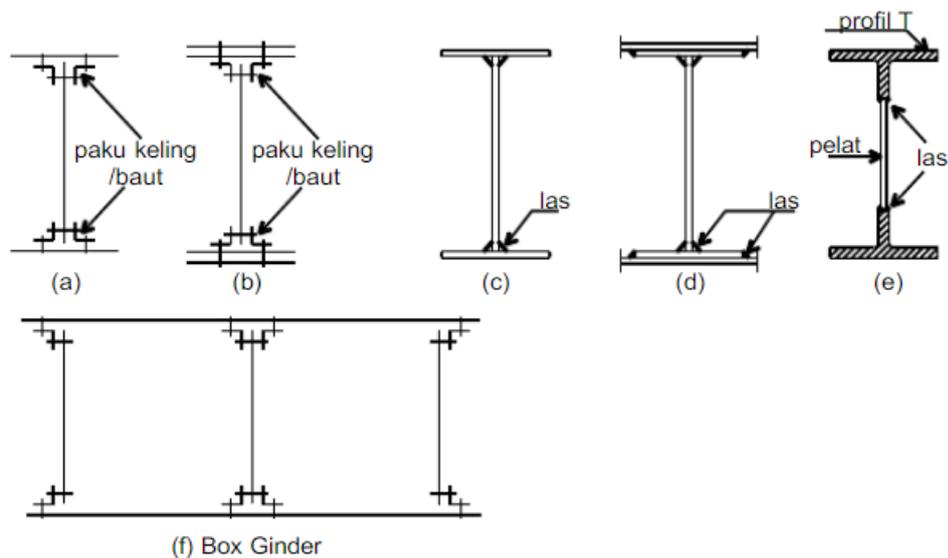
Pelat beton bertulang yang secara kaku dihubungkan dengan gelagar baja sering digunakan untuk membentuk superstruktur dasar sebagian besar jembatan geladak (*deck bridge*) selama beberapa dekade di Eropa. Beban langsung dari roda didistribusikan oleh aksi lentur yang diperkuat pelat lantai beton ke gelagar

komposit memanjang. Oleh karena itu, pelat lantai juga berperan sebagai diafragma dalam kasus pembebanan seismik, gaya pengereman, dan lain-lain (Steel Bridges-conceptual and Structural).

### 2.3 Pelat Girder

Balok Pelat berdingding penuh atau yang lebih sering disebut Pelat Girder adalah merupakan komponen struktur lentur yang tersusun dari beberapa elemen pelat. Balok pelat berdingding penuh pada dasarnya adalah sebuah balok. Dengan ukuran penampang melintang besar serta bentang yang Panjang. Penampang melintang yang besar tersebut merupakan konsekuensi dari panjangnya bentang balok (Agus Setiawan, 2008).

Pelat girder sendiri merupakan elemen struktur lentur tersusun yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan yang tidak dapat dilakukan oleh penampang baja gilas panas biasa. Bentuk umum dari pelat girder ini didesain yang terdiri atas dua flens yang disambung pada plat web yang relatif tipis dengan cara dilas atau menggunakan baut. Tinggi pelat web bisa jadi konstan atau menjadi lebih tinggi pada daerah yang memiliki momen besar. Contoh susunan pelat girder dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 3.** Metode penyambungan dalam penyusunan pelat girder

Dalam merencanakan dimensi pelat girder tebal badan pelat girder jika  $\frac{a}{h} \geq 1,5$  bisa diambil dari persamaan berikut:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{95000}{\sqrt{fy(fy + 115)}}$$

Lalu untuk merencanakan dimensi pelat sayap digunakan rumus berikut;

$$A_f = \frac{M_u}{0,90 \cdot h \cdot f_y} - \frac{A_w}{6}$$

Dengan  $A_w$  adalah luas web.

### 2.3.1 Perencanaan pengaku

#### 1. Pengaku Vertikal

Ciri-ciri suatu balok pelat berdinding penuh adalah adanya pengaku-pengaku vertikal yang dipasang. Dua macam parameter stabilitas balok pelat berdinding penuh adalah rasio  $h/t_w$  serta  $a/h$ . jika kedua parameter ini diambil serendah mungkin maka tekuk yang diakibatkan oleh geser dapat dihindarkan (Agus Setiawan, 2008).

$$A_s \geq 0,5 A_w \gamma \left( 1 - C_v \left[ \frac{a}{h} - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right] \right)$$

Keterangan :

$C_v$  : perbandingan antara kuat geser yang ditentukan pada sub-pasal 7.8.4 atau 7.8.5 terhadap kuat geser yang ditentukan oleh sub-pasal 7.8.3

$A_w$  : luas pelat badan, dinyatakan dalam milimeter per segi ( $\text{mm}^2$ )

$\gamma$  : 1,0 untuk sepasang pengaku; 1,8 untuk pengaku siku tunggal; 2,4 untuk pengaku pelat tunggal

#### 2. Pengaku Tumpuan

Lebar pengaku pada setiap sisi pelat badan harus lebih besar dari sepertiga lebar pelat sayap dikurangi setengah tebal pelat badan. Tebal pengaku harus lebih tebal dari setengah dari setengah tebal pelat sayap dan memenuhi persamaan berikut:

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

Keterangan:

$b_s$  : lebar pengaku  
 $t_s$  : tebal pengaku

## 2.4 Diafragma

Diafragma berperilaku sebagai balok horizontal untuk menahan gaya lateral dan gaya-gaya tidak seimbang yang terjadi disepanjang bentang melintang gelagar. Dalam rational analysis dibutuhkan dalam perhitungan gaya-gaya lateral pada diafragma. Diafragma juga berperan sebagai konektor transversal (Design of Highway Bridges, Richard M. Barker, 1997).

Diafragma atau yang biasa disebut juga *intermediate bracing* jenis ikatan perkuatan (*bracing*) berupa pelat yang menghubungkan antara balok gelagar arah memanjang jembatan. Fungsi dari diafragma ini adalah untuk menjaga agar gelagar tidak mengalami penekukan atau memuntir akibat dari beban yang dipikul oleh balok gelagar baja.

## 2.5 Penghubung Geser (*Shear Connector*)

Penghubung geser adalah alat sambung mekanik yang berfungsi memikul beban geser yang muncul di bidang kontak kedua material tersebut, sehingga pada keadaan komposit kedua material bekerja sama sebagai satu kesatuan.

Geser longitudinal pada antar muka balok baja-beton ditransfer dari pelat beton ke penghubung geser lalu ke gelagar baja. Untuk mencegah kegagalan geser atau pembelahan longitudinal, tulangan melintang yang sesuai harus disediakan lempengan untuk memungkinkan transfer ini (Steel Bridges-conceptual and Structural).

Penghubung geser adalah alat penghubung yang letaknya berada pada antara gelaagr baja dengan pelat lantai beton sehingga menghasilkan Kerjasama diantara kedua beban tersebut lalu menjadi satu kesatuan. Berikut dapat dilihat pada gambar 4 jenis alat penghubung geser: paku berkepala, pasak dan lain-lainnya.



**Gambar 4.** Jenis jenis penghubung geser

Penghubung geser dapat berupa jenis paku baja berkepala dengan panjang dalam kondisi terpasang tidak kurang dari 4 kali diameternya atau berupa penampang baja kanal gilass (*rolled*). Penghubung geser jenis paku dan penghubung geser kanal harus mengikuti ketentuan-ketentuan yang berlaku. Untuk mengetahui kekuatan penghubung geser jenis paku (*stud*) dengan rumus berikut:

$$Q_n = 0,5 A_{sc} \sqrt{f_c' E_c} \leq A_{sc} f_u$$

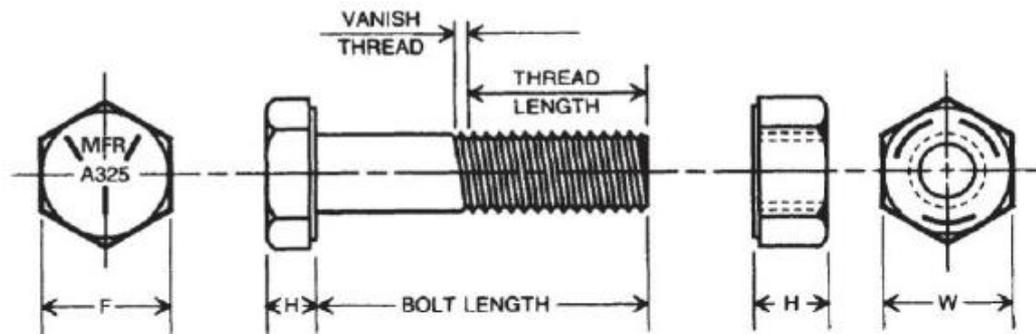
Keterangan:

- $A_{sc}$  : luas penampang penghubung geser jenis paku (*stud*)( $\text{mm}^2$ )
- $f_u$  : tegangan putus penghubung geser jenis paku (Mpa)
- $Q_n$  : kuat nominal geser untuk penghubung geser (N)
- $f_c'$  : kuat tekan beton pada umur 26 hari (Mpa)
- $E_c$  : modulus elastisitas (Mpa)

## 2.6 Sambungan Baut/Mur

Struktur baja merupakan suatu gabungan dari beberapa komponen batang yang disatukan dengan alat pengencang. Alat pengencang tersebut bisa berupa baut atau las. Baut merupakan salah satu alat pengencang profil baja baut mutu tinggi menggeser penggunaan paku keeling karena mempunyai kelebihan dibandingkan paku keeling, mampu menerima gaya lebih besar, jumlah tenaga kerja sedikit yang dibutuhkan, dan dapat menghemat biaya konstruksi. Dua tipe baut baja mutu tinggi yang distandarkan ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut ini memiliki bentuk

kepala segi enam, baut A325 terbuat dari baja karbon yang memiliki kuat leleh 560-630 Mpa, baut A490 terbuat dari baja *alloy* dengan kuat leleh 790-900 Mpa, tergantung pada diameter.



**Gambar 5.** Baut bermutu tinggi

### 2.6.1 Kekuatan Tarik dan Geser Baut

Kekuatan tarik atau geser desain,  $\phi R_n$ , dan kekuatan tarik atau geser izin,  $R_n/\Omega$ , pada baut yang dikencangkan pas atau baut kekuatan tinggi pratarik atau bagian berulir harus ditentukan sesuai dengan keadaan batas keruntuhan tarik dan keruntuhan geser sebagai berikut:

$$R_n = F_n A_b$$

Keterangan:

$R_n$  : Kekuatan tarik atau geser nominal (MPa)

$F_n$  : Tegangan tarik nominal,  $F_{nt}$ , atau tegangan geser nominal,  $F_{nv}$   
(MPa)

$A_b$  : Luas tubuh baut ( $\text{mm}^2$ )

### 2.6.2 Kekuatan Tumpu dan Sobek pada Lubang Baut

Kekuatan nominal material yang disambung,  $R_n$ , ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk baut pada sambungan dengan lubang standar, ukuran berlebih dan slot pendek, tidak tergantung dari arah beban, atau lubang slot panjang dengan slot tersebut parallel terhadap arah gaya tumpu:
  - a. Tumpu

- 1) Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah tinjauan desain

$$R_n = 2,4dtF_u$$

- 2) Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah bukan merupakan tinjauan desain

$$R_n = 3,0dtF_u$$

b. Sobek

- 1) Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah tinjauan desain

$$R_n = 1,2l_c t A_b$$

- 2) Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah bukan merupakan tinjauan desain

$$R_n = 1,5l_c t A_b$$

2. Untuk baut pada sambungan dengan lubang slot panjang dengan slot tersebut tegak lurus terhadap gaya:

a. Tumpu

$$R_n = 2,0dtF_u$$

b. Sobek

$$R_n = 1,0l_c t F_u$$

Keterangan:

$F_u$  : Kekuatan tarik minimum terspesifikasi material yang disambung (MPa)

$d$  : diameter baut nominal (mm)

$l_c$  : jarak bersih, dalam arah gaya, antara tepi lubang dan tepi lubang yang berdekatan atau tepi material (mm)

$t$  : tebal material yang disambung (mm)

## 2.7 Pembebanan Jembatan

Peraturan pembebanan yang akan dijadikan acuan dalam merencanakan jembatan komposit ini adalah peraturan SNI 1725:2016 Tentang Pembebanan untuk jembatan. beban-beban yang akan direncanakan meliputi :

### 2.7.1 Beban permanen

1. Berat isi untuk beban mati

Berdasarkan SNI 1725:2016 bahwa massa setiap bagian bangunan harus dihitung berdasarkan dimensi yang tertera dalam gambar dan berat jenis bahan yang digunakan. Berat dari bagian-bagian tersebut adalah massa dikalikan percepatan gravitasi ( $g$ ). Dalam hal ini, percepatan gravitasi yang digunakan adalah sebesar  $9,81 \text{ m/detik}^2$ . Besarnya massa dan berat isi terdapat pada tabel 1

**Tabel 1.** Berat isi untuk beban mati

No	Bahan	Berat Isi ( $\text{kN/m}^3$ )	Kerapatan Massa ( $\text{kg/m}^3$ )
1	Lapisan permukaan beraspal (bituminous wearing surfaces)	22,0	2245
2	Besi tulangan (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 concrete)	22,0	2245
6	Beton ringan (low density)	12,5 – 19,6	1250 - 2000
	Beton		
7	$fc' < 35 \text{ Mpa}$	22,0 s/d 25,0	2320
	$35 \text{ MPa} < fc' < 105 \text{ MPa}$	$22 + 0,022fc'$	$220 + 2,29 fc'$
8	Baja (steel)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu (keras)	11,0	1125

(Sumber : SNI 1725:2016)

## 2. Berat Sendiri

Berat sendiri pada struktur jembatan terdiri dari berat seluruh bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ataupun nonstruktural yang dianggap tetap. Faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri terdapat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe Beban	Bahan	Faktor Beban ( $\gamma_{MS}$ )		
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma^s_{MS}$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma^u_{MS}$ )	
			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 Cor di Tempat	1,00	1,30	0,75
Kayu	1,00	1,40	0,70

(Sumber : SNI 1725:2016)

### 3. Berat Mati Tambahan

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Faktor beban yang digunakan untuk beban mati tambahan terdapat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe Beban	Faktor Beban ( $\gamma^{MS}$ )			
	Keadaan Batas Layan ( $\gamma^{MA}$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma^{MA}$ )	
	Keadaan Umum		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum		1,00	2,00
	Khusus (Terawasi)		1,00	1,40

(Sumber : SNI 1725:2016)

### 2.7.2 Beban lalu lintas

#### 1. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam pada gambar 1. Faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” terdapat pada tabel 4

**Tabel 4.** Faktor beban untuk beban lajur “D”

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

(Sumber : SNI 1725:2016)

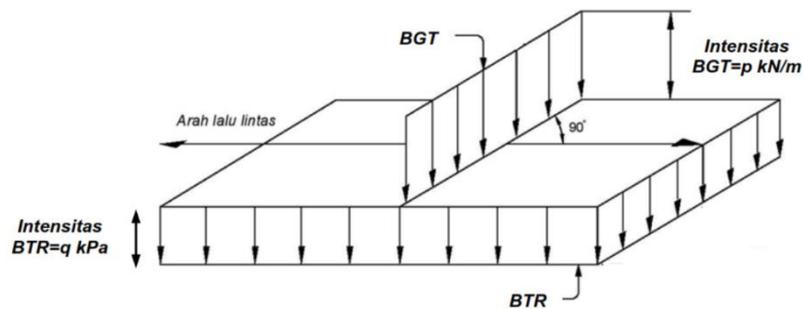
Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung pada panjang total yang dibebani  $L$  yaitu seperti berikut:

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

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

Keterangan:

- q : Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang Jembatan (kPa)  
 l : Panjang total jembatan yang dibebani (meter)



**Gambar 6.** beban lajur “D”

Beban garis terpusat (BTR) dengan intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas adalah 49,0 kN/m.

## 2. Beban Truk “T”

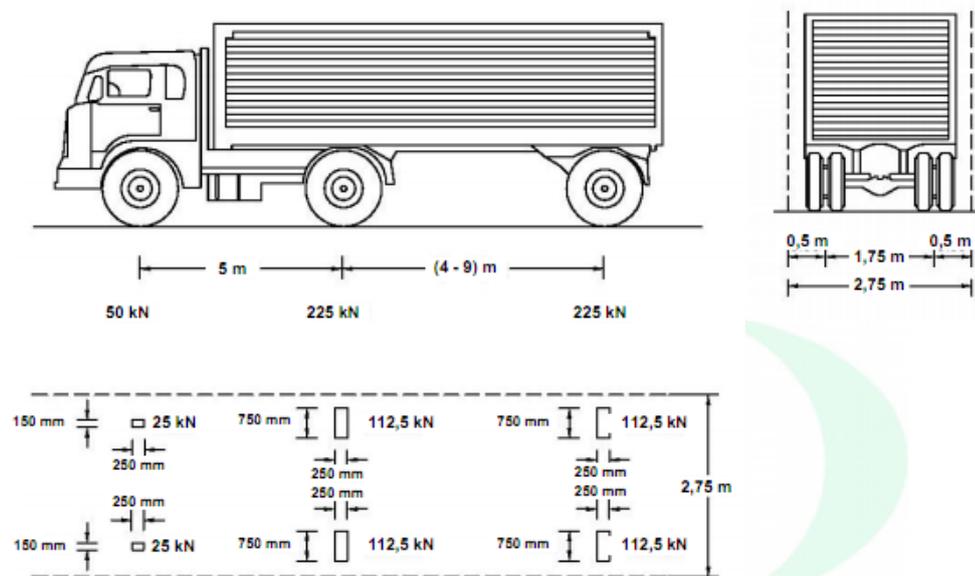
Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban lajur “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Faktor beban untuk beban truk “T” terdapat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Faktor beban untuk beban “T”

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{TT}^s$ )	Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{TT}^u$ )
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725:2016)

Pembebebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat pada gambar 7.

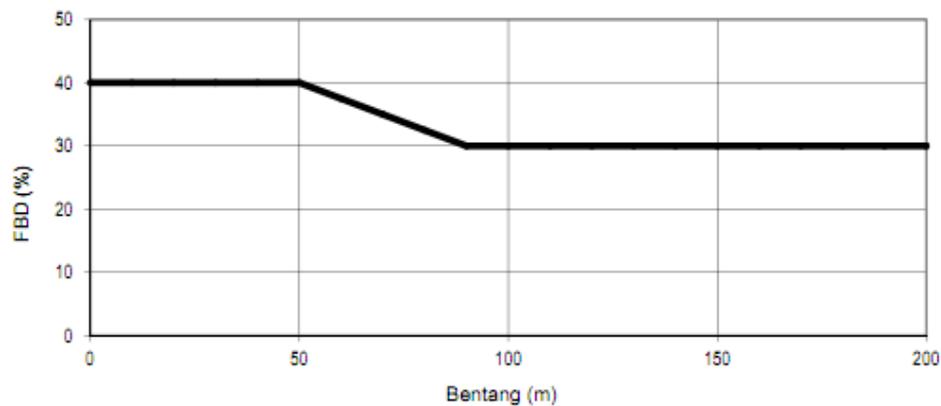


**Gambar 7.** konfigurasi pembebanan truk “T”

Berat dari tiap – tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata sama besaryang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa diubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruhh terbesar pada arah memanjang jembatan. Pada umumnya hanya ada satu kendaraan truk “T” yang bisa ditempatkan pada satu lajur lalu lintas rencana. Untuk jembatan sangat panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk “T” harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk “T” harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam gambar 6.

### 3. Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) diterapkan untuk beban truk rencana sedangkan untuk gaya sentrifugal dan gaya rem tidak perlu diperbesar. Faktor beban dinamis tidak perlu diterapkan pada beban pejalan kaki atau beban terbagi rata (BTR). Untuk pembebanan truk “T”, FBD diambil 40%. Nilai FBD yang dihitung digunakan pada seluruh bagian bangunan yang berada di atas 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 meter.



**Gambar 8.** faktor beban dinamis untuk beban “T” untuk pembebanan lajur “D”

#### 4. Gaya Rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

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

Gaya rem tersebut harus ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan lajur lalu lintas rencana dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

#### 5. Pembebanan untuk Pejalan kaki

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotar dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus diterapkan pada jarak 250 mm dari terpi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

### 2.7.3 Beban angin

1. Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar ( $V_B$ ) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana,  $V_{DZ}$ , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

- $V_{DZ}$  : Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)  
 $V_{10}$  : Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)  
 $V_B$  : Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm (km/jam)  
 $Z$  : Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan Air dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm) (mm)  
 $V_0$  : Kecepatan gesekan angin berdasarkan tipe permukaan di hulu jembatan (km/jam)  
 $Z_0$  : Panjang gesekan di hulu jembatan (mm)

**Tabel 6.** 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)

## 2. Beban Angin pada Struktur

Jika dibenarkan oleh kondisi setempat, perencana dapat menggunakan kecepatan angin rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan yang tidak melibatkan kondisi beban angin yang bekerja pada kendaraan. Arah angin rencana harus diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam instabilitas aerolastik. Dengan tidak adanya data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Keterangan:

$P_B$  : Tekanan angin dasar (MPa)

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

$V_B$  : Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 1000 mm (km/jam)

**Tabel 7.** Tekanan angin dasar

<b>Komponen Bangun</b>	<b>Angin Tekan</b>	<b>Angin Hisap</b>
<b>Atas</b>	<b>(MPa)</b>	<b>(MPa)</b>
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

(Sumber : SNI 1725:2016)

### 3. Beban Angin pada Kendaraan

Tekanan angin rencana harus dikerjakan baik pada struktur jembatan maupun pada kendaraan yang melintasi jembatan. Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm diatas permukaan jalan. Kecuali jika angin yang bekerja tidak tegak lurus struktur, maka komponen yang bekerja tegak lurus maupun paralele terhadap kendaraan untuk berbagai sudut serang dapat diambil pada tabel 8 dimana arah sudut serang ditentukan tegak lurus terhadap arah permukaan kendaraan.

**Tabel 8.** Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan

<b>Sudut</b>	<b>Komponen Tegak</b>		<b>Komponen Sejajar</b>
	<b>Lurus</b>		
<b>(°)</b>	<b>(N/mm)</b>		<b>(N/mm)</b>
0	1,46		0,00
15	1,28		0,18

Sudut (°)	Komponen Tegak	Komponen Sejajar
	Lurus (N/mm)	(N/mm)
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

(Sumber : SNI 1725:2016)

#### 4. Tekanan Angin Vertikal

Jembatan harus mampu memikul beban garis memanjang jembatan yang mempresentasikan gaya angin vertikal ke atas sebesar  $9,6 \times 10^{-4}$  MPa dikalikan lebar jembatan, termasuk parapet dan trotoar. Gaya ini harus ditinjau hanya untuk Keadaan Batas Kuat III dan Layan IV yang tidak melibatkan angin pada kendaraan, dan hanya ditinjau untuk kasus pembebanan dimana arah angin dianggap bekerja tegak lurus terhadap sumbu memanjang jembatan. Gaya memanjang tersebut mempunyai titik tangkap pada seperempat lebar jembatan dan bekerja secara bersamaan dengan beban angin horizontal.

#### 2.7.4 Beban Gempa

Jembatan harus dirancang sedemikian rupa agar kemungkinan terjadinya keruntuhan kecil, tetapi dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastis ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasikan dengan factor modifikasi respons ( $R_d$ ) dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$

Keterangan:

$E_Q$  : Gaya gempa horizontal statis (kN)

$C_{sm}$  : Koefisien respons gempa elastis

$R_d$  : Faktor modifikasi respons

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

Koefisien respon elastik  $C_{sm}$  diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11 sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan peta gempa dikalikan dengan suatu faktor amplifikasi sesuai dengan kondisi tanah sampai kedalaman 30 m di bawah struktur jembatan.

#### 1. Kelas Situs

Klasifikasi situs ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan yang didasarkan pada korelasi dengan hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium sesuai dengan Tabel 9.

**Tabel 9.** Kelas Situs

<b>Kelas Situs</b>	$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
Batuan Keras	$\bar{v}_s \geq 1500$	N/A	N/A
Batuan	$750 \leq \bar{v}_s \leq 1500$	N/A	N/A
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 \leq \bar{v}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 100$
Tanah Sedang	$175 \leq \bar{v}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$50 \leq \bar{s}_u \leq 100$
Tanah Lunak	$\bar{v}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 50$

Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Indeks plastisitas,  $PI > 20$ ,
2. Kadar air ( $w$ )  $\geq 40\%$ , dan
3. Kuat geser tak terdrainase  $\bar{s}_u < 25$  kPa

Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti:

Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik

- Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah
- Lempung organik dan/atau gambut (dengan ketebalan  $> 3$ m)

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/s)	$\bar{N}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
	- Plastisitas tinggi (ketebalan H > 7,5m dengan PI > 75)		
	- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan H > 35m		

(Sumber: SNI 2833:2016)

## 2. Faktor Situs

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi untuk PGA, periode pendek (T=0,2 detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar ( $F_{PGA}$ ), faktor amplifikasi periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Tabel 10 dan Tabel 11 memberikan nilai-nilai  $F_{PGA}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v$  untuk berbagai klasifikasi jenis tanah.

**Tabel 10.** Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik ( $F_{PGA}F_a$ )

Kelas situs	PGA ≤	PGA =	PGA =	PGA ≤	PGA >
	0,1	0,1	0,3	0,4	0,5
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,6	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

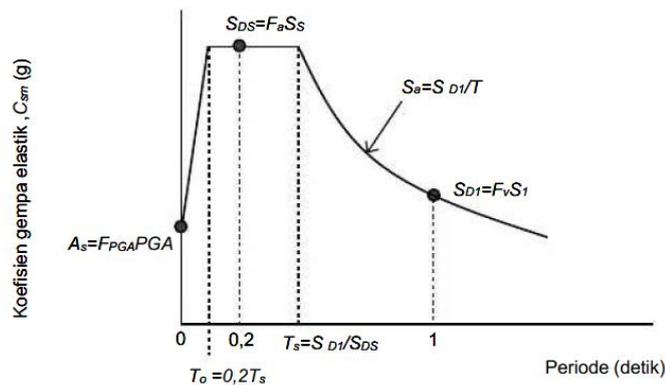
(Sumber: SNI 2833:2016)

**Tabel 11.** Besarnya nilai factor amplifikasi untuk periode 1 detik

Kelas situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,6	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)

3. Respon Spektra Rencana Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum sistem berderajat kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spectra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan.

**Gambar 9.** Respon Spektra dipermukaan tanah

Respon spektra di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun ( $PGA$ ,  $S_s$  dan  $S_1$ ), serta nilai faktor amplifikasi  $F_{PGA}$ ,  $F_a$ , dan  $F_v$ . Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut:

$$A_S = F_{PGA} \times PGA$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s$$

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

#### 4. Koefisien Respon Gempa Elastik

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

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

- d. Untuk periode lebih besar atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , koefisien respons gempa elastik ( $C_{sm}$ ) didapatkan dari persamaan berikut:

$$C_{sm} = S_{DS}$$

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

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan:

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

$S_{D1}$  : nilai spektra permukaan tanah pada periode

$T_0$  :  $0,2 T_s$

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

#### 5. Kategori Kinerja Seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) sesuai Tabel 12. Kategori tersebut menggambarkan variasi risiko seismik dan digunakan untuk penentuan metode analisis, panjang tumpuan minimum, detail perencanaan kolom, serta prosedur desain fondasi dan kepala jembatan.

**Tabel 12.** Zona Gempa

Koefisien percepatan ( $S_{D1}$ )	Zona Gempa
$S_{D1} \leq 0,15$	1
$0,15 < S_{D1} \leq 0,30$	2
$0,30 < S_{D1} \leq 0,50$	3
$S_{D1} > 0,50$	4

(Sumber: SNI 2833:2016)







## 2.8 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 1725:2016 tentang “Pembebanan untuk jembatan”. Komponen dan sambungan pada jembatan harus melebihi tahanan nominal untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut:

1. 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

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 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 berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal, tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya.

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.

9. Layan II

Kombinasi pembebanan yang ditujukan untuk mencegah terjadinya pelelehan pada struktur 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 pada kolom beton pratekan dengan tujuan mengontrol besarnya retak.

**Tabel 13.** Kombinasi Pembebanan

Keadaan batas	<i>MS</i>	<i>TT</i>								Gunakan salah satu						
	<i>MA</i>	<i>TD</i>	<i>PR</i>	<i>TB</i>	<i>PL</i>	<i>TR</i>	<i>EU</i>	<i>EW<sub>S</sub></i>	<i>EW<sub>L</sub></i>	<i>BF</i>	<i>EU<sub>n</sub></i>	<i>TG</i>	ES	<i>EQ</i>	TC	TV
	<i>SH</i>	<i>TP</i>														
Kuat I	$\gamma_p$	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-	-	-	-	-
Kuat II	$\gamma_p$	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-	-	-	-	-
Kuat III	$\gamma_p$	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-	-	-	-	-
Kuat IV	$\gamma_p$	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kuat V	$\gamma_p$	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-	-	-	-	-
Ekstrem I	$\gamma_p$	-	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-
Ekstrem II	$\gamma_p$	-	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-	1,00	1,00	-
Daya Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-	-	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{ES}$	-	-	-	-	-	-	-
Daya Layan IV	1,00	-	-	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Sumber: SNI 1725:2016)

Catatan :  $-\gamma_p$  dapat berupa  $\gamma_{MS}$ ,  $\gamma_{MA}$ ,  $\gamma_{TA}$ ,  $\gamma_{PR}$ ,  $\gamma_{PL}$ ,  $\gamma_{SH}$  tergantung beban yang ditinjau,  $\gamma_{EQ}$  adalah faktor beban hidup kondisi gempa.