

SKRIPSI

PEMODELAN JEMBATAN PELENGKUNG BAJA

Disusun dan diajukan oleh:

**ANDI AFDALIHILLAH RUSTAM
D011 19 1075**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PEMODELAN JEMBATAN PELENGKUNG BAJA

Disusun dan diajukan oleh

ANDI AFDALIHILLAH RUSTAM
D011 19 1075

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 12 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T
NIP.197206192000122001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng
NIP.198702282019031005

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Andi Afdalihillah Rustam
NIM : D011 19 1075
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PEMODELAN JEMBATAN RANGKA BAJA

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, 12 Oktober 2023

Yang Menyatakan



Andi Afdalihillah Rustam

ANDI AFDALIHILLAH RUSTAM

ABSTRAK

ANDI AFDALIHILLAH RUSTAM. *Pemodelan Jembatan Pelengkung Baja* (dibimbing oleh Prof. Dr. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT. dan Dr. Eng. Fakhruddin, ST., M.Eng)

Bertambahnya jumlah penduduk akan menyebabkan aktivitas ekonomi suatu daerah juga akan meningkat. Hal ini akan menimbulkan terjadinya pergerakan masyarakat dari satu tempat ke tempat lain dengan frekuensi yang lebih sering dan jumlah yang lebih banyak. Oleh karena itu diperlukan jembatan sebagai infrastruktur yang dapat membuka aksesibilitas kepada masyarakat ke daerah baru dan pasar-pasar ekonomi yang lebih besar. Tujuan penelitian ini adalah untuk merencanakan balok gelagar, ikatan angin, *hangers*, rangka utama, dan menentukan jenis pembebanan yang akan digunakan serta memodelkan dan menganalisis struktur jembatan pelengkung. Analisa dan perhitungan yang dilakukan dalam perencanaan menggunakan peraturan RSNI T-03-2005, SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, dan peraturan lain yang berkaitan dengan perencanaan jembatan baja. Selain itu digunakan perangkat lunak RSAP 2023 sebagai program untuk memodelkan, menganalisa struktur jembatan. Metode perancangan jembatan diawali dengan *preliminary design* untuk menentukan geometri struktur, dimensi profil, dan beban-beban yang akan ditinjau, kemudian akan dimodelkan dalam program analisa untuk memperoleh gaya dalam pada setiap elemen struktur. Selanjutnya, dilakukan kontrol secara manual sesuai dengan ketentuan ataupun persyaratan desain. Hasil analisa dan perhitungan diperoleh dimensi profil gelagar memanjang WF 762X267X197, gelagar melintang WF 838X292X226, *lateral beam* WF 914X419X388, ikatan angin SHS 250X250X10, rangka pelengkung atas dan bawah SHS 400X400X16, rangka vertikal dan diagonal SHS 350X350X12, diameter *hangers* 40 mm, dan perletakan tipe *pot bearing*. Secara keseluruhan elemen struktur jembatan dapat memikul beban permanen, beban lalu lintas, beban angin, beban gempa dan memenuhi persyaratan desain.

Kata Kunci: Jembatan, *Half-Through Truss Arch*, *Robot Structural Analysis Professional*

ABSTRACT

ANDI AFDALIHILLAH RUSTAM. Modeling of Steel Arch Bridge (supervised by Prof. Dr. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT. and Dr. Eng. Fakhruddin, ST., M.Eng)

An increase in population will lead to an increase in economic activities in a region. This will result in more frequent and higher-volume movements of people from one place to another. Therefore, bridges are needed as infrastructure to provide accessibility to the community to new areas and larger economic markets. The purpose of this research is to design the main girder, wind bracing, hangers, main frame, and determine the type of loading to be used, as well as to model and analyze the steel arch bridge structure. The analysis and calculations are conducted based on the regulations RSNI T-03-2005, SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, and other regulations related to steel bridge design. The RSAP 2023 software is used for modeling and analyzing the bridge structure. The bridge design method begins with preliminary design to determine the structural geometry, profile dimensions, and loads to be considered. Then, the structure is modeled in the analysis program to obtain internal forces in each structural element. Next, manual checks are performed in accordance with design requirements. The analysis and calculations yield the dimensions of the main girder profiles as follows: longitudinal girder WF 762X267X197, transverse girder WF 838X292X226, lateral beam WF 914X419X388, wind bracing SHS 250X250X10, upper and lower arch frames SHS 400X400X16, vertical and diagonal frames SHS 350X350X12, hanger diameter 40 mm, and overall placement of pot bearing types. The bridge structure can carry permanent loads, traffic loads, wind loads, earthquake loads, and meet the design requirements.

Keywords: Bridge, Half-Through Truss Arch, Robot Structural Analysis Professional.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
KATA PENGANTAR	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Jembatan Pelengkung (<i>Arch Bridge</i>).....	5
2.1.1 Tipe-tipe jembatan pelengkung.....	5
2.1.2 Rasio tinggi pelengkung.....	8
2.2 Lantai Jembatan (<i>Deck</i>).....	8
2.3 <i>Hangers</i>	9
2.4 Ikatan angin (<i>Bracing</i>).....	11
2.5 Pembebanan Jembatan	11
2.5.1 Beban permanen.....	12
2.5.2 Beban lalu lintas.....	13
2.5.3 Beban angin.....	17
2.5.4 Beban gempa.....	20
2.6 Sambungan Baut.....	29
2.6.1 Kekuatan Geser Nominal Baut dalam Sambungan Gesek.....	29
2.6.2 Kekuatan Tumpuan Nominal Pelat Lapis	29
2.7 Kombinasi Pembebanan	30
BAB III METODE PERANCANGAN/PENELITIAN	32
3.1 Gambaran Umum	32
3.2 Standar dan Rujukan yang Digunakan	32
3.3 Bagan Alir	34
3.4 Data Perencanaan	35

3.5	Beban-Beban yang Bekerja	36
3.5.1	Beban permanen.....	37
3.5.2	Beban lalu lintas.....	38
3.5.3	Beban angin.....	40
3.5.4	Beban gempa.....	41
3.6	Pemodelan Struktur	42
3.7	Kombinasi pembebanan	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		52
4.1	Preliminary Desain	52
4.1.1	Perencanaan Geometri Pelengkung	52
4.1.2	Perencanaan Gelagar Memanjang.....	53
4.1.3	Perhitungan Momen dan Gaya Geser Pada Gelagar Memanjang... 54	
4.1.4	Perencanaan Gelagar Melintang	57
4.1.5	Perhitungan Momen dan Gaya Geser Gelagar Melintang	58
4.1.6	Perencanaan <i>Shear Connector</i>	63
4.1.7	Perencanaan Lateral Beam.....	64
4.1.8	Perencanaan Ikatan Angin.....	66
4.1.9	Perencanaan Rangka Utama.....	67
4.2	Hasil Analisis Struktur	69
4.2.1	Gaya Dalam Struktur.....	69
4.2.2	Kontur Gaya Dalam Struktur	71
4.2.3	Lendutan Dalam Struktur.....	73
4.3	Kontrol Elemen Struktur Jembatan	74
4.3.1	Kontrol Elemen Gelagar Memanjang	75
4.3.2	Kontrol Elemen Gelagar Melintang	80
4.3.3	Kontrol Elemen Lateral Beam	84
4.3.4	Kontrol Elemen Ikatan Angin	89
4.3.5	Kontrol Elemen Rangka Utama	92
4.3.6	Kontrol Elemen <i>Hangers</i>	101
4.4	Perencanaan Sambungan	102
4.5	Perencanaan Perletakan	106
4.5.1	Pembebanan Horizontal Perletakan	107
4.5.2	Pembebanan Vertikal Perletakan	109
4.5.3	Pemilihan Perletakan.....	109
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		111
5.1	Kesimpulan.....	111

5.2	Saran	112
	DAFTAR PUSTAKA	113
	LAMPIRAN.....	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Jembatan pelengkung terjepit (<i>Fixed Arch</i>).....	6
Gambar 2. Jembatan pelengkung dua sendi (<i>Two-hinged Arch</i>).....	6
Gambar 3. Jembatan pelengkung tiga sendi (<i>Three-hinged Arch</i>).....	6
Gambar 4. Jembatan pelengkung terjepit (<i>Tied Arch</i>).....	7
Gambar 5. Jembatan pelengkung lantai atas (<i>Deck Arch</i>).....	7
Gambar 6. Jembatan pelengkung lantai bawah (<i>Through Arch</i>).....	7
Gambar 7. Jembatan pelengkung setengah lantai (<i>Through Arch</i>).....	8
Gambar 8. Rasio tinggi pelengkung.....	8
Gambar 9. Lantai jembatan pada jembatan pelengkung.....	9
Gambar 10. Susunan <i>hangers</i> jembatan pelengkung.....	10
Gambar 11. Tipe <i>hanger</i> kabel dan batang.....	10
Gambar 12. Tipe ikatan angin pada jembatan pelengkung.....	11
Gambar 13. Beban lajur “D”.....	14
Gambar 14. Konfigurasi beban hidup “D”.....	15
Gambar 15. Konfigurasi pembebanan truk “T”.....	16
Gambar 16. Faktor beban dinamis beban “T” untuk pembebanan lajur “D”.....	16
Gambar 17. Respon spektra dipermukaan tanah.....	23
Gambar 18. Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA).....	26
Gambar 19. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar.....	27
Gambar 20. Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar.....	28
Gambar 21. Baut kekuatan tinggi.....	29
Gambar 22. Lokasi Jembatan Siak I.....	32
Gambar 23. Bagan alir perencanaan jembatan.....	34
Gambar 24. Tampak memanjang jembatan.....	36
Gambar 25. Potongan melintang jembatan.....	36
Gambar 26. Desain respons spektrum rencana.....	41
Gambar 27. Website penginputan desain respons spektrum.....	42
Gambar 28. Pendefinisian material jembatan.....	44
Gambar 29. Pendefinisian profil penampang.....	45
Gambar 30. Pendefinisian tipe beban.....	46
Gambar 31. Penginputan data garis sumbu x,y, dan z.....	46
Gambar 32. Pemodelan garis sumbu x,y, dan z.....	47
Gambar 33. Pemodelan <i>lateral beam</i> dan <i>cross girder</i>	47
Gambar 34. Pemodelan <i>stringers</i>	48
Gambar 35. Pemodelan top chord, bottom chord, <i>vertical member</i>	48
Gambar 36. Pemodelan diagonal member.....	48
Gambar 37. Pemodelan strut dan bracing jembatan.....	49
Gambar 38. Pemodelan <i>hangers</i> jembatan.....	49
Gambar 39. Pemodelan tumpuan jembatan.....	50
Gambar 40. Model akhir jembatan pelengkung.....	50
Gambar 41. Sketsa profil gelagar memanjang.....	53
Gambar 42. Sketsa profil gelagar melintang.....	57
Gambar 43. Pembebanan akibat beban mati sebelum komposit.....	60
Gambar 44. Pembebanan akibat beban mati akibat pelat beton.....	60
Gambar 45. Pembebanan akibat beban mati setelah komposit.....	60

Gambar 46. Pembebanan akibat beban lajur “D” dan pejalan kaki.....	61
Gambar 47. Pembebanan akibat beban truk “T” dan pejalan kaki.....	61
Gambar 48. Sketsa profil <i>lateral beam</i>	65
Gambar 49. Sketsa profil ikatan angin	66
Gambar 50. Sketsa profil rangka utama	67
Gambar 51. Diagram gaya dalam FX.....	69
Gambar 52. Diagram gaya dalam FY	69
Gambar 53. Diagram gaya dalam FZ	70
Gambar 54. Diagram gaya dalam MX.....	70
Gambar 55. Diagram gaya dalam MY.....	70
Gambar 56. Diagram gaya dalam MZ.....	71
Gambar 57. Kontur gaya dalam FX	71
Gambar 58. Kontur gaya dalam FY	72
Gambar 59. Kontur gaya dalam FZ.....	72
Gambar 60. Kontur gaya dalam MX	72
Gambar 61. Kontur gaya dalam MY	73
Gambar 62. Kontur gaya dalam MZ.....	73
Gambar 63. Lendutan akibat kombinasi Kuat I.....	74
Gambar 64. Gaya aksial tekan maksimum ikatan angin atas	89
Gambar 65. Gaya aksial tarik maksimum ikatan angin atas.....	91
Gambar 66. Gaya aksial tekan maksimum pelengkung atas	93
Gambar 67. Gaya aksial tarik maksimum pelengkung atas.....	94
Gambar 68. Gaya aksial tekan maksimum rangka vertikal	96
Gambar 69. Gaya aksial tarik maksimum rangka vertikal	97
Gambar 70. Gaya aksial tekan maksimum rangka diagonal	99
Gambar 71. Gaya aksial tarik maksimum rangka diagonal.....	100
Gambar 72. Penomoran elemen <i>Hangers</i>	101
Gambar 73. Reaksi perletakan akibat kombinasi Ekstrem I.....	107
Gambar 74. Total berat struktur	107
Gambar 75. Periode alami struktur.....	108
Gambar 76. Reaksi perletakan akibat kombinasi Kuat I	109

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Berat isi untuk beban mati.....	12
Tabel 2. Faktor beban untuk berat sendiri	13
Tabel 3. Faktor beban untuk beban mati tambahan.....	13
Tabel 4. Faktor beban untuk beban lajur “D”	14
Tabel 5. Faktor beban untuk beban “T”	15
Tabel 6. Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu	18
Tabel 7. Tekanan angin dasar	18
Tabel 8. Komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan	19
Tabel 9. Kelas Situs	20
Tabel 10. Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0,2 detik (F_{PGA}/F_a)	22
Tabel 11. Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)	22
Tabel 12. Zona gempa	24
Tabel 13. Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur..	25
Tabel 14. Rekapitulasi rencana beban mati tambahan	38
Tabel 15. Parameter Desain Seismik.....	42
Tabel 16. Kombinasi pembebanan dan faktor beban	51
Tabel 17. Rekapitulasi momen dan gaya geser gelagar memanjang.....	56
Tabel 18. Rekapitulasi momen pada gelagar melintang.....	63
Tabel 19. Rekapitulasi gaya geser gelagar melintang	63
Tabel 20. Rekapitulasi lendutan setiap kombinasi	74
Tabel 21. Batas panjang tekuk lateral gelagar memanjang	78
Tabel 22. Momen nominal tekuk lateral gelagar memanjang	78
Tabel 23. Rekapitulasi gaya aksial pada <i>hangers</i>	102
Tabel 24. Gaya tarik minimum baut.....	103
Tabel 25. Luas baut	103
Tabel 26. Jumlah baut setiap elemen jembatan	105
Tabel 27. Kontrol jarak antar baut setiap elemen struktur	105
Tabel 28. Kontrol jarak tepi baut setiap elemen struktur	106
Tabel 29. Kontrol kekuatan pelat penyambung.....	106
Tabel 30. Total berat struktur	108
Tabel 31. Total gaya vertikal struktur	109
Tabel 32. Rekapitulasi gaya pada perletakan	110

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
V_{DZ}	Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana
V_{10}	Kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah
V_B	Kecepatan angin rencana elevasi 1000 mm
Z	Elevasi struktur diukur dari permukaan tanah
V_0	Kecepatan gesekan angin berdasarkan tipe permukaan di hulu jembatan
Z_0	Panjang gesekan di hulu jembatan
P_B	Tekanan angin dasar
E_Q	Gaya gempa horizontal statis
C_{sm}	Koefisien respons gempa elastis
R_d	Faktor modifikasi respons
W_t	Berat total struktur
\bar{v}_s	Rerata cepat rambat gelombang geser
\bar{N}	Nilai rata-rata uji penetrasi standar
\bar{s}_u	Rerata kuat geser tak terdrainase
PGA	Percepatan puncak di batuan dasar
S_s	Percepatan 0,2 detik di batuan dasar
S_1	Percepatan 1 detik di batuan dasar
L	Panjang gelagar memanjang (m)
s	Jarak antar gelagar memanjang (m)
f_y	Tegangan leleh (MPa)
f_u	Tegangan Putus (MPa)
E	Modulus Elastisitas (MPa)
H	Tinggi (mm)
B	Lebar sayap (mm)
h_o	Tinggi web (mm)
r	Radius (mm)
t_w	Tebal web (mm)
t_f	Tebal flange (mm)
A_x	Luas penampang (mm ²)
W_x	Berat penampang (kN/m)
I_x	Inersia X (mm ⁴)
I_y	Inersia Y (mm ⁴)
Z_x	Modulus penampang plastis sumbu x (mm ³)
S_x	Modulus penampang elastis sumbu x (mm ³)
J	Konstanta torsi (mm ⁴)
ρ_{beton}	Berat jenis beton (kN/m ³)
ρ_{aspal}	Berat jenis aspal (kN/m ³)
$t_{pelat\ beton}$	Tebal pelat beton (m)
t_{aspal}	Tebal aspal (m)
γ^{uMS}	Faktor beban sendiri
γ^{uMA}	Faktor beban mati tambahan

γ^{uTD}	Faktor beban lajur "D"
γ^{uTT}	Faktor beban lajur "D"
q_{beton}	Beban mati pelat beton (kN/m)
q_{aspal}	Beban mati aspal (kN/m)
q_w	Berat sendiri stringers (kN/m)
$q_{D(U)}$	Berat total sendiri (kN/m)
$q_{L(BTR)}$	Beban terbagi rata (kN/m)
FBD	Faktor beban dinamis
$p_{L(BGT)}$	Beban garis terpusat (kN)
m_s	Beban roda rencana (kN)
$T_{(U)}$	Beban truk (kN)
$M_{D(U)}$	Momen akibat beban mati (kNm)
$M_{L(U)}$	Momen akibat beban lajur "D" (kNm)
$M_{T(U)}$	Momen akibat beban truk (kNm)
$M_{\text{total}(U)}$	Momen total (kNm)
$M_{(U)}$	Momen rencana (kNm)
$V_{D(U)\text{max}}$	Gaya geser akibat beban mati (kN)
$V_{L(U)\text{max}}$	Gaya geser akibat beban lajur "D" (kN)
$V_{T(U)\text{max}}$	Gaya geser akibat beban truk "T" (kN)
$V_{\text{Total}(U)}$	Gaya geser total (kN)
$V_{(U)}$	Gaya geser rencana (kN)
$M_{(U)-}$	Momen negatif rencana (kNm)
$M_{(U)+}$	Momen positif rencana (kNm)
$V_{(U)+}$	Gaya geser rencana (kN)
λ	Sayap
λ_{pf}	Kelangsingan maksimum penampang kompak
λ_{rf}	Kelangsingan maksimum penampang non kompak
ϕ	Faktor reduksi
M_n	Momen nominal rencana (Nmm)
V_a	Gaya total (kN)
M_A	Momen pada 1/4 bentang (kNm)
M_{max}	Momen maksimum (momen di tengah bentang) (kNm)
C_b	Faktor modifikasi momen nominal
L_b	Batas panjang antara lateral support (mm)
L_p	Batas panjang lateral untuk keadaan leleh (mm)
L_r	Batas panjang untuk keadaan batas tekuk torsi lateral
M_p	Momen lentur plastis (Nmm)
M_r	Momen residual (Nmm)
A_w	Luas badan (mm ²)
V_n	Kuat nominal geser (N)
$\Delta^{\circ}_{(BTR)}$	Lendutan akibat beban lajur "D" (mm)
$\Delta^{\circ}_{T(U)}$	Lendutan akibat beban truk "T" (mm)
$\Delta^{\circ}_{\text{Izin}}$	Lendutan izin (mm)
W_g memanjang	Berat sendiri gelagar memanjang (kN/m)

S_g memanjang	Jarak antara gelagar memanjang (m)
n_g memanjang	Jumlah gelagar memanjang
t_{trotoar}	Tebal trotoar (m)
t_{median}	Tebal median (m)
γ^{uTP}	Faktor beban pejalan kaki
L_{trotoar}	Panjang trotoar (m)
L_{aspal}	Panjang aspal (m)
L_{median}	Panjang median (m)
$L_{\text{lantai kendaraan}}$	Panjang lantai kendaraan (m)
$L_{\text{pelat beton}}$	Panjang lantai beton kendaraan (m)
$S_{\text{lateral beam}}$	Jarak lantai kendaraan dengan lateral beam (m)
$Q_w(\text{gmemanjang})$	Berat sendiri gelagar memanjang (kN/m)
$Q_{D1(U)}$	Berat total sendiri (kN/m)
Q_{median}	Beban median (kN/m)
$Q(\text{TP})$	Beban pejalan kaki (kN/m)
$M_{D1(U)}$	Momen akibat beban mati sebelum komposit (kNm)
K	Faktor tekuk
L	Panjang penampang ikatan angin (mm)
L_c	Panjang efektif (mm)
λ	Kelangsingan komponen struktur
λ_c	Batas kelangsingan komponen
P_u	Kapasitas tekan rencana (kN)
P_n	Kapasitas tekan nominal rencana (kN)
A_g	Luas bruto dari komponen struktur (mm^2)
A_e	Luas neto efektif (mm)
S_1	Spasi 1 (m)
S_2	Spasi 2 (m)
S_3	Spasi 3 (m)
R_x	Radius girasi sumbu x (mm)
$V_{(U)} \text{ Tekan}$	Gaya aksial tekan (kN)
$V_{(U)} \text{ Tarik}$	Gaya aksial tarik (kN)
d	Diameter kabel (mm)
P_n	Gaya tarik putus minimum (kN)
P_y	Gaya leleh minimum (kN)
$P_{(U)1}$	Gaya aksial akibat beban sendiri (kN)
$P_{(U)2}$	Gaya aksial akibat beban terbagi rata (kN)
$P_{(U)3}$	Gaya aksial akibat beban garis terpusat (kN)
$P_{(U)\text{maks}}$	Gaya aksial total (kN)
f_u	Tegangan putus (MPa)
f_y	Tegangan leleh (MPa)
d_f	Diameter baut (mm)
N_t	Gaya tarik minimum baut (kN)
A_e	Luas efektif baut (mm^2)
A_s	Luas tegangan tarik (mm^2)
A_0	Luas nominal baut (mm^2)

t_p	Tebal pelat (mm)
f_{up}	Tegangan tarik pelat (MPa)
μ	Koefisien geser permukaan
n_i	Jumlah bidang geser
K_h	Faktor ukuran pengisi baut
V_{sf}	Kekuatan geser nominal baut (Slip Critical) (kN)
n	Jumlah baut yang diperlukan
$S_{b \min}$	Jarak minimum (mm)
$S_{b \max}$	Jarak maksimum (mm)
S_b	Jarak antar baut (mm)
S_{tb}	Jarak tepi baut (mm)
a_e	Jarak ujung lubang dengan ujung pelat (mm)
V_b	Kuat tumpu pelat
V_b	Kuat sobek pelat

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Excel Analisis Jembatan Pelengkung Baja

Lampiran 2. Gambar Detail Jembatan Pelengkung

Lampiran 3. Analisis FEA Menggunakan Software Lusas

Lampiran 4. Katalog Produk Profil Penampang

Lampiran 5. Katalog Produk *Cable*

Lampiran 6. Katalog Produk *Bearing*

KATA PENGANTAR

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

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa terselesaikannya Tugas Akhir ini tidak hanya dari penulis sendiri melainkan berkat ilmu, arahan, bimbingan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih 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. **Bapak Dr. Eng. Bambang Bakri, S.T., M.T.**, selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. **Ibu Prof. Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing I dan **Bapak Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas keilmuan penulis dari awal penelitian hingga selesainya tugas akhir ini. Semoga kebaikan, kesehatan serta kemudahan senantiasa dilimpahkan kepada beliau.
5. **Bapak Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, S.T., M.Eng.**, dan **Bapak Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, Msc, Ph.D** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

7. 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 yang tercinta, yaitu ayahanda **Rustam** dan ibunda **Andi Besse** atas semua kasih sayang yang begitu tulus dan doa yang tiada henti serta dukungan yang terus mengalir kepada penulis setiap waktu.
2. **Andi Nuril Fahmi, Andi Khairil Fajri, Andi Mutmainna** sebagai saudara dan teman seumur hidup yang selalu memberikan banyak warna dalam hidup penulis.
3. **Ice, Arul, Wanda**, sebagai sahabat BERJUANG penulis di dunia perkuliahan. Terima kasih untuk semua pengalaman baru baik akademik maupun non akademik paling menyenangkan yang diberikan selama penulis berkuliah di Teknik sipil.
4. Rekan-rekan di **Laboratorium Riset Perkuatan Struktur**, anak-anak kuat, khususnya **Aqmal, Musdalifah, Adrian** sebagai teman seperjuangan tugas akhir. Terima kasih karena telah menjadi teman berdiskusi yang baik dan telah menghidupkan suasana mukim perkuatan serta membuat penulisan tugas akhir ini menjadi sangat menyenangkan.
5. Saudara-saudari **PORTLAND 2020**, teman-teman Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin **Angkatan 2019** yang memberikan begitu banyak warna dan pengalaman yang sangat berharga dari awal hingga akhir nanti.
6. **HMS FT-UH** sebagai wadah berkembangnya penulis saat masa perkuliahan dan **Pengurus BE HMS FT-UH Periode 2021/2022** yang telah bersama-sama dengan penulis bertumbuh dan berkembang di kampus.

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan penduduk yang sangat signifikan akan memengaruhi kebutuhan infrastruktur dalam beraktivitas sehingga pembangunan yang berkelanjutan menjadi permasalahan yang dihadapi di Indonesia saat ini. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Nasional (BPSN) diperoleh bahwa jumlah penduduk mencapai sebanyak 275,577 juta jiwa di pertengahan tahun 2022. Bertambahnya jumlah penduduk akan menyebabkan aktivitas ekonomi suatu daerah juga meningkat. Hal ini akan menimbulkan terjadinya pergerakan masyarakat dari satu tempat ke tempat lain dengan frekuensi yang lebih sering dan dalam jumlah yang lebih banyak. Oleh karena itu, diperlukannya jembatan sebagai infrastruktur yang dapat membuka aksesibilitas kepada masyarakat ke daerah baru dan pasar-pasar ekonomi yang lebih besar.

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur yang digunakan sebagai sarana transportasi untuk menghubungkan rute atau lintasan transportasi yang terhalang oleh berbagai rintangan seperti sungai, rawa, danau, saluran irigasi, jalan kereta api, selat, dan rintangan yang lainnya. Secara umum pembangunan jembatan difungsikan sebagai penghubung antara dua wilayah untuk memperlancar mobilitas sehingga terwujudnya efisiensi waktu dalam beraktivitas, namun desain jembatan yang telah mengalami perkembangan menjadikannya digunakan sebagai *landmark* di suatu wilayah untuk menarik perhatian wisatawan sehingga akan meningkatkan perekonomian masyarakat.

Jembatan Siak I yang terletak di Kota Pekanbaru, Provinsi Riau merupakan infrastruktur yang dibangun untuk menghubungkan Jalan Yos Sudarso dan dua kecamatan di Kota Pekanbaru yang dipisahkan oleh Sungai Siak, yaitu Kecamatan Senapelan yang terletak di sisi Selatan dan Kecamatan Rumbai Pesisir di sisi Utara. Jembatan ini memiliki panjang total 350 meter dengan bentang utama 52 meter dan didesain menggunakan sistem gelagar baja menerus. Jembatan yang telah diresmikan pada tahun 1977 dan digunakan selama 45 tahun akan dibuat jembatan

baru yang direncanakan menggunakan sistem jembatan pelengkung dengan tipe *Half-Through Truss Arch Bridge*.

Proses perencanaan jembatan tentu diperlukan informasi terlebih dahulu terkait topografi, lingkungan ataupun kondisi tanah dasar pada lokasi jembatan, sehingga dalam menentukan desain jembatan dapat didasarkan pada kebutuhan seperti penentuan geometri struktur, pemilihan sistem jembatan, penentuan panjang bentang ataupun pemilihan elemen-elemen struktur atas dan struktur bawah jembatan.

Perkembangan jembatan di daerah perkotaan didesain tidak hanya memperhatikan struktural dan fungsional dari jembatan tetapi terdapat beberapa aspek yang menjadi pertimbangan dalam penentuan desain jembatan seperti aspek estetika dan aspek ekonomi. Desain jembatan dengan sistem *Half-Through Arch Bridge* dalam aspek estetika, merupakan salah satu tipe jembatan yang memiliki tampilan menarik dibandingkan lainnya sementara dalam aspek ekonomi memiliki biaya pembangunan yang lebih efisien karena hanya memerlukan bahan material yang relatif sedikit sehingga dapat mengurangi biaya dan waktu konstruksi.

Full-Cantilever adalah salah satu metode konstruksi yang dapat diterapkan untuk tipe jembatan rangka yang memiliki bentang panjang dan berada di atas permukaan tanah atau air yang cukup tinggi. Dalam pelaksanaannya metode ini dilakukan secara menerus dalam satu arah yang dimulai dari kedua sisi abutment jembatan, kemudian diberikan penyangga sementara berfungsi sebagai penyeimbang untuk bentang berikutnya. Metode *Full-Cantilver* pada konstruksi jembatan pelengkung biasanya digunakan *temporary tower* di kedua sisi ujung bagian pelengkung dan didukung dengan sistem kabel yang diikat ke tanah sebagai *support* dalam pelaksanaan konstruksi pada bagian pelengkung jembatan.

Berdasarkan hal-hal diatas, pada tugas akhir akan dilakukan perencanaan Jembatan Siak I yang baru dengan sistem *Half-Through Truss Arch Bridge* untuk menggantikan jembatan lama yang terbuat dari gelagar baja menerus. Jembatan pelengkung yang direncanakan kembali memiliki panjang total 260 meter dengan bentang utama sepanjang 200 meter dan akan dimodelkan menggunakan perangkat lunak *Robot Structural Analysis Professional 2023*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang diatas, permasalahan yang perlu dijelaskan secara rinci untuk melakukan perencanaan Jembatan Pelengkung Siak I sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan balok gelagar, lantai kendaraan, *hanger*, ikatan angin dari jembatan *Arch*?
2. Bagaimana penentuan jenis pembebanan untuk jembatan pelengkung?
3. Bagaimana memodelkan dan menganalisa struktur jembatan menggunakan perangkat lunak *Robot Structural Analysis Professional 2023*?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini, di antaranya:

1. Merencanakan balok gelagar, ikatan angin, *hangers*, dan rangka utama dari jembatan *Arch*
2. Menentukan jenis pembebanan yang akan digunakan pada jembatan *Arch*
3. Memodelkan dan menganalisis struktur jembatan menggunakan perangkat lunak *Robot Structural Analysis Professional 2023*

1.4 Batasan Masalah

Batasan dalam perencanaan penting dilakukan untuk memfokuskan dan mengarahkan pembahasan tidak menyimpang dari masalah pada penyusunan tugas akhir ini, Adapun batasan masalah yang digunakan dalam perencanaan ini sebagai berikut:

1. Tidak dilakukan desain bangunan struktur bawah
2. Tidak memperhatikan analisa biaya konstruksi dan waktu pelaksanaan
3. Tidak memperhatikan aspek arsitektural, *mechanical*, dan *electrical*
4. Tidak mengkaji perencanaan jalan pendekat jembatan
5. Tidak mengkaji metode pelaksanaan konstruksi
6. Tidak mengkaji frekuensi natural struktur jembatan
7. Tidak mengkaji efek muai panas pada material

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 teori, 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 dari laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun perencanaan jembatan pelengkung.

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 Pelengkung (*Arch Bridge*)

Jembatan pelengkung adalah salah satu jenis jembatan yang mempunyai kepala jembatan berbentuk kurva melengkung dengan memanfaatkan prinsip kestabilan dimana gaya-gaya yang bekerja pada bagian atas jembatan akan terdistribusi ke bagian akhir lengkungan atau *abutment* (Ghello, Indra, & Sanntosa, 2020). Secara umum jembatan pelengkung dapat diartikan elemen struktural yang melengkung dan membentang di atas dalam sebuah bukaan. Jembatan pelengkung menerima beban mati, beban hidup, dan beban lainnya yang akan menyebabkan momen lentur pada elemen lengkung namun lebih kecil dibandingkan dengan gaya tekan aksial (Chen & Duan, 2000).

Bentuk lengkungan merupakan salah satu bentuk struktur yang paling indah dan ekspresif. Bentuk lengkungan mengurangi momen lentur pada superstruktur dan menahan beban sebagian besar dengan tekanan aksial pada batang lengkung, yang merupakan elemen utama yang khas dari jembatan pelengkung. Tekanan ini harus seimbang dengan gaya horizontal yang terjadi pada pondasi antara kedua ujung jembatan pelengkung (White, 2022).

Jembatan pelengkung bersistem rangka baja adalah jenis jembatan yang mengandalkan kapasitas aksial struktur utamanya dalam bentuk struktur lengkung. Struktur utama jembatan pelengkung ini seperti namanya adalah rangka bersistem batang-batang pendek hingga panjang yang membentuk struktur aksial yang mendukung dan mentransfer beban aksial ke pondasi, dan hanya menanggung momen lentur yang kecil (Mushtofa, Aminullah, & Muslikh, 2019).

2.1.1 Tipe-tipe jembatan pelengkung

Jembatan pelengkung dapat diklasifikasi berdasarkan kondisi tumpuan dan lantai kendaraan.

Klasifikasi jembatan pelengkung berdasarkan kondisi tumpuan, yaitu:

1. Jembatan Pelengkung Terjepit (*Fixed Arch*)

Tipe jembatan pelengkung terjepit merupakan tipe jembatan dengan struktur statis tak tentu disebabkan oleh kondisinya yang tetap dan mencegah terjadinya rotasi di ujung bentang.



Sumber: (Lebet & Hirt, 2013)

Gambar 1. Jembatan pelengkung terjepit (*Fixed Arch*)

2. Jembatan Pelengkung Dua Sendi (*Two-hinged Arch*)

Tipe jembatan pelengkung yang memiliki dua sendi yang berada pada kedua ujung bentang dan termasuk struktur statis tak tentu.



Sumber: (Lebet & Hirt, 2013)

Gambar 2. Jembatan pelengkung dua sendi (*Two-hinged Arch*)

3. Jembatan Pelengkung Tiga Sendi (*Three-hinged Arch*)

Tipe jembatan yang memiliki sendi ketiga pada puncak lengkungan sehingga merupakan struktur yang bekerja secara statis. Namun, jembatan tipe ini memiliki defleksi yang terbesar dari lainnya.

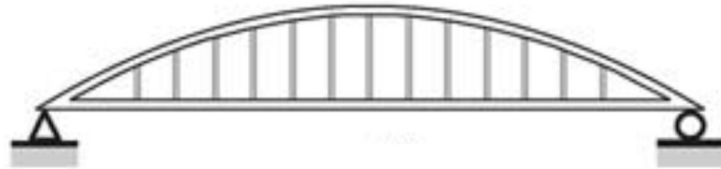


Sumber: (Lebet & Hirt, 2013)

Gambar 3. Jembatan pelengkung tiga sendi (*Three-hinged Arch*)

4. Jembatan Pelengkung Terikat (*Tied Arch*)

Tipe jembatan yang memiliki tumpuan pada salah satu ujungnya bekerja sebagai rol sehingga merupakan struktur statis tertentu.



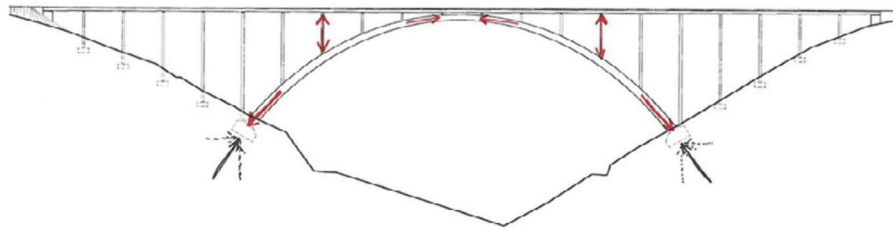
Sumber : (Lebet & Hirt, 2013)

Gambar 4. Jembatan pelengkung terjepit (*Tied Arch*)

Klasifikasi jembatan pelengkung berdasarkan kondisi lantai kendaraan

1. Jembatan Pelengkung Lantai Atas (*Deck Arch*)

Jembatan pelengkung yang memiliki lantai kendaraan berada di atas lengkungan.

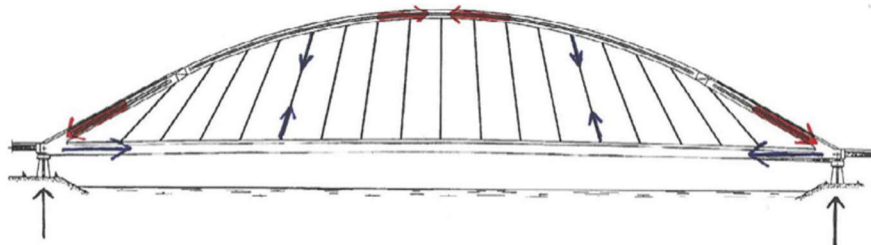


Sumber: (Pipinato, 2016)

Gambar 5. Jembatan pelengkung lantai atas (*Deck Arch*)

2. Jembatan Pelengkung Lantai Bawah (*Through Arch*)

Jembatan pelengkung yang memiliki lantai kendaraan berada dibawah lengkungan.

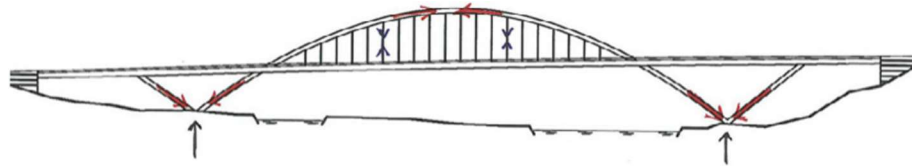


Sumber: (Pipinato, 2016)

Gambar 6. Jembatan pelengkung lantai bawah (*Through Arch*)

3. Jembatan Pelengkung Setengah Lantai (*Half-Through Arch*)

Jembatan pelengkung yang memiliki lantai kendaraan berada di antara lengkungan.

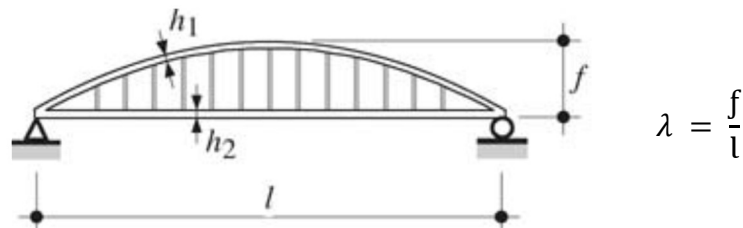


Sumber: (Pipinato, 2016)

Gambar 7. Jembatan pelengkung setengah lantai (*Through Arch*)

2.1.2 Rasio tinggi pelengkung

Pada umumnya rasio tinggi pelengkung dengan panjang jembatan berkisar antara 1:5 sampai 1:6 untuk semua tipe jembatan pelengkung. Namun jembatan pelengkung dengan tipe *Half-Through Truss* memiliki rasio maksimum sebesar 1:4,7 dan minimum sebesar 1:6,3. Rasio yang seimbang lebih banyak digunakan pada jembatan dengan tipe *Through Arch* karena tampilan yang lebih menarik. Biaya tidak akan bervariasi secara material dalam rasio antara 1:5 sampai 1:6. Rasio ketinggian diaplikasikan kedua (Brockenbrough & Merritt, 1994).



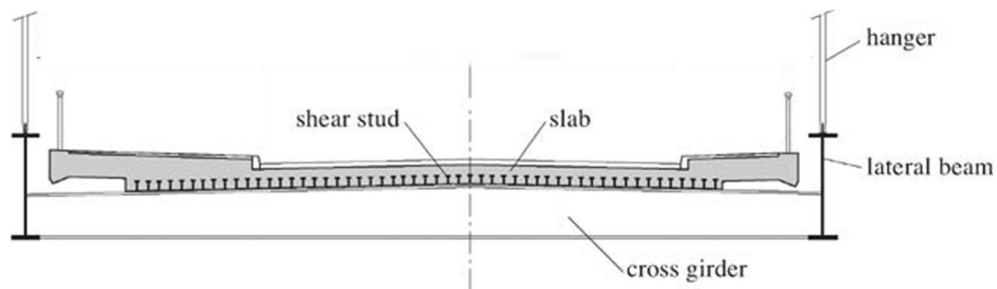
$$\lambda = \frac{f}{l}$$

Gambar 8. Rasio tinggi pelengkung

2.2 Lantai Jembatan (*Deck*)

Lantai umumnya merupakan pelat beton bertulang. Perhitungan lantai kendaraan lebih aman diperhitungkan secara *free body* dalam dua atau tiga dimensi dan tidak sebagai kesatuan dengan struktur pelengkung. Desain lantai harus “*long life*” karena lantai langsung memikul beban kendaraan dan lebih cepat rusak dari gelagar. Untuk mengendalikan formasi retakan dianjurkan menggunakan tegangan ijin baja tulangan 140 MPa (atau tegangan ultimit 240 MPa) yang tidak tergantung

penggunaan mutu baja lebih tinggi mengingat besarnya retak sebanding dengan besarnya tegangan tulangan (02/SE/M/2018-PERMENPUPR).

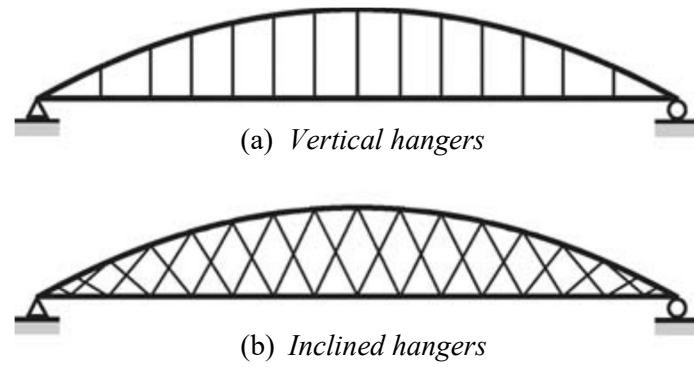


Gambar 9. Lantai jembatan pada jembatan pelengkung

Lantai jembatan merupakan elemen dasar dalam struktur jembatan yang mendistribusikan beban-beban bekerja di permukaan untuk lalu lintas ke *abutment*, lantai jembatan harus memenuhi persyaratan yang berkaitan dengan kekakuan dan ketahanan lentur. Bentuk umum *deck* yang digunakan untuk jembatan pelengkung dapat dilihat pada **Gambar 9**. Lantai jembatan pada jembatan pelengkung terdiri dari pelat beton bertulang, balok melintang, balok lateral. Balok melintang, yang biasanya terletak pada jarak 5 meter didukung pada balok lateral yang umumnya ditempatkan sejajar dengan dasar lengkung. Balok lateral mentransfer gaya dari balok melintang ke penggantung. Pelat terhubung ke sayap atas balok melintang menggunakan *shear connector* untuk menghasilkan penampang lintang komposit di bagian tengah balok melintang (Lebet & Hirt, 2013)

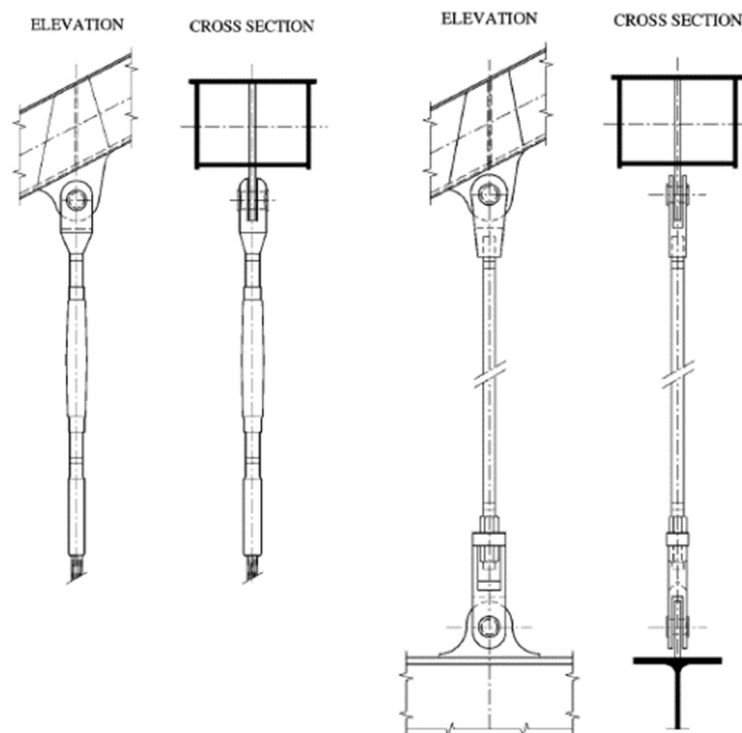
2.3 Hangers

Lantai kendaraan pada pelengkung diperkaku dipikul oleh *hanger* yang menyalurkan beban ke *rib*. *Hanger* merupakan elemen tarik dan dibuat dari profil baja berupa pendel, batang (*bar*) atau untaian (*strand*) prategang yang dihubungkan ke dalam struktur dengan sistem angkung prategang. *Hanger* umumnya vertikal, dan juga dapat dibuat dalam sistem diagonal seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 10**. Mengingat *hanger* bekerja eksternal secara dinamis akan lebih cepat fatik maka tegangan total akibat beban mati dan hidup pada keadaan batas daya layan tidak boleh melebihi 45% tegangan putus (faktor keamanan = 2) dan pada keadaan batas ultimit tidak boleh melebihi 60% tegangan putus. (02/SE/M/2018-PERMENPUPR)



Gambar 10. Susunan *hangers* jembatan pelengkung

Hanger dipasang antara lantai kendaraan dengan lengkungan yang menggunakan kabel (*cable*), batang (*bar*), ataupun profil baja *rolled*. Profil baja *rolled* saat ini sangat jarang digunakan sebagai *hanger*, keuntungan utama dibandingkan batang (*bar*) dan kabel (*cable*) memiliki kekakuan lentur yang besar. **Gambar 11** menunjukkan dua tipe *hanger* yang disambung antara *hanger* dengan balok lateral dan lengkungan (Lebet & Hirt, 2013).



(a) *Cable*

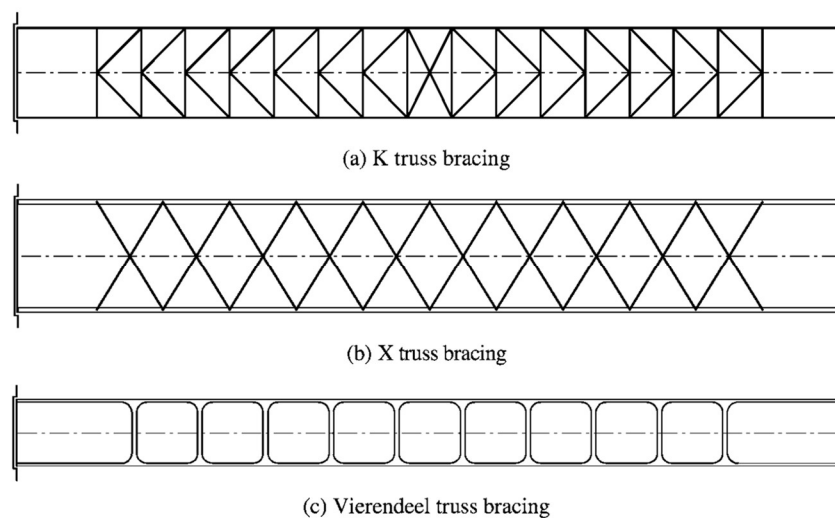
(b) *Bar*

Gambar 11. Tipe *hanger* kabel dan batang

Jarak dan kemiringan dari *hanger* merupakan parameter penting yang perlu dipertimbangkan dalam konsep perancangan jembatan pelengkung. Selain mempengaruhi penampilan jembatan, parameter ini mempengaruhi dimensi *deck*, kekakuan jembatan, dan ketahanan pelengkung terhadap tekuk. Pada ditunjukkan susunan *hanger* dari jembatan pelengkung. *Hanger* dengan susunan miring menghasilkan distribusi beban yang lebih baik kepada lengkungan dari beban lalu lintas yang terjadi pada *deck*. Gaya dalam *hangers* dihitung berdasarkan hubungan pen/sendi pada kedua ujung (Lebet & Hirt, 2013).

2.4 Ikatan angin (*Bracing*)

Pada jembatan pelengkung, ikatan angin antara lengkungan memberikan kontribusi yang penting dalam stabilitas antara kedua lengkungan dan meningkatkan kekakuan dari keseluruhan struktur (Lebet & Hirt, 2013). Susunan atau konfigurasi dari desain ikatan angin pada jembatan pelengkung terdapat beberapa macam terlihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Tipe ikatan angin pada jembatan pelengkung

2.5 Pembebanan Jembatan

Peraturan yang digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan jembatan *Arch Truss* khususnya dalam aspek pembebanan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1725:2016 tentang Pembebanan untuk jembatan. Adapun beban-beban yang digunakan sebagai berikut:

2.5.1 Beban permanen

1. Beban 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 (kN/m^3)	Kerapatan Massa (kg/m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tulangan (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8 - 22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,5 – 19,6	1250 - 2000
	Beton		
7	$f_c < 35 \text{ Mpa}$	22,0 s/d 25,0	2320
	$35 \text{ MPa} < f_c < 105 \text{ MPa}$	$22 + 0,022f_c$	$220 + 2,29 f_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	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 (γ_{MS})		
		Keadaan Batas Layan (γ^s_{MS})	Keadaan Batas Ultimit (γ^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. Beban 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

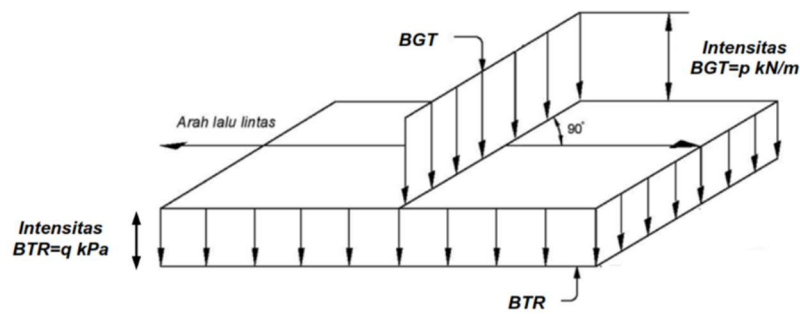
Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ^s_{MA})	Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{MA})		
		Keadaan	Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00	2,00	0,70
	Khusus (Terawasi)	1,00	1,40	0,80

(Sumber : SNI 1725:2016)

2.5.2 Beban lalu lintas

1. Beban Lajur “D”

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis terpusat (BGT) seperti terlihat dalam pada **Gambar 13**. Faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” terdapat pada **Tabel 4**.



Gambar 13. Beban lajur “D”

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

Jika $L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$ (1)

Jika $L \geq 30 \text{ m} : q = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$ (2)

Keterangan:

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

L : Panjang total jembatan yang dibebani (meter)

Tabel 4. Faktor beban untuk beban lajur “D”

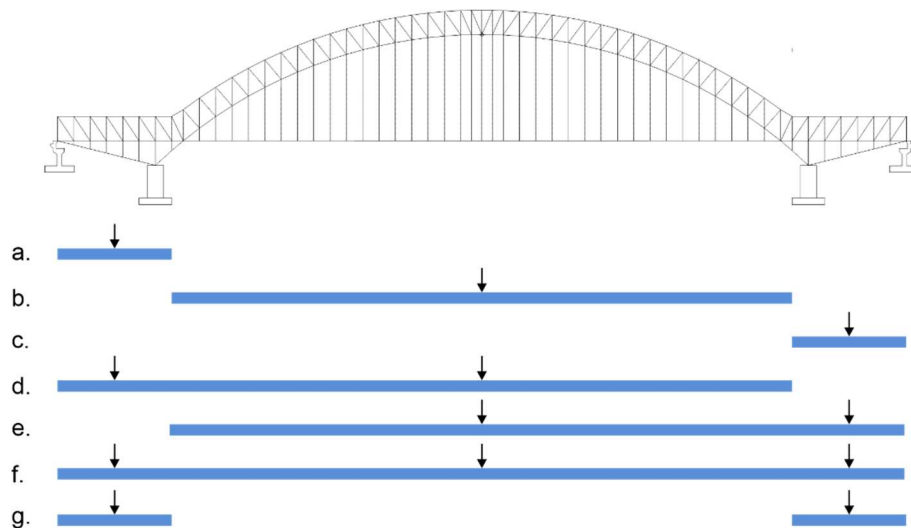
Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan ($\gamma^{s_{TD}}$)	Keadaan Batas Ultimit ($\gamma^{u_{TD}}$)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber : SNI 1725:2016)

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

2. Konfigurasi beban hidup ‘D’

Beban hidup “D” diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh gaya-gaya yang maksimum dari masing-masing komponen gaya dalam. Konfigurasi beban hidup “D” dengan tiga bentang diatur dalam surat edaran Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) nomor 02/SE/M/2018 tentang perancangan jembatan pelengkung seperti ditunjukkan pada **Gambar 14**



Gambar 14. Konfigurasi beban hidup “D”

3. 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”

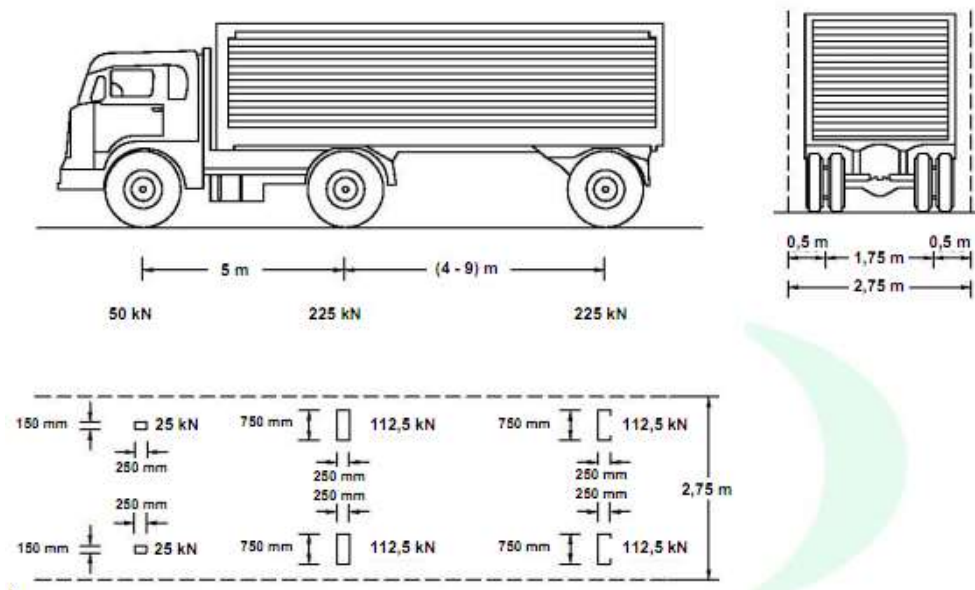
Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan (γ^s_{TT})	Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{TT})
Transien	Beton	1,00	1,80
	Box Girder Baja	1,00	2,00

(Sumber: SNI 1725:2016)

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat pada **Gambar 15**.

Berat dari tiap – tiap gandar disebarakan 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 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh 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

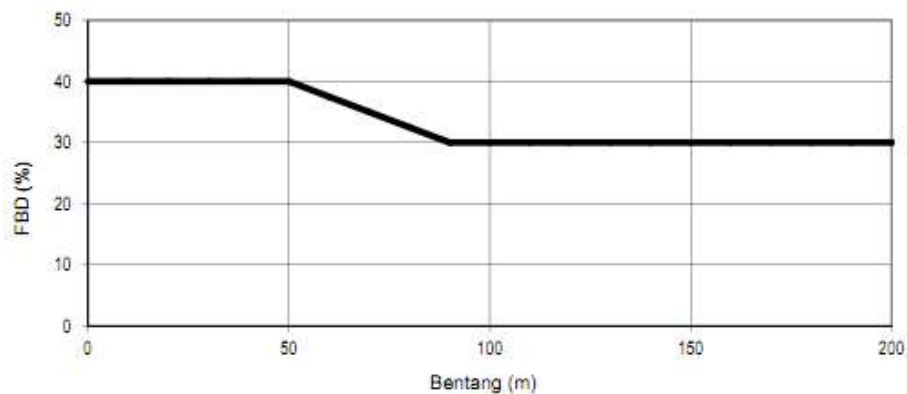
pada satu lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk “T” harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana seperti terlihat dalam **Gambar 15**.



Gambar 15. Konfigurasi pembebanan truk “T”

4. 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 30%. 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 16. Faktor beban dinamis beban “T” untuk pembebanan lajur “D”

5. 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.

6. 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 trotoar 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 tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

2.5.3 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 diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana, V_{DZ} , harus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{DZ} = 2,5V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \dots\dots\dots (3)$$

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 diatas 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:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \dots\dots\dots (4)$$

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

Komponen Bangun 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)

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

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 paralel 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

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

(Sumber: SNI 1725:2016)

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.

2.5.4 Beban gempa

Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan yang signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlukan untuk beberapa kasus. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

E_Q : Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} : Koefisien respons gempa elastis

R_d : Faktor modifikasi respons

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

Koefisien respon elastik C_{sm} diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan dapat dilihat pada **Gambar 18**, **Gambar 19**, dan **Gambar 20** 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 **Tabel 9**.

Tabel 9. Kelas Situs

Kelas Situs	\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

Kelas Situs	\bar{v}_s (m/s)	\bar{N}	\bar{s}_u (kPa)
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:

- 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)
- Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$)
- Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m

Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik

(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)

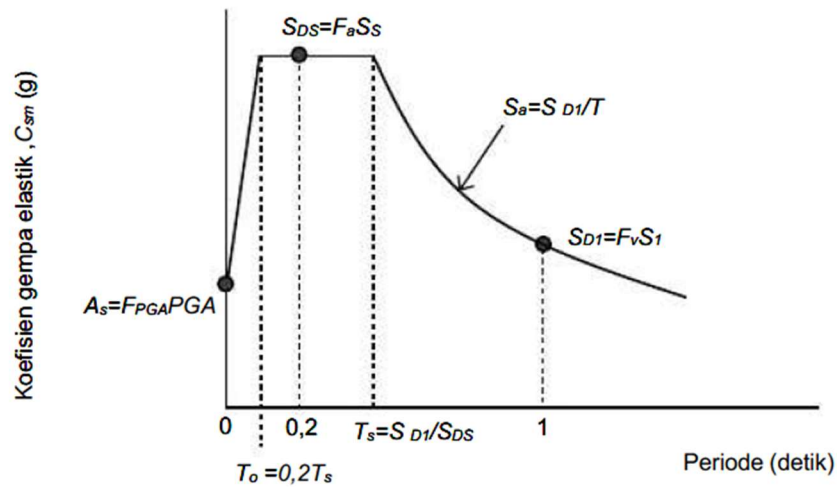
Tabel 11. Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

Kelas situs	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
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 spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan.



Gambar 17. 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:

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \dots\dots\dots (6)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_s \dots\dots\dots (7)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \dots\dots\dots (8)$$

$$T_0 = 0,2 T_s \dots\dots\dots (9)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana:

A_s : nilai spektra

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

S_{D1} : nilai spektra permukaan tanah pada periode

F_{PGA} : faktor implikasi percepatan puncak di batuan dasar

F_a : faktor implikasi percepatan 0,2 detik di batuan dasar

F_v : faktor implikasi percepatan 1 detik di batuan dasar

PGA : percepatan puncak di batuan dasar

S_s : percepatan 0,2 detik di batuan dasar

S_1 : percepatan 1 detik di batuan dasar

4. Koefisien Respon Gempa Elastik

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

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_S) \frac{T}{T_0} + A_S \dots\dots\dots (9)$$

- b. 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:

$$C_{sm} = S_{DS} \dots\dots\dots (10)$$

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

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (11)$$

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 pondasi 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)

6. Faktor Modifikasi Respon

Gaya gempa rencana pada bangunan bawah dan hubungan antara elemen struktur ditentukan dengan cara membagi gempa elastis dengan faktor modifikasi respon (R) sesuai dengan **Tabel 13**. Sebagai alternatif pada **Tabel 13** untuk hubungan struktur, sambungan monolit antara elemen struktur atau struktur, seperti hubungan kolom ke pondasi telapak dapat direncanakan menerima gaya akibat plastifikasi kolom atau kolom majemuk yang berhubungan.

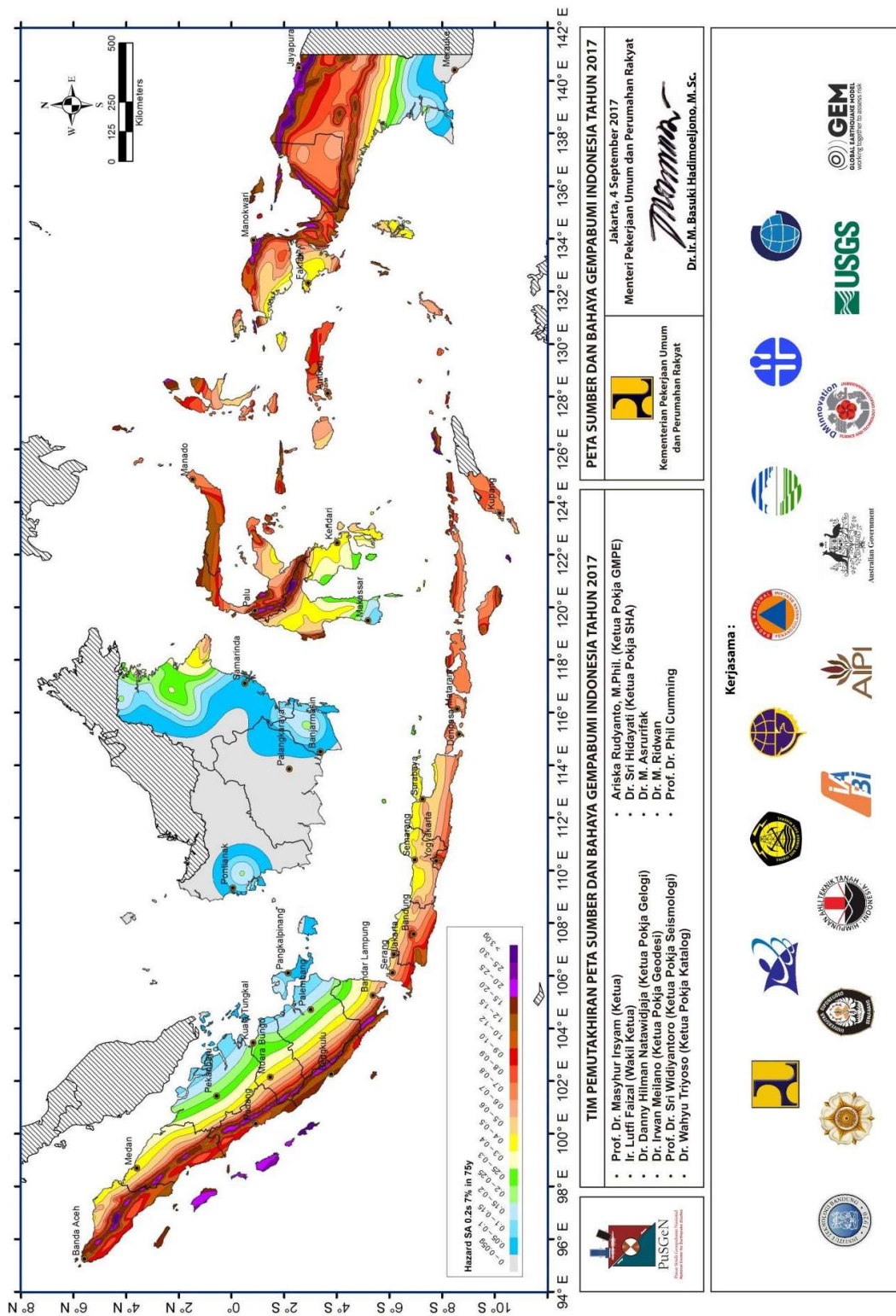
Apabila digunakan analisis dinamik riwayat waktu, maka faktor modifikasi respon (R) diambil sebesar 1 untuk seluruh jenis bangunan bawah dan hubungan antar elemen struktur.

Tabel 13. Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur

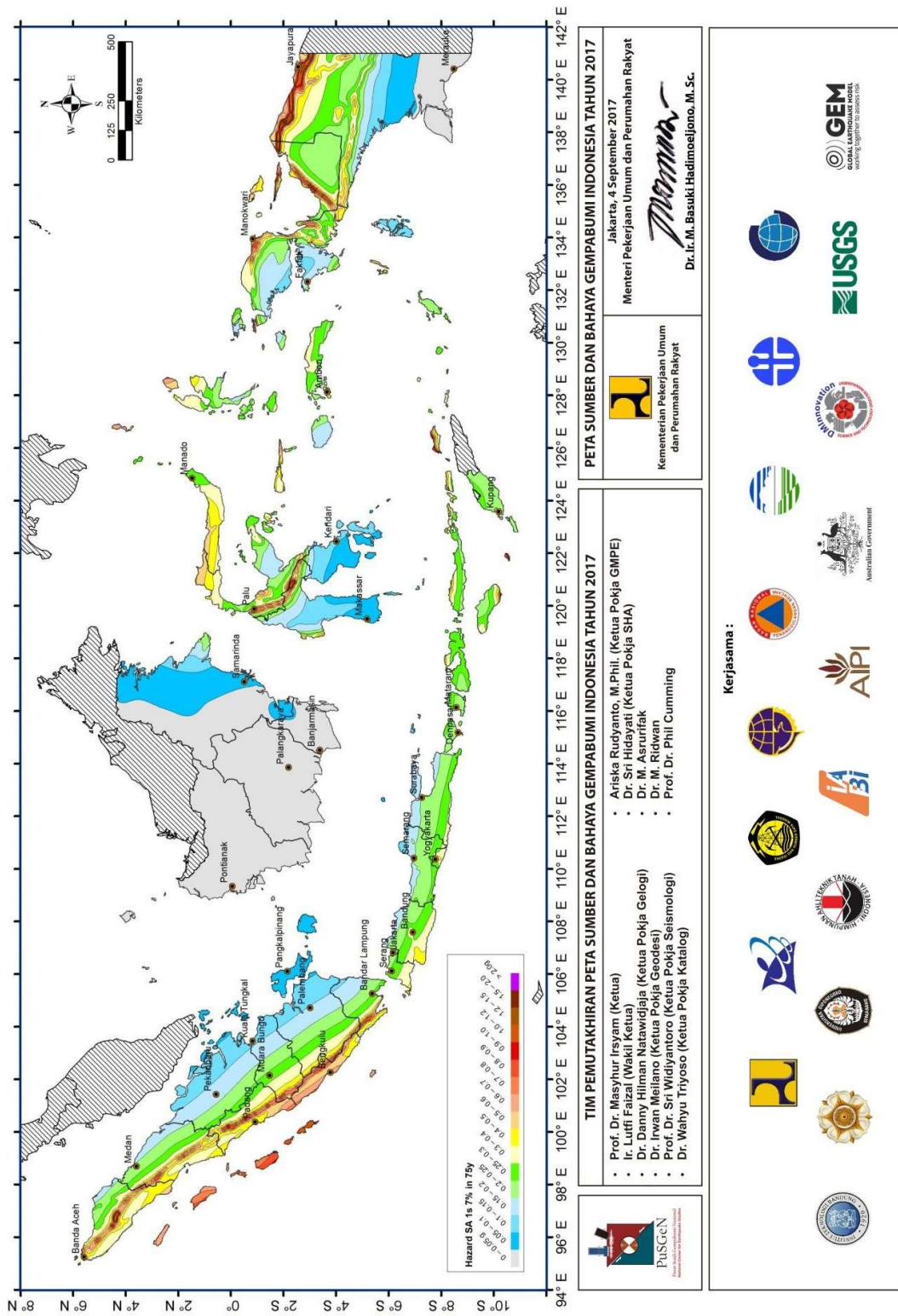
Hubungan Elemen Struktur	Semua Kategori Kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	1
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	2
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	3
Kolom atau pilar dengan fondasi	4

(Sumber: SNI 2833:2016)

Gaya gempa harus diasumsikan untuk dapat bekerja dari semua arah lateral. Faktor modifikasi respon (R) yang sesuai harus digunakan di kedua arah sumbu orthogonal bangunan bawah. Pilar tipe dinding dapat dianalisis sebagai kolom tunggal dalam arah sumbu lemah.



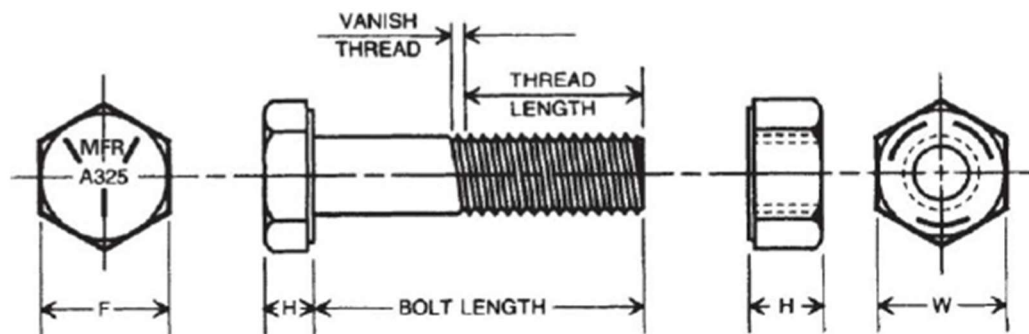
Gambar 19. Peta respon spektra percepatan 0.2 detik di batuan dasar



Gambar 20. Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar

2.6 Sambungan Baut

Dalam konstruksi baja terdapat dua jenis baut yang digunakan yaitu baut kekuatan tinggi seperti terlihat pada **Gambar 21** dan baut biasa yang dipabrikasi berdasarkan standar *American Society for Testing and Materials (ASTM) A307*. Baut struktural dapat dipasang dengan *pretensioned* atau *snug tight*. *Pretensioned* yaitu baut dipasang dengan dikencangkan sampai gaya tegangan sama dengan 70% dari minimum kekuatan tarik yang dihasilkan dalam baut. *Snug tight* adalah kondisi ketika semua lapisan bersentuhan. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan kunci baut dalam pemasangan (Tamboli, 2017).



Gambar 21. Baut kekuatan tinggi

2.6.1 Kekuatan Geser Nominal Baut dalam Sambungan Gesek

Kekuatan geser nominal baut dalam sambungan gesek, V_{sf} , harus dihitung sebagai berikut

$$V_{sf} = \mu \times n_i \times K_h \times N_t \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan:

- V_{sf} : Kekuatan geser nominal baut (kN)
- μ : Koefisien geser permukaan
- n_i : Jumlah bidang geser
- K_h : Faktor ukuran pengisi baut
- N_t : Gaya tarik minimum baut (kN)

2.6.2 Kekuatan Tumpuan Nominal Pelat Lapis

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

$$V_b = 3.2 \times d_f \times t_p \times f_{up} \dots\dots\dots(13)$$

Dengan syarat bahwa, untuk pelat lapis yang memikul komponen gaya yang bekerja menuju suatu sisi, kekuatan tumpuan nominal pelat lapis harus diambil nilai terkecil dari Persamaan 13 dan Persamaan 14.

$$V_b = a_e \times t_p \times f_{up} \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan:

f_{up} : Kekuatan tarik pelat lapis (MPa)

d_f : diameter baut (mm)

t_p : tebal pelat lapis (mm)

a_e : jarak minimum dari ujung lubang ke ujung pelat lapis diukur dalam arah
Komponen gaya ditambah setengah diameter baut (mm)

2.7 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan 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.