

TUGAS AKHIR

**PENGARUH GEMPA PADA PENGGUNAAN TIPE *PIER*
JEMBATAN KERETA API BH 38 TEBING TINGGI – SIANTAR
TERHADAP PENINGKATAN KELAS JALAN
(*Studi Kasus*)**

*Diajukan untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

ADE ANDIANI LUBIS
1807210149P



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ade Andiani Lubis

NPM : 1807210149P

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Gempa pada Penggunaan Tipe *Pier* Jembatan Kereta Api BH 38 Tebing Tinggi – Siantar Terhadap Peningkatan Kelas Jalan

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Maret 2022

Mengetahui dan Menyetujui:

Dosen Pembimbing I


Tondi Amirsyah Putera P, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II


Rizki Efrida, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

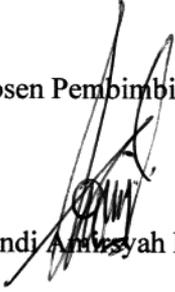
Nama : Ade Andiani Lubis
NPM : 1807210149P
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Gempa pada Penggunaan Tipe *Pier* Jembatan Kereta Api BH 38 Tebing Tinggi – Siantar Terhadap Peningkatan Kelas Jalan
Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Maret 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I


Tondi Anisya Putera P, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing II


Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dosen Pembimbing I


Rizki Efrida, S.T., M.T.

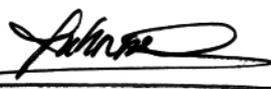
Dosen Pembimbing II


Sri Prafanti S.T., M.T.

Program Studi Teknik Sipil



Ketua


Dr. Fahrizal Zulkarnain

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ade Andiani Lubis
Tempat / Tanggal Lahir : Medan / 07 Agustus 1996
NPM : 1807210149P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pengaruh Gempa pada Penggunaan Tipe *Pier* Jembatan Kereta Api BH 38 Tebing Tinggi – Siantar Terhadap Peningkatan Kelas Jalan”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 18 Maret 2022

Saya yang menyatakan,



Ade Andiani Lubis

ABSTRAK

PENGARUH GEMPA PADA PENGGUNAAN TIPE PIER PADA JEMBATAN KERETA API BH 38 TEBING TINGGI – SIANTAR TERHADAP PENINGKATAN KELAS JALAN

Ade Andiani Lubis

1807210149P

Tondi Amirsyah Putera P, S.T., M.T.

Rizki Efrida, S.T., M.T.

Pembangunan jembatan kereta api di Stasiun Baja Linggei merupakan suatu konstruksi *re-design* dikarenakan adanya peningkatan kelas jalan. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi suatu konstruksi adalah kemungkinan terjadinya gempa yang dapat mempengaruhi kondisi struktur tersebut. Dalam perencanaannya, *pier* berperan penting untuk meminimalisir bencana gempa yang terjadi. *Pier* merupakan elemen penting dari suatu struktur bawah jembatan yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur atas jembatan menuju pondasi jembatan yang kemudian diteruskan ke tanah dasar. Perencanaan beban pada jembatan dapat dianalisis menggunakan *software* aplikasi jembatan yang akan menghasilkan kombinasi pembebanan yang mengakibatkan timbulnya gaya reaksi dan gaya gempa yang diterima. Struktur jembatan kereta api direncanakan dengan menggunakan *void slab girder*. Jembatan memiliki panjang 77 meter dan lebar 9,7 meter, direncanakan jembatan memiliki 5 *span* dengan panjang masing-masing *span* 15 meter. Perencanaan jembatan kereta api ini mengacu pada PM No. 60 Tahun 2012, peraturan pembebanan menggunakan SNI 1725:2016 dan peraturan tentang beban gempa menggunakan SNI 2833:2016. Pada tugas akhir ini, penulis membandingkan besarnya nilai kekakuan, gaya gempa dan lendutan yang terjadi pada *pier* dengan model *double column*, dinding, dan bulat. Perencanaan *pier* jembatan kereta api mengacu pada nilai kekakuan *double column pier*, yang mana *wall pier* dan *pier* bulat memiliki selisih nilai kekakuan yang tidak lebih dari 5% nilai kekakuan pada *double column pier*. Analisis struktur ketiga model jembatan ini menggunakan program *software* khusus menghitung jembatan. Dari hasil yang diperoleh penulis menyimpulkan bahwa *pier double column* adalah yang paling efektif untuk digunakan dari segi kekakuan dan gaya gempa, sedangkan *pier* bulat paling efektif dari segi lendutan. Hal ini dipengaruhi oleh bentuk dan dimensi masing-masing *pier*.

Kata Kunci: jembatan kereta api, *pier*, kekakuan, gempa.

ABSTRACT

THE EFFECT OF THE EARTHQUAKE ON THE USE OF PIER TYPE ON THE RAILWAY BRIDGE BH 38 TEBING TINGGI – SIANTAR TO INCREASE ROAD CLASS

Ade Andiani Lubis

1807210149P

Tondi Amirsyah Putera P, S.T., M.T.

Rizki Efrida, S.T., M.T.

The construction of railway bridge in Baja Linggei station is a re-design construction that caused of increasing road class. One of the important factor that affect the construction is possibility the occurrence of an earthquake that can affect condition of the structure. In designing, pier has an important role in minimizing earthquake disasters that occur. Pier is an important element of an bridge substructure to distribute load by super structure bridge to the foundation of the bridge which continuous to base soil. Designing of the load on the bridge analized by using software of a bridge which result combination of the load that causing the emergence of reaction forces and earthquake forces received. The structure of the railway bridge is designed by using void slab girder. The railway bridge has 77 meters for length and 9,7 meters for width, The railway bridge is designed has 5 spans with length of each span is 15 meters. The design of this railway bridge refers to PM No. 60 Tahun 2012, rule of the load using SNI 1725:2016 dan rule of the earthquake load using SNI 2833:2016. In this final project, the writer compares the value of stiffness, earthquake load, and displacement in double column pier, wall pier, and single column pier. Design of the railway bridge refers to the value of stiffness the double column pier, that wall pier and single pier has difference stiffnes value no more than 5% from stiffnes value in double column pier. Analysis of the structure of the three bridge models a program to software special calculate bridges. From the result obtained, the writer penulis conclude that double column pier is the most effective to use in terms of stiffness and earthquake load, while single pier is the moss effective to use in term of displacement. It is influenced by the shape and dimensions of each pier.

Keywords: Railway bridge, pier, stiffness, earthquake.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas rahmat-Nya yang telah memberikan pengetahuan, kesehatan, kekuatan dan kesempatan kepada penulis. Sehingga mampu menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Gempa pada Penggunaan Tipe *Pier* Jembatan Kereta Api Tebing Tinggi – Siantar BH 38 Terhadap Peningkatan Kelas Jalan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Sesuai dengan judulnya, dalam laporan ini penulis membahas tentang pengaruh gempa terhadap jenis *pier* pada jembatan kereta api. Laporan Tugas Akhir ini memaparkan tentang beberapa jenis *pier* yang layak digunakan pada jembatan kereta api tebing tinggi – siantar yang merupakan *re-design* disebabkan oleh adanya peningkatan kelas jalan.

Dalam proses penulisan laporan ini, penulis banyak menemukan kesulitan, namun berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa bantuan spiritual maupun informasi yang berkaitan dengan penulisan laporan ini, sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

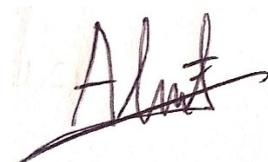
1. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Sanding Lubis dan Ibunda tercinta Mawar Pasaribu yang telah memberikan curahan kasih sayang, do'a dan bantuan yang tak terhingga dalam pelaksanaan penulisan laporan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Tondi Amirsyah Putera, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T., M.T. Sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Dosen Pembimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain. Sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan Dosen Pembanding 1.
5. Bapak Randi Gunawan, S.T, M.Si. Selaku Dosen Pembanding 2 yang telah mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh civitas akademika Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan dukungan moril kepada penulis.
7. Teman-teman penulis yang telah memberikan saran, masukan, dukungan, perhatian, semangat, dan do'a kepada penulis dalam pelaksanaan penyusunan dan penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 18 Maret 2022

Penulis



Ade Andiani Lubis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Umum	4
2.2. Jembatan Kereta Api	4
2.2.1. Elemen Struktur Atas	5
2.2.2. Struktur Bawah (<i>Substructure</i>)	12
2.3. Pilar	13
2.3.1. Macam-macam Bentuk Pilar	14
2.3.2. Material Pendukung Pilar Jembatan	16
2.4. Persyaratan pada Sistem Jembatan	17
2.4.1. Ketentuan Umum	17
2.4.2. Keadaan Batas Daya Layan	17
2.4.3. Keadaan Batas Fatik dan Fraktur	17

2.4.4. Keadaan Batas Kekuatan	18
2.4.5. Keadaan Batas Ekstrim	18
2.5. Persyaratan Pembebanan pada Sistem Jembatan Kereta Api	18
2.5.1. Beban Gandar	18
2.5.2. Lendutan	18
2.5.3. Stabilitas Konstruksi	20
2.5.4. Tinggi Jagaan	20
2.6. Pembebanan pada Jembatan Kereta Api	21
2.6.1. Beban Primer	21
2.6.2. Beban Angin	27
2.6.3. Beban Akibat Tumbukan Kendaraan	28
2.6.4. Beban Gempa	28
2.6.5. Gaya Akibat Temperatur	37
2.7. Faktor Kombinasi Pembebanan	40
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	44
3.1. Metodologi Penelitian	44
3.2. Metode Analisis	45
3.3. Pemodelan Struktur	45
3.3.1. Data Umum Jembatan	45
3.3.2. Data Material Struktur Jembatan	46
3.4. Konfigurasi Struktur Jembatan	46
3.5. Dimensi <i>Void Slab Girder</i>	47
3.6. Perletakan (<i>Bearing</i>)	47
3.7. Pemodelan Struktur Desain kolom (<i>Pier</i>)	48
3.7.1. Pemodelan I <i>Double Column Pier</i>	48
3.7.2. Pemodelan II <i>Wall Pier</i>	49
3.7.3. Pemodelan III <i>Single Column Pier</i>	50
3.8. Pembebanan	51
3.8.1. Analisis Pembebanan	51
3.9. Perhitungan Beban	51
3.9.1. Berat Sendiri	51
3.9.2. Beban Mati Tambahan	53

3.9.3. Beban Hidup	56
3.9.4. Beban Kejut	57
3.9.5. Beban Pengereman	58
3.9.6. Beban Sentrifugal	59
3.9.7. Beban Inspeksi	59
3.9.8. Beban Lingkungan	60
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	69
4.1. Tinjauan umum	69
4.2. Hasil Analisis	69
4.2.1. Hasil Analisis Kekakuan (<i>Stiffness</i>)	69
4.2.2. Hasil Analisis Gaya Gempa	72
4.2.3. Hasil Pemeriksaan Lendutan	76
4.2.4. Persyaratan P- Δ	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	81
5.1. Kesimpulan	81
5.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Dimensi penampang rel	6
Tabel 2.2	Pembagian kelas jalan rel 1067 mm	8
Tabel 2.3	Pembagian kelas jalan rel 1435 mm	8
Tabel 2.4	Tipe pilar disesuaikan berdasarkan hubungan antara tinggi dan tipe jembatan	15
Tabel 2.5	Koefisien lendutan maksimum jembatan baja	19
Tabel 2.6	Koefisien lendutan maksimum jembatan beton	19
Tabel 2.7	Berat jenis bahan	21
Tabel 2.8	Faktor beban akibat berat sendiri	22
Tabel 2.9	Faktor beban untuk beban mati tambahan	23
Tabel 2.10	Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan	24
Tabel 2.11	Penjelasan peta gempa	29
Tabel 2.12	Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik (FPGA/Fa) (SNI 2833:2016)	31
Tabel 2.13	Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv)	32
Tabel 2.14	Zona gempa (SNI 2833:2013)	34
Tabel 2.15	Faktor modifikasi (R) untuk bangunan bawah (SNI 2833:2016)	35
Tabel 2.16	Faktor modifikasi respon (R) untuk hubungan antar elemen struktur (SNI 2833:2016)	36
Tabel 2.17	Temperatur jembatan rata-rata nominal	37
Tabel 2.18	Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur	38
Tabel 2.19	Parameter T1 & T2	39
Tabel 2.20	Kombinasi beban dan faktor beban	42
Tabel 3.1	Berat jenis bahan	46
Tabel 3.2	Garis tepi	52
Tabel 3.3	Tipe rel dan dimensi penampang rel	54
Tabel 3.4	Zona gempa	65
Tabel 4.1	Lendutan dengan bentang 77 m	76
Tabel 4.2	Perbandingan nilai kekakuan dengan lendutan dan gaya aksial	77
Tabel 4.3	Nilai lendutan, gaya aksial dan kekakuan	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Potongan melintang penyusun bagian atas jalan rel konvensional	5
Gambar 2.2	Struktur bagian atas komponen penyusun jalan rel	6
Gambar 2.3	Dimensi rel	7
Gambar 2.4	Jarak bebas lateral ke tembok pembatas	11
Gambar 2.5	<i>Elastomeris bridge bearing</i>	12
Gambar 2.6	Tipe pilar jembatan penyeberangan <i>viaduct</i> dan darat	14
Gambar 2.7	Tipe pilar jembatan penyeberangan sungai dan <i>waterway</i>	14
Gambar 2.8	Skema pembebanan rencana muatan 1921	25
Gambar 2.9	Beban lateral kereta	26
Gambar 2.10	Faktor beban dinamis untuk beban hidup kendaraan	27
Gambar 2.11	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	30
Gambar 2.12	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	30
Gambar 2.13	Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	31
Gambar 2.14	Respon spektrum desain (SNI 2833:2016)	33
Gambar 2.15	Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja	39
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian	44
Gambar 3.2	Potongan melintang jembatan	46
Gambar 3.3	Desain <i>void slab</i>	47
Gambar 3.4	Desain <i>double column pier</i>	48
Gambar 3.5	Dimensi <i>double column pier</i>	48
Gambar 3.6	Desain <i>wall pier</i>	49
Gambar 3.7	Dimensi <i>wall pier</i>	49
Gambar 3.8	Desain <i>single column pier</i>	50
Gambar 3.9	Dimensi <i>single column pier</i>	50
Gambar 3.10	Dimensi parapet	52
Gambar 3.11	Input beban parapet pada <i>software</i>	53
Gambar 3.12	Dimensi rel	55

Gambar 3.13	Input bebsn mati pada <i>software</i>	56
Gambar 3.14	Input beban genangan air pada <i>software</i>	56
Gambar 3.15	Rencana muatan kereta api	57
Gambar 3.16	Pemodelan beban hidup pada <i>software</i>	57
Gambar 3.17	Input beban pengereman pada <i>software</i>	58
Gambar 3.18	Input beban sentrifugal pada <i>software</i>	59
Gambar 3.19	Input beban inspeksi pada <i>software</i>	60
Gambar 3.20	Input beban angin struktur pada <i>software</i>	61
Gambar 3.21	Input beban angin kendaraan pada <i>software</i>	61
Gambar 3.22	Input beban temperatur pada <i>software</i>	62
Gambar 3.23	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	63
Gambar 3.24	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	64
Gambar 3.25	Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016)	64
Gambar 3.26	Grafik respon spektrum	66
Gambar 4.1	Grafik kekakuan pilar	72
Gambar 4.2	Grafik gaya gempa pada pilar	75
Gambar 4.3	Grafik lendutan pada ketiga jenis <i>pier</i>	77
Gambar 4.4	Kurva kekakuan terhadap lendutan dan gaya aksial	80

DAFTAR NOTASI

V	= Kecepatan maksimum kereta pada tikungan (km/jam)
R	= Radius tikungan (m)
P	= Aksial (kN)
K	= Kekakuan pilar (kg/m)
M_n	= Kuat lentur nominal kolom, kN.m
\emptyset	= Faktor reduksi lentur
Δ	= Perpindahan (m)
R_d	= Faktor modifikasi respon
S_a	= Faktor respon gempa
S_{D1}	= Spektra permukaan tanah pada periode 1,0 detik
S_{DS}	= Spektra permukaan tanah pada periode pendek ($T=0,2$ detik)
S_B	= Batuan dasar
S_{PGA}	= Nilai PGA di batuan dasar (S_B) mengacu pada peta gempa Indonesia 2010
S_s	= Parameter percepatan respon spektral
T	= Periode (detik)
T_0	= $0,2 S_{D1} / S_{DS}$, detik
MS	= Beban mati komponen struktural dan non struktural jembatan
MA	= Beban mati perkerasan dan utilitas
TA	= Gaya horizontal akibat tekanan tanah
SH	= Gaya akibat susut/rangkak
TB	= Gaya akibat rem
TR	= Gaya sentrifugal
EQ	= Gaya gempa
BF	= Gaya friksi
TD	= Beban lajur "D"
TT	= Beban truk "T"
EW_S	= Beban angin struktural
EW_L	= Beban angin pada kendaraan
C_{sm}	= Koefisien respons gempa elastis

C = Koefisien gempa
D = diameter
H = Tinggi (m)
B = Lebar efektif (m)
Wt = Berat struktur (kg)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua tempat yang terpisah karena adanya suatu rintangan. Rintangan tersebut biasanya berupa air, lalu lintas, rawa, jurang, maupun laut.

Saat ini sedang direncanakan pembangunan jembatan kereta api berlokasi di jalan tol yang menghubungkan kota Tebing Tinggi dan Siantar di BH 38. Yang mana pembangunan ini merupakan *re-design* dikarenakan adanya peningkatan kelas jalan.

Dalam pembangunan jembatan kereta api tidak sama dengan pembangunan jembatan jalan raya, sebab dalam pembangunan jembatan jalan raya arus lalu lintas dapat dialihkan menuju jalan alternatif, tetapi dalam pembangunan jembatan kereta api tidak dapat dialihkan lintasannya sehingga dalam keadaan bagaimanapun arus kereta api harus tetap berjalan sebagaimana biasanya pada lintasan tersebut.

Jembatan terdiri dari beberapa bagian, salah satunya adalah *pier*. *Pier* berfungsi untuk menyalurkan gaya-gaya vertikal dan horizontal dari struktur atas ke pondasi.

Indonesia merupakan daerah rawan gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu: Lempeng Indo - Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Lempeng Indo-Australia bergerak relatif ke arah utara dan menyusup ke dalam lempeng Eurasia, sementara lempeng Pasifik bergerak relatif ke arah barat. Kegiatan tektonik ini membentuk zona sumber gempa (*seismic zones*), berupa lajur tujaman (*subduction zones*), lajur sesar tegak membuka (*transtensional zones*), dan lajur sesar (*thrust zones*) di sebagian besar kawasan Indonesia. Lajur-lajur ini bercirikan pergeseran kerak bumi yang selalu menimbulkan gempa bumi tektonik.

Dalam proses desain struktur, pengaruh beban gempa harus menjadi perhatian yang sangat penting dan direncanakan dengan benar dan teliti sesuai dengan peraturan perencanaan ketahanan terhadap gempa, mengingat Indonesia merupakan

daerah rawan gempa, dimana saat ini sangat banyak ditemukan kerusakan pada struktur akibat pengaruh gempa.

Oleh karena itu, karya ilmiah ini akan membahas tentang tipe *pier* yang layak digunakan akibat adanya pengaruh gempa pada jembatan kereta api BH 38 Tebing Tinggi - Siantar.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, adapun yang menjadi rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana menganalisis besar kekakuan, lendutan, dan gaya gempa dengan membandingkan pada ketiga jenis *pier* ?
2. Manakah *pier* yang paling efisien untuk digunakan berdasarkan kekakuan, lendutan dan gaya gempa pada jembatan kereta api BH 38 Tebing Tinggi – Siantar di Baja Linggei?

1.3. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah di atas, maka tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui besarnya nilai kekakuan, lendutan dan gaya gempa yang terjadi terhadap masing-masing jenis *pier*.
2. Mengetahui jenis *pier* yang paling efisien berdasarkan kategori yang ditinjau.

1.4. Batasan Masalah

Untuk menghindari timbulnya penyimpangan permasalahan yang semakin meluas dalam Tugas Akhir ini, maka diperlukan ruang lingkup/pembatasan masalah yang diantaranya sebagai berikut:

1. Analisis perhitungan tidak menghitung struktur atas (*super structure*) jembatan.
2. Analisis perhitungan pada struktur bawah (*sub structure*) jembatan hanya menghitung bagian *pier* saja.

3. Untuk bangunan atas hanya diambil beban-bebannya saja dalam analisis perhitungan *pier* jembatan.
4. Perencanaan tidak menghitung RAB (Rencana Anggaran Biaya).
5. Perencanaan perhitungan pembebanan jembatan kereta api yang dilakukan berdasarkan:
 - Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api
 - SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan
 - SNI 2833:2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah mengaplikasikan ilmu pengetahuan di bidang Teknik Sipil dan Lingkungan. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai alternatif dalam teknik perencanaan struktur jembatan, khususnya pada bagian *pier* jembatan.

1.6. Sistematika Penulisan

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang permasalahan, rumusan permasalahan, ruang lingkup pembahasan, tujuan dilakukannya penelitian dan manfaat penelitian.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori tentang jembatan, metode analisis yang akan digunakan serta ketentuan dalam desain yang harus dipenuhi sesuai syarat.

BAB 3 METODE PENELITIAN DAN PEMODELAN

Bab ini menjelaskan rencana atau prosedur yang dilakukan penulis memperoleh jawaban yang sesuai dengan kasus permasalahan.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan hasil pembahasan analisis desain dan kinerja struktur.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini terdiri dari kesimpulan dari analisis pada bab yang telah dijabarkan sebelumnya dan saran-saran yang diperlukan untuk penyempurnaan lebih lanjut di masa yang akan datang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Konstruksi jembatan adalah suatu konstruksi bangunan pelengkap sarana transportasi jalan yang menghubungkan suatu tempat ke tempat lainnya, yang dapat dilintasi oleh sesuatu benda bergerak misalnya suatu lintas yang terputus akibat suatu rintangan atau sebab lainnya, dengan cara melompati rintangan tersebut tanpa menimbun/menutup rintangan itu dan apabila jembatan terputus maka lalu lintas akan terhenti. Lintas tersebut bisa merupakan jalan kendaraan, jalan kereta api atau jalan pejalan kaki, sedangkan rintangan tersebut dapat berupa jalan kendaraan kereta api, sungai, lintasan air, lembah atau jurang.

Jembatan mempunyai tiga bagian struktur yaitu pondasi, struktur bangunan bawah, dan struktur bangunan atas. Bagian yang menghubungkan rintangan kereta api adalah struktur atasnya.

Konstruksi bangunan atas terdiri dari pembatas, rel, balas, bantalan, gelagar dan perletakan. Konstruksi bangunan bawah adalah terdiri dari abutment dan pilar (*pier*) yang seluruhnya berada diatas pondasi.

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang tidak mudah untuk dimodifikasi dikarenakan membutuhkan biaya yang sangat tinggi dan hambatan kereta api yang diakibatkan pada saat proses pelaksanaan modifikasi tersebut. Oleh karena itu, umur rencana dari suatu konstruksi jembatan biasanya relatif panjang. Untuk mendukung umur rencana yang panjang tersebut juga pemeliharaan harus diperhatikan.

2.2. Jembatan Kereta Api

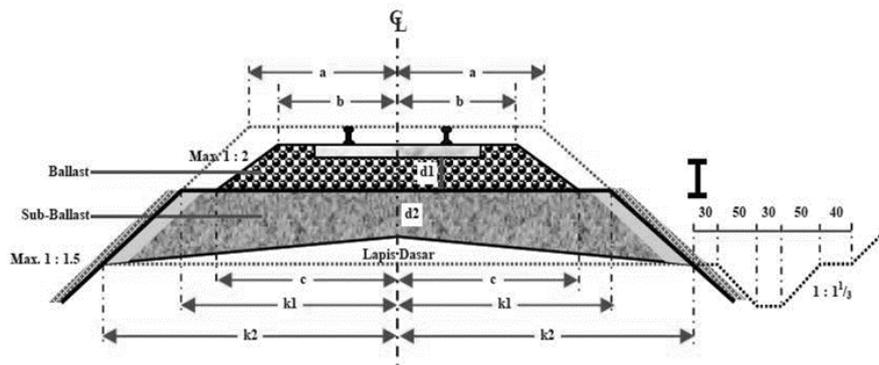
Desain jembatan kereta api mengharuskan perencana untuk memberikan pertimbangan terperinci terhadap metode konstruksi serta material yang digunakan yang berhubungan dengan lokasi yang telah ditentukan. Hal ini sebagai persyaratan mendasar untuk menghasilkan solusi desain untuk direncanakan pada waktu yang lebih efisien dan biaya perencanaan seekonomis mungkin. Khususnya dalam

perencanaan jembatan kereta api, jembatan harus mampu mendukung muatan beban kereta api yang bebannya akan disalurkan ke struktur jembatan.

2.2.1. Elemen Struktur Atas

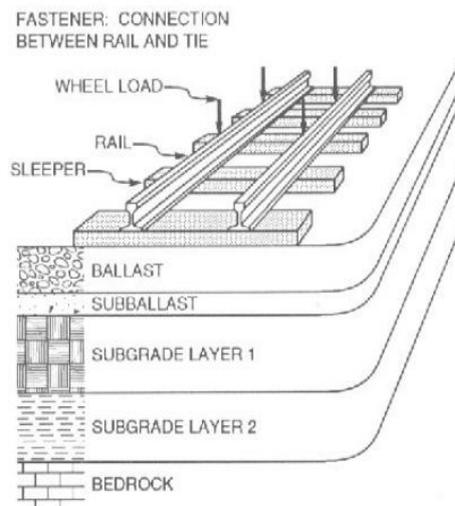
Siswanto M.F, (1999) mengatakan bahwa struktur atas jembatan adalah bagian-bagian jembatan yang memindahkan beban-beban jembatan ke arah perletakan struktur atas, yang terdiri dari gelagar-gelagar induk, struktur tumpuan atau perletakan, struktur lantai jembatan/kendaraan, pertambahan arah melintang dan memanjang.

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu-lintas kendaraan, gaya rem, beban kejut, dll.



Gambar 2.1: Potongan melintang penyusun bagian atas jalan rel konvensional.

Kereta api dalam menjalankan fungsinya sebagai sarana transportasi bergerak dari suatu tempat ke tempat lainnya berjalan di atas jalan rel. Secara umum, pada teknologi konvensional berupa teknologi dua rel sejajar, jalan rel terbentuk dari dua batang rel baja diletakkan di atas balok-balok melintang. Balok-balok melintang ini disebut bantalan. Untuk menjaga agar rel tetap pada kedudukannya, rel tersebut ditambatkan pada bantalan dengan menggunakan penambat rel. Dengan susunan dan tambatan yang demikian maka susunan dan struktur rel, bantalan, penambat rel menjadi suatu rangka yang kokoh disebut bersambungan secara memanjang membentuk jalur yang disebut sepur (*track*). Sepur diletakkan di atas suatu alas disebut balas (*ballast*), yang selanjutnya dibawah balas terdapat slab lantai kendaraan.



Gambar 2.2: Struktur bagian atas komponen penyusunan.

Struktur atas jembatan umumnya meliputi:

1. Rel

Jalan rel harus memenuhi persyaratan berikut:

- a. Minimum perpanjangan (*elongation*) 10%.
- b. Kekuatan tarik (*tensile strength*) minum 1175 N/mm^2 .
- c. Kekerasan kepala rel tidak boleh kurang dari 320 BHN.

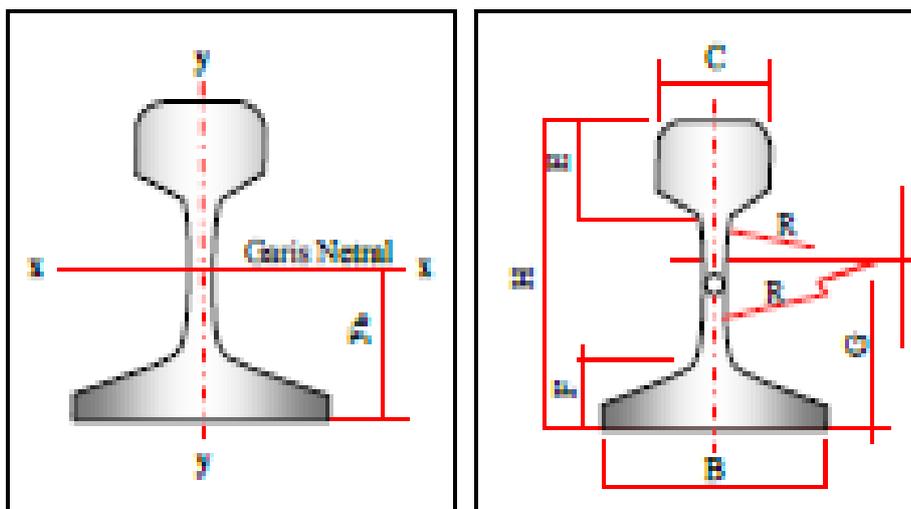
Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012 tentang perencanaan teknis jalur kereta api diperoleh dimensi penampang rel sesuai tipe rel dan kelas jalan rel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1 sampai Tabel 2.3.

Tabel 2.1: Dimensi penampang rel.

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00

Tabel 2.1: *Lanjutan*

F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I _x (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
A = Luas penampang				
W = Berat rel permeter				
I _x = Momen inersia terhadap sumbu x				
y _b = Jarak tepi bawah rel ke garis netral				



Gambar 2.3: Dimensi rel (PM. Nomor 60 Tahun 2012)

Tabel 2.2: Pembagian kelas jalan rel 1067 mm.

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Tipe Rel	Jenis Bantalan/ Jarak antar sumbu bantalan (mm)	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
I	$>20 \cdot 10^6$	120	R 60/ R 54	Beton/600	Elastis Ganda	30	60
II	$10 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^6$	110	R 54/ R 50	Beton/Kayu 600	Elastis Ganda	30	50
III	$5 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6$	100	R 54/ R 50/ R 42	Beton/Kayu/Baja 600	Elastis Ganda/ Tunggal	30	40
IV	$2,5 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$	90	R 54/ R 50/ R 42	Beton/Kayu/Baja 600	Elastis Ganda	25	40
IV	$<2,5 \cdot 10^6$	80	R 42	Kayu/Baja 600	Elastis Tunggal	25	35

Tabel 2.3: Pembagian kelas jalan rel 1435 mm.

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	Kecepatan Maksimum (km/jam)	Tipe Rel	Jenis Bantalan/ Jarak antar sumbu bantalan (mm)	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
I	$>20 \cdot 10^6$	160	R 60	Beton/600	Elastis Ganda	30	60
II	$10 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^6$	140	R 60	Beton/600	Elastis Ganda	30	50

Tabel 2.3: *Lanjutan*

III	5.10 ⁶ – 10. 10 ⁶	120	R 60/ R 54	Beton/600	Elastis Ganda	30	40
IV	<5.10 ⁶	100	R 60/ R 54	Beton/600	Elastis Ganda	25	40

2. Bantalan

Bantalan berfungsi untuk meneruskan beban kereta api, berat konstruksi jalan rel dan stabilitas ke arah luar jalan rel. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja/besi, ataupun beton. Pemilahan jenis bantalan didasarkan pada kelas kondisi lapangan serta ketersediaan. Spesifikasi masing-masing tipe bantalan harus mengacu kepada persyaratan teknis yang berlaku. Bantalan harus memenuhi persyaratan berikut:

a. Bantalan beton struktur prategang

- 1) Untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm², dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16,876 kg/cm² (1,655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar +1500 kg.m pada bagian didukung rel dan -930 kg.m pada bagian tengah bantalan.

Dimensi bantalan untuk lebar jalan rel 1067 mm:

- a) Panjang : 2.000 mm
- b) Lebar maksimum : 260 mm
- c) Tinggi maksimum : 220 mm

- 2) Untuk lebar jalan rel 1435 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 600 kg/cm², dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 MPa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum dengan sesuai desain beban gandar dan kecepatan.

Dimensi bantalan untuk lebar jalan rel 1435 mm:

- a) Panjang : - 2.440 mm untuk beban gandar sampai dengan 22,5 ton.

- 2.740 mm untuk beban gandar di atas
22,5 ton.

b) Lebar maksimum : 330 mm.

c) Tinggi bawah dudukan : 220 mm.

- b. Bantalan kayu, harus memenuhi persyaratan kayu mutu A kelas 1 dengan *modulus elastisitas* (E) minimum 125.000 kg/cm². Harus mampu menahan momen maksimum sebesar 800 kgm, lentur *absolute* tidak boleh kurang dari 46 kg/cm². Berat jenis kayu minimum = 0.9, kadar air maksimum 15%, tanpa mata kayu, retak tidak boleh sepanjang 230 mm dari ujung kayu.
- c. Bantalan besi harus memiliki kandungan Carbon Manganese *Steel Grade* 900 A, pada bagian tengah bantalan maupun pada bagian bawah rel, mampu menahan momen maksimum sebesar 650 kg.m, tegang tarik 88-103 kg/m. *Elongation* A1 > 10%.

3. Alat penambat

Alat penambat yang digunakan adalah alat penambat jenis elastis yang terdiri dari sistem elastis tunggal dan sistem elastis ganda. Pada bantalan beton terdiri dari *shoulder/insert, clip, insulator*, dan *rail pad*. Pada bantalan kayu dan baja terdiri dari pelat landas (*beseplate*), *clip, tripon (screw spike)*/baut dan cincin per (*lock washer*).

4. Balas

Fungsi utama balas adalah untuk meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar atau *deck box girder* pada jembatan, mengkokohkan kedudukan bantalan dan meluruskan air sehingga tidak terjadi penggenangan air di sekitar bantalan rel. Kemiringan lereng lapisan balas atas tidak boleh lebih curam 1:2. Bahan balas atas dihampar hingga mencapai sampai dengan elevasi bantalan. Material pembentuk balas harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Balas harus terdiri dari batu pecah (25-60) mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi dan mudah dipadatkan.
- Material balas harus bersudut banyak dan tajam.
- Porositas maksimum 3%.
- Kuat tekan rata-rata maksimum 1000 kg/cm².
- Specific gravity* minimum 2,6.
- Kandungan tanah, lumpur dan organik maksimum 0,5%.

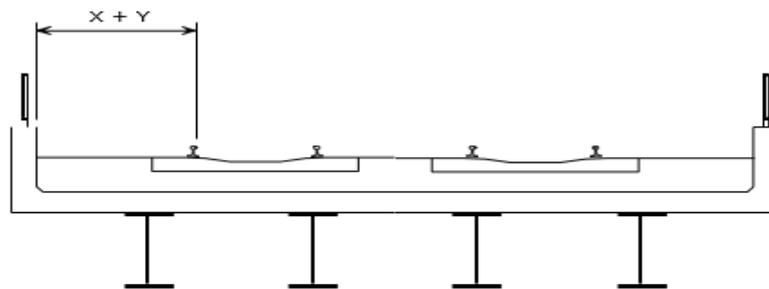
- g. Kandungan minyak maksimum 0,2%.
- h. Keausan balas sesuai dengan test *Lost Angeles* tidak boleh lebih dari 25%.

5. Trotoar

Trotoar pada jembatan kereta api berfungsi sebagai ruang bebas sebagai tempat keselamatan yang berbatasan langsung dengan trek. Dimensi dan jarak bebas minum dari jalur kereta.

6. Tiang sandaran (*rail post*)

Tiang pembatas biasanya dibuat dari beton bertulang untuk jembatan *box girder* beton, sedangkan untuk jembatan rangka tiang sandaran dengan struktur rangka tersebut. Untuk jembatan tipe *slab* komposit lebar ruang bebas minimum adalah 700 mm, jarak antara lintasan dan struktur adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Jarak bebas lateral ke tembok pembatas.

7. Plat lantai kendaraan (*slab*)

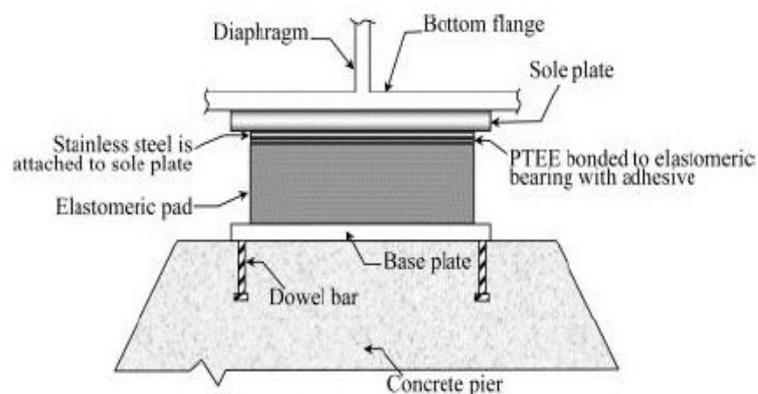
Deck berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan yang menahan beban langsung lalu lintas yang melewati jembatan itu.

8. Balok diafragma

Balok diafragma berfungsi mengkakukan PCI *girder* dari pengaruh gaya melintang. Diafragma harus disediakan pada daerah perletakan dari gelagar *box* untuk memindahkan beban yang ada ke pemikul. Diafragma harus digunakan bila gaya luar vertikal dan melintang akan di salurkan dari satu unsur ke unsur lain. Diafragma pada perletakan harus di dimensi sebanding untuk membagi gaya-gaya yang bekerja padanya dan sebagai gaya tambahan untuk menahan gaya melintang rencana harus terbagi sama antara diafragma-diafragma.

9. Tumpuan (*bearing*)

Perletakan (*bearing*) digunakan pada struktur sebagai landasan, fungsinya adalah untuk mentransfer tegangan dari struktur bagian atas ke struktur bagian bawah yang dapat memberikan pergerakan pada bagian atas struktur jembatan. *Bearing* juga berfungsi untuk mengakomodasi pergerakan rotasi dan translasi longitudinal. *Lead rubber bearing* adalah modifikasi dari bantalan elastomer berlapis dengan menambahkan inti di dalamnya untuk menyerap energi seismik yang ditimbulkan dari getaran gempa. Terdiri atas pelat baja yang terikat secara kimiawi pada karet secara berlapis. Jumlah inti didalamnya dapat disesuaikan dengan desain rencana. Bagian atas dan bawah dari pelat dowel untuk memudahkan pemasangan. Lapisan baja dan karet memberikan kekuatan fleksibilitas ke arah vertikal dan mendukung fleksibilitas. Penyebab energi dan redaman pada arah horizontal LRB dapat berbentuk persegi panjang atau lingkaran seperti terlihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5: *Elastomeric bridge bearing* (bantalan karet).

2.2.2. Struktur Bawah (*Substructure*)

Menurut Departemen Pekerjaan Umum (Modul Pengantar dan Prinsip-Prinsip Perencanaan Bangunan Bawah/Pondasi Jembatan 1988), fungsi utama bangunan bawah adalah memikul beban-beban pada bangunan atas dan pada bangunan bawahnya sendiri untuk disalurkan ke pondasi yang selanjutnya beban-beban tersebut oleh pondasi di salurkan ke tanah. Struktur bawah jembatan kereta api ini umumnya meliputi:

1. Pangkal jembatan (*abutment*)

Abutment merupakan bangunan bawah jalan layang yang terletak pada kedua ujung jalan layang yang berfungsi memikul reaksi beban pada ujung jembatan

dan dapat berfungsi sebagai dinding penahan tanah.

2. Pilar jembatan (*pier*)

Terletak di tengah bentang jembatan atau memberikan dukungan vertikal untuk rentang diantara dua poin. *Pier* jembatan memiliki dua fungsi utama yaitu mentransfer beban bangunan atas vertikal ke pondasi dan menahan kekuatan horizontal yang bekerja pada jembatan. Meskipun *pier* dirancang untuk menahan beban vertikal dan struktur di atasnya, *pier* juga didesain untuk menahan beban lateral yang disebabkan oleh gaya seismik.

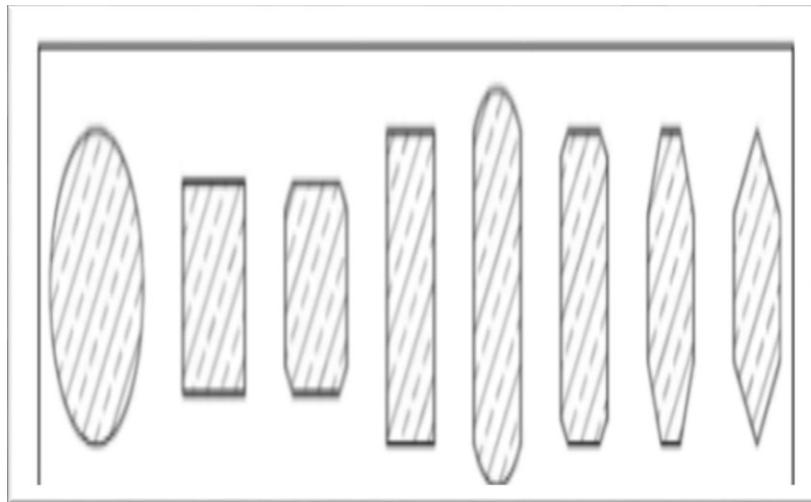
2.3. Pilar

Pilar jembatan sederhana adalah suatu konstruksi beton bertulang yang menumpu di atas pondasi tiang-tiang pancang yang terletak di tengah sungai atau yang lain yang berfungsi sebagai pemikul antara bentang tepi dan bentang tengah bangunan dan jembatan (SNI 2541, 2008). Pilar-pilar dapat berupa susunan rangka pendukung (*trestle*), yaitu topi beton bertulang yang bertindak sebagai balok melintang (*cross beam*) dengan kepala tiang tertanam pada topi, atau susunan kolom, yang menggunakan sistem beton kopel (*pile cap*) yang terpisah, sistem balok dan kolom melintang terpisah. Pilar (*pier*) jembatan berfungsi menyalurkan gaya – gaya vertikal dan horisontal dari bangunan atas ke pondasi. *Pier* jembatan memiliki dua tugas pokok yaitu menyalurkan beban struktur atas dan menahan beban horizontal yang terjadi pada struktur jembatan.

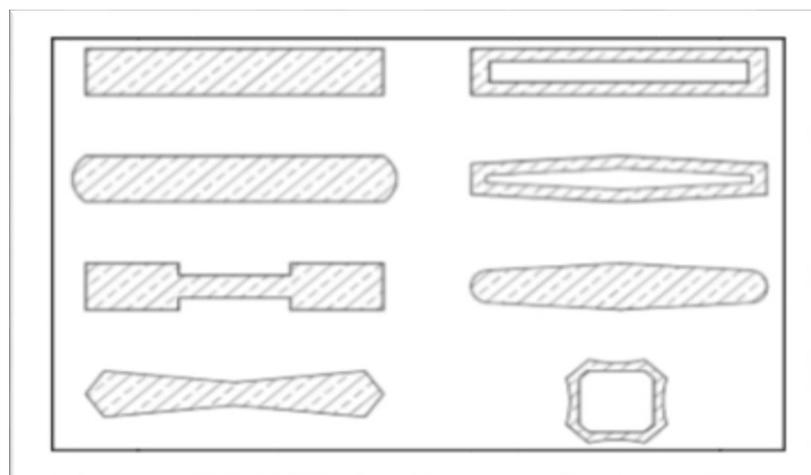
Pada umumnya di Indonesia dipakai susunan rangka pendukung untuk pondasi tiang. Pada susunan tersebut tiang diteruskan langsung pada balok melintang unjung (*cross head*) pilar. Kelebihan utama dari susunan ini adalah biaya, kemudahan pelaksanaan dan kurangnya kemungkinan penggerusan sungai. Kekurangan utama susunan ini adalah penampilannya yang kurang menarik terutama pada waktu muka air rendah. Tambah lagi *pile cap* sering ditempatkan sangat tinggi diatas muka air. Jika pondasi sumuran digunakan untuk pilar, sistem topi beton, kolom dan balok melintang ujung dipakai. Sistem kolom dapat berupa kolom tunggal atau kolom majemuk atau dapat berupa dinding penuh. Kepala jembatan dengan pondasi sumuran biasanya menempatkan bangunan kepala jembatan langsung pada pondasi sumuran.

2.3.1. Macam-macam Bentuk Pilar

Setiap perancangan bentuk pilar memiliki tujuan dan fungsi masing-masing. Perancangan pilar dengan bentuk dan jumlah pilar tertentu memiliki alasan tersendiri terhadap pemilihan pilar tersebut. Ada beberapa bentuk pilar yang biasa digunakan pada jembatan diantaranya, pilar *solid*, *hollow*, pilar bulat, oktagonal, heksagonal, *rectangular* dan lain-lain. Macam-macam bentuk pilar sesuai kegunaannya dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.



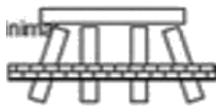
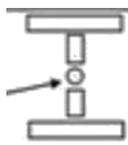
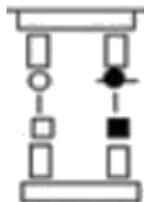
Gambar 2.6: Tipe pilar jembatan penyeberangan *viaduct* dan darat (Duan, L. dan Chen, W.F 2003)



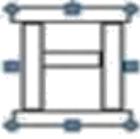
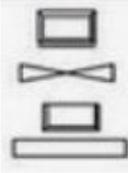
Gambar 2.7: Tipe pilar jembatan penyeberangan sungai dan *waterway* (Duan, L. dan Chen, W.F 2003).

Menurut sumber lain, terdapat beberapa jenis pilar tipikal yang akan di tampilkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Tipe pilar disesuaikan berdasarkan hubungan antara tinggi dan kesesuaian tipe jembatan.

Jenis <i>Pier</i>	Tinggi Tipikal			
	0	10	20	30
<p>Pilar Balok Cap Tiang Sederhana</p>  <p>Dua baris adalah umumnya minil. ma tiang</p>		---	---	---
<p>Pilar Kolom Tunggal</p>  <p>Dianjurkan kolom sirkular pada aliran arus.</p>	5	15		
<p>Pilar Tembok</p>  <p>Ujung bundar dan alinemen tembok sesuai arah aliran membantu mengurangi gaya aliran dan gerusan lokal.</p>	5	---	25	
<p>Pilar Portal Satu Tingkat (Kolom Ganda atau Majemuk)</p>  <p>Dianjurkan kolom sirkular pada aliran arus pemisahan kolom dengan 2D atau lebih membantu kelancaran aliran arus.</p>	5	15		

Tabel 2.4: *Lanjutan*

<p>Pilar Portal Dua Tingkat</p> 				
<p>Pilar Tembok – Penampang</p> <p>Penampang ini mempunyai karakteristik tidak baik terhadap aliran arus dan dianjurkan untuk penggunaan didarat.</p>				

2.3.2. Material Pendukung Pilar Jembatan

Pilar jembatan harus direncanakan untuk mempunyai kapasitas struktural yang memadai, dengan pergerakan yang dapat diterima sebagai akibat dari kombinasi beban-beban, serta kapasitas dukungan pondasi yang aman dan penurunan yang dapat diterima. Perencanaan struktur pilar jembatan dan pondasinya harus mengikuti standar perencanaan struktur beton bertulang sebagaimana diuraikan sebelumnya, berdasarkan cara perencanaan berdasarkan beban dan kekuatan terfaktor untuk penampang beton bertulang, termasuk pembatasan luas tulangnya.

- **Beton Bertulang**

Beton bertulang adalah kombinasi dari beton dan baja, dimana baja tulangan memberikan kekuatan tarik yang tidak dimiliki beton. Baja tulangan juga dapat memberikan tambahan kekuatan tekan pada struktur beton. Penentuan kriteria perencanaan untuk pilar tergantung pada tipe dan jenis pilar yang dipilih. Modul ini membatasi diri pada pilar yang dibuat dari beton bertulang, sehingga seluruh aspek perencanaan didasarkan atas perilaku beton bertulang. Ada 3 jenis beton yang dikenal pada saat sekarang yaitu: Beton mutu tinggi (K-400, K-450, K-500

dan K-600), Beton mutu sedang (K-250, K-300, dan K-350), Beton mutu rendah (K-125 dan K-175).

2.4. Persyaratan pada Sistem Jembatan

2.4.1. Ketentuan Umum

Berdasarkan SNI 1725:2016 jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, dan aspek layanan, dengan memperhatikan kemudahan inspeksi, faktor ekonomi dan estetika. Peraturan ini berisi ketentuan teknis untuk menghitung aksi nominal, definisi tipe aksi, serta faktor beban yang digunakan untuk menghitung besarnya aksi rencana.

Faktor beban harus dipilih sedemikian rupa untuk menghasilkan kondisi ekstrim maksimum dan minimum. Dalam kombinasi pembebanan dimana efek salah satu gaya mengurangi gaya lain, maka digunakan faktor beban permanen, harus dipilih faktor beban yang menghasilkan kombinasi pembebanan kritis. Jika terpengaruhi beban permanen adalah meningkatkan stabilitas atau kekuatan komponen jembatan, maka perencanaan harus memperhitungkan pengaruh faktor beban terkurangi (minimum).

2.4.2. Keadaan Batas Layanan

Keadaan batas layanan disyaratkan dalam perencanaan dengan melakukan pembatasan tegangan, deformasi, dan lebar retak pada kondisi pembebanan layanan agar jembatan mempunyai kinerja yang baik selama umur rencana.

2.4.3. Keadaan Batas Fatik dan Fraktur

Keadaan batas fatik disyaratkan agar jembatan tidak mengalami kegagalan akibat fatik selama umur rencana. Untuk tujuan ini, perencanaan harus membatasi rentangan tegangan akibat satu beban rencana pada jumlah siklus pembebanan yang dianggap dapat terjadi selama umur rencana jembatan. Keadaan batas fraktur disyaratkan dalam perencanaan dengan menggunakan persyaratan kekuatan material

sesuai spesifikasi keadaan batas fatik dan fraktur dimaksudkan untuk membatasi penjaralan akibat beban siklik yang ada pada akhirnya yang akan menyebabkan terjadinya kegagalan fraktur selama umur rencana.

2.4.4. Keadaan Batas Kekuatan

Keadaan batas kekuatan disyaratkan dalam perencanaan untuk memastikan adanya kekuatan dan stabilitas jembatan yang memadai, baik yang bersifat lokal maupun global, untuk memikul kombinasi pembebanan yang secara statik mempunyai kemungkinan cukup besar untuk terjadi selama masa layanan jembatan. Pada keadaan batas ini, dapat terjadi kelebihan tegangan ataupun kerusakan struktur, tetapi integritas struktur secara keseluruhan masih terjaga.

2.4.5. Keadaan Batas Ekstrim

Keadaan batas ekstrim diperhitungkan untuk memastikan struktur jembatan dapat bertahan akibat gempa besar. Keadaan batas ekstrim merupakan kejadian dengan frekuensi kemunculan yang unik dengan periode ulang yang lebih besar secara signifikan dibandingkan dengan umur rencana jembatan.

2.5. Persyaratan Pembebanan pada Sistem Jembatan Kereta Api

2.5.1. Beban Gandar

Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 18 ton. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1435 mm pada kelas jalur maksimum sebesar 22.5 ton.

2.5.2. Lendutan

Lendutan didefinisikan sebagai besaran penyimpangan (*deflection*) yang tidak boleh melebihi persyaratan koefisien terhadap panjang teoritis.

1. Koefisien lendutan maksimum jembatan baja, sebagaimana tersebut dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5: Koefisien lendutan maksimum jembatan baja.

Jenis Kereta	Gelagar				Rangka Batang
	L(m)				
Lokomotif			L < 50	L ≥ 50	Seluruh rangka
			L/800	L/700	L/1000
Kereta listrik	V (km/h)	V < 100	L/700		
Atau		100 < V ≤ 130	L/800	L/700	
Kereta diesel		100 < V ≤ 160	L/1100	L/900	

2. Koefisien lendutan maksimum jembatan beton, sebagaimana tersebut dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6: Koefisien lendutan maksimum jembatan beton.

Beban lokomotif	Bentang L (m)			L < 50	L ≥ 50
				L / 800	
	Bentang L (m)			L ≤ 20	20 < L < 50
Kereta penumpang dan kereta diesel	Untuk satu kereta	Kecepatan maksimum V (km/jam)	V < 100	L/700	
			100 < V ≤ 130	L/800	L/700
		100 < V ≤ 160	L/1100	L/900	

Tabel 2.6: *Lanjutan*

Untuk dua rangkaiian atau lebih	Kecepatan maksimum V (km/ jam)	V <100	L/ 800	L/ 850	L/ 700
		100 < V ≤ 130	L/ 1000	L/ 1100	L/ 900
		100 < V ≤ 160	L/ 1300	L/ 1400	L/ 1200

3. Koefisien lendutan maksimum jembatan komposit adalah 1/1000 panjang teoritis.

2.5.3. Stabilitas Konstruksi

Stabilitas untuk jembatan bagian atas adalah kekuatan konstruksi yang diperhitungkan dari jumlah pembebanan dan kombinasi pembebanan. Stabilitas konstruksi untuk jembatan bagian bawah adalah kapasitas daya dukung tanah dan kekuatan konstruksi yang diperhitungkan dari jumlah kombinasi pembebanan yang terdiri dari beban-beban vertikal jembatan bagian atas, beban horisontal (gempa, angin, tekanan tanah, tekanan air), dan momen guling.

Metode perhitungan desain struktur jembatan dapat menggunakan salah satu dari 2 (dua) metode berikut:

1. Metode desain tegangan izin (*Allowable Stress Design*).
2. Metode faktor beban (*Limit State Design*).

2.5.4. Tinggi Jagaan (Tiang Tepi)

Untuk perencanaan jembatan di atas sungai, harus memperhitungkan tinggi jagaan minimal 1,00 meter dibawah gelagar jembatan paling bawah terhadap muka air banjir rencana.

2.6. Pembebanan pada Jembatan Kereta Api

Pembebanan yang digunakan pada perencanaan jembatan ini yaitu peraturan pembebanan kereta api. Standar pembebanan yang digunakan berdasarkan pada (SNI 1725:2016) Tentang Pembebanan untuk Jembatan dan (Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 tentang Perencanaan Teknis Jalur Kereta Api. Standar ini menetapkan dan mengatur ketentuan pembebanan dan aksi-aksi lainnya yang akan digunakan dalam perencanaan teknis jalur kereta api.

2.6.1. Beban Primer

Beban yang merupakan beban utama dalam perhitungan tegangan pada perencanaan jembatan:

1. Beban mati (MS)

Beban mati atau beban sendiri adalah beban yang berasal dari jembatan itu sendiri yang ditinjau dan termaksud segala unsur tambahan tetap yang merupakan satu kesatuan dengan jembatan. Untuk menemukan besar seluruhnya di tentukan berdasarkan berat volume beban. Berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, berat jenis bahan yang biasanya digunakan dalam perhitungan beban mati dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7: Berat jenis bahan

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 tuang (cast iron)	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

Tabel 2.7: Lanjutan

6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-25,0	1250-2000
7	Beton $f_c' < 35$ MPa	22,0–25,0	2320
	$35 < f_c' < 105$ Mpa	$22+0,022 f_c'$	$2240+2,29 f_c'$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850

Berdasarkan SNI 1725:2016 faktor beban yang digunakan untuk berat sendiri dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8: Faktor beban akibat berat sendiri.

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^s)		Keadaan Batas Limit (γ_{MS}^u)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,0	1,1	
	Alumunium	1,0	1,1	0,90
Tetap	Beton Pracetak	1,0	1,2	0,85
	Beton dicor ditempat	1,0	1,3	0,75
	Kayu	1,0	1,4	0,7

Berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012, konstruksi jalan rel adalah spesifikasi bahan penyusun badan jalan jembatan rel kereta api menggunakan PM No. 60 Tahun 2012 beserta peraturan lain yang memberikan detail spesifik bahan penyusun badan jalan rel kereta api.

2. Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur perencanaannya. Beban mati tambahan pada jembatan jalan rel umumnya terdiri dari berat rel, bantalan, *ballast*, kerikil dll.

Dalam hal ini tentu, nilai faktor beban mati tambahan yang berbeda dengan ketentuan pada Tabel 2.9 boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati pada jembatan sehingga tidak melampaui selama umur jembatan.

Tabel 2.9: Faktor beban untuk beban mati tambahan (SNI 1725:2016).

Tipe Beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ^s_{MA})		Keadaan Batas Limit (γ^u_{MS})	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,0	2,0	0,7
	Khusus (Terawasi)	1,0	1,4	0,8

Catatan : faktor beban sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas.

3. Pengaruh tetap pelaksanaan (PL)

Pengaruh tetap pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode dan urutan pelaksanaan pekerjaan jembatan. Beban ini biasanya mempunyai kaitan dengan aksi-aksi lainnya, seperti pra-penegangan dan berat sendiri. Dalam hal ini, pengaruh faktor ini tetap harus dikombinasikan dengan aksi-aksi tersebut dengan faktor beban yang sesuai.

Bila pengaruh tetap yang terjadi tidak begitu terkait dengan aksi rencana lainnya, maka pengaruh tersebut harus dimaksudkan dalam batas daya layan dan batas ultimit menggunakan faktor beban sesuai Tabel 2.10.

Tabel 2.10: Faktor beban akibat pengaruh pelaksanaan.

Tipe beban	Faktor beban (γ_{PL})		
	Keadaan Batas Layan (γ^s_{PL})	Keadaan Batas Ultimit (γ^u_{PL})	
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

4. Beban kendaraan kereta api (beban gandar)

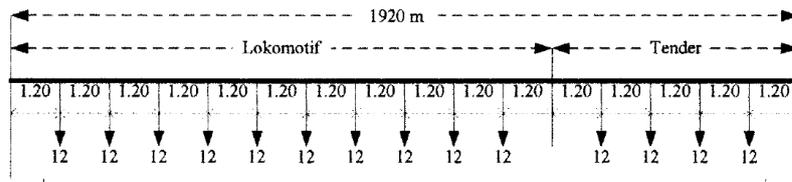
Semua beban yang berasal dari kereta api harus berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012. Perencanaan jalan rel merupakan suatu konstruksi yang direncanakan sebagai perasarana atau infrastruktur perjalanan kereta api. Struktur jalan rel merupakan suatu rangkaian yang menjadi suatu komponen yang saling mendukung sehingga mampu mendistribusikan beban kereta api secara menyeluruh dan rata terhadap tanah dasar tanpa merubah bentuk tanah (Rosyidi, 2015).

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012. Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar, untuk lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur maksimum 18 ton dan beban gandar untuk lebar jalan rel 1435 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 22.5 ton.

Beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan 1991 (RM 21).

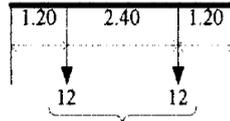
Untuk beban gandar sampai dengan 18 ton dapat digunakan skema rencana muatan 1921 (RM 21) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.8. untuk beban gandar yang lebih besar dari 18 ton, rencana muatan disesuaikan dengan kebutuhan tekanan gandar.

a. Sebagai muatan gerak dianggap suatu susunan kereta api terdiri dari 2 lokomotif pakai tender, serupa demikian:



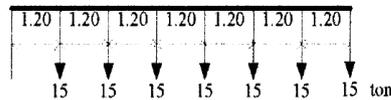
Jumlah berat 168 ton atau 87.5 ton/m.

b. Bila dengan kereta / gerobak yang banyaknya tidak menentu, serupa demikian:

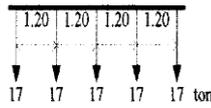


Jumlah 24 ton atau 5 ton/m.

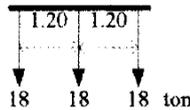
c. Susunan kereta selalu dibikin sehingga bagian yang harus dihitung kekuatannya paling berbahaya, jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 15 ton.



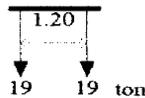
d. Jika hanya ada 5 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah 17 ton.



e. Jika hanya ada 3 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah 18 ton.



f. Jika hanya ada 2 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 19 ton.



g. Jika hanya ada 1 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan harus ditambah 20 ton.



Dari rencana-rencana muatan tersebut, selalu dipilih rencana yang pendapatnya paling berbahaya bagi yang di hitung.

Gambar 2.8: Skema pembebanan rencana muatan 1921 (RM 21).

5. Beban kejut (*i*)

Beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor *i* terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor *i* adalah dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

a. Untuk rel pada balas, $i = 0.1 + \frac{25}{50+L}$ (2.1.)

b. Untuk rel pada perletakan kayu, $i = 0.2 + \frac{25}{50+L}$ (2.2.)

c. Untuk rel secara langsung pada baja, $i = 0.3 + \frac{25}{50+L}$ (2.3.)

6. Beban horizontal

a. Beban sentrifugal

Beban sentrifugal diperoleh dengan mengalikan faktor α terhadap beban kereta. Beban bekerja pada pusat gaya berat kereta pada arah tegak lurus rel secara horisontal.

$$\alpha = \frac{V^2}{127 R} \quad (2.4.)$$

Dimana:

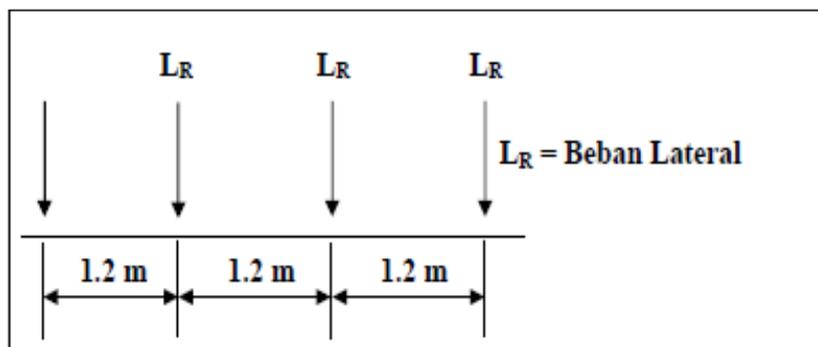
α = koefisien beban sentrifugal.

V = kecepatan maksimum kereta pada tikungan (km/jam).

R = radius tikungan (m).

b. Beban lateral kereta (LR)

Beban bekerja pada bagian atas tegak lurus arah rel, secara horizontal. Besarnya adalah 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing – masing lokomotif atau kereta listrik/diesel.



Gambar 2.9: Beban lateral kereta (PM. Nomor 60 Tahun 2012).

c. Beban Pengereman dan Traksi

Beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta api, bekerja pada pusat gaya berat kereta api ke arah rel (secara longitudinal).

d. Beban Rel Panjang longitudinal (LF)

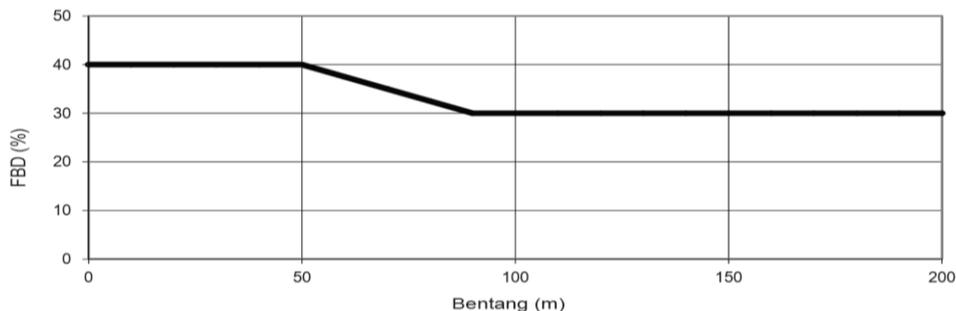
Beban rel panjang longitudinal pada dasarnya adalah 10 kN/m, maksimum 2000 kN.

7. Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspense kendaraan. Biasanya antara 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat, dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen.

Faktor beban dinamis tidak perlu ditetapkan untuk:

- a. Dinding penahan yang tidak memikul reaksi vertikal dari struktur atas jembatan.
- b. Komponen pondasi yang seluruhnya berada diwilayah permukaan tanah.



Gambar 2.10. Faktor beban dinamis untuk beban hidup kendaraan (SNI 1725:2016).

2.6.2. Beban Angin

Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horizontal, tipikal nilainya adalah:

1. 3.0 kN/m^2 pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian 2.0 kN/m^2 , pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai.
2. 1.5 kN/m^2 pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian $1,2 \text{ kN/m}^2$ untuk jembatan selain gelagar dek/rasuk atau

jembatan komposit, sedangkan $0,8 \text{ kN/m}^2$ untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

2.6.3. Beban Akibat Tumbukan Kendaraan

Menurut buku perencanaan teknik jembatan Direktorat Jendral Bina Marga beban akibat tumbukan kendaraan pada pilar jembatan ditentukan sebesar 1000 kN pada arah tegak lurus jembatan sebesar 500 kN pada arah memanjang jembatan. Keduanya bekerja pada tinggi $1,8 \text{ m}$ dari permukaan jalan dibawah jembatan.

2.6.4. Beban Gempa

Standar perencanaan jembatan terhadap beban gempa pada (SNI 2833:2016), standar ini menetapkan dan mengatur ketentuan perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan. Jembatan harus direncanakan agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan signifikan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Penggantian secara parsial atau lengkap pada struktur diperlakukan untuk beberapa kasus. Kinerja yang lebih tinggi seperti kinerja operasional dapat ditetapkan oleh pihak yang berwenang. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R) dengan formulasi Persamaan 2.46 sebagai berikut:

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} W_t \quad (2.5.)$$

Keterangan:

EQ = Gaya gempa horizontal statis (kN).

C_{sm} = Koefisien respon gempa *elastic*.

R_d = Faktor modifikasi respon.

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 sesuai dengan daerah gempa dan periode ulang gempa rencana. Koefisien percepatan yang diperoleh berdasarkan pada peta gempa dikalikan dengan

satu faktor amplifikasi sesuai dengan keadaan tanah sampai kedalaman 30 m dibawah struktur jembatan.

1. Bahaya Gempa

Bahaya gempa pada jembatan harus dikarakterisasi dengan menggunakan respon spektra percepatan dan faktor situs untuk kelas situs yang sesuai. Respon spectra percepatan dapat ditentukan baik dengan prosedur umum atau berdasarkan spesifik situs. Prosedur spesifik- situs jika terdapat kondisi sebagai berikut:

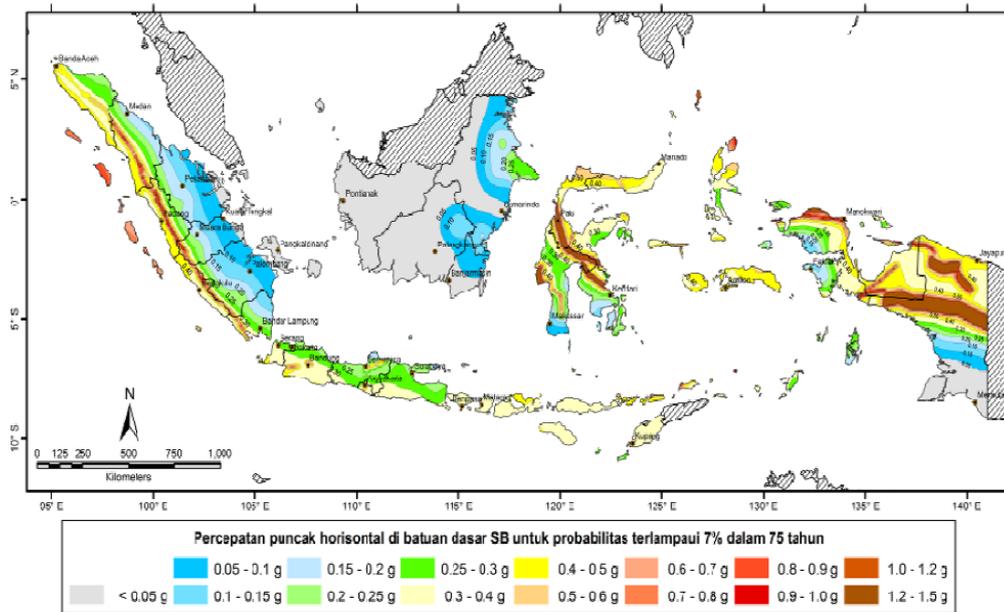
- a. Jembatan berada dalam jarak 10 km dari patahan aktif.
- b. Situs termasuk dalam kategori kelas F yaitu kelas situs lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respon dinamik spesifik. Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti:
 - 1) Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung, sangat sensitif, tanah tersementasi lemah.
 - 2) Lempung organik tinggi atau gambut (dengan ketebalan > 3 m).
 - 3) Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan $PI > 75$).
 - 4) Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m).

2. Prosedur Umum

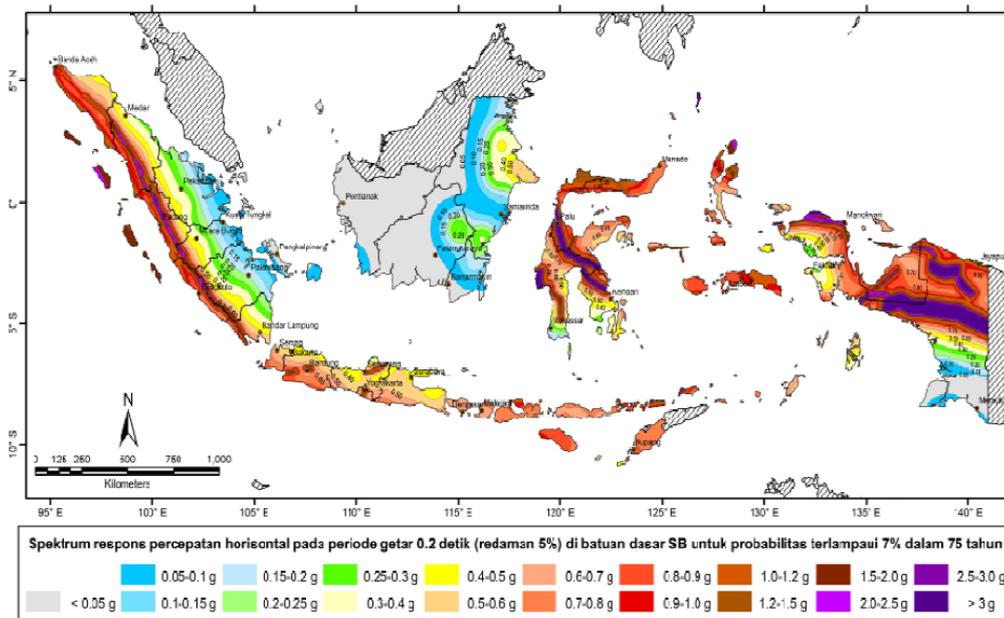
Peta gempa dalam ketentuan ini meliputi peta percepatan puncak di batuan dasar (*PGA*) dan respon spektra percepatan 0,2 detik dan 1 detik di batuan dasar yang mewakili *level hazard* (potensi bahaya gempa) gempa 1000 tahun dengan kemungkinan terlampaui 7% dalam 75 tahun. Dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 2.11: Penjelasan peta gempa (SNI 2833:2016)

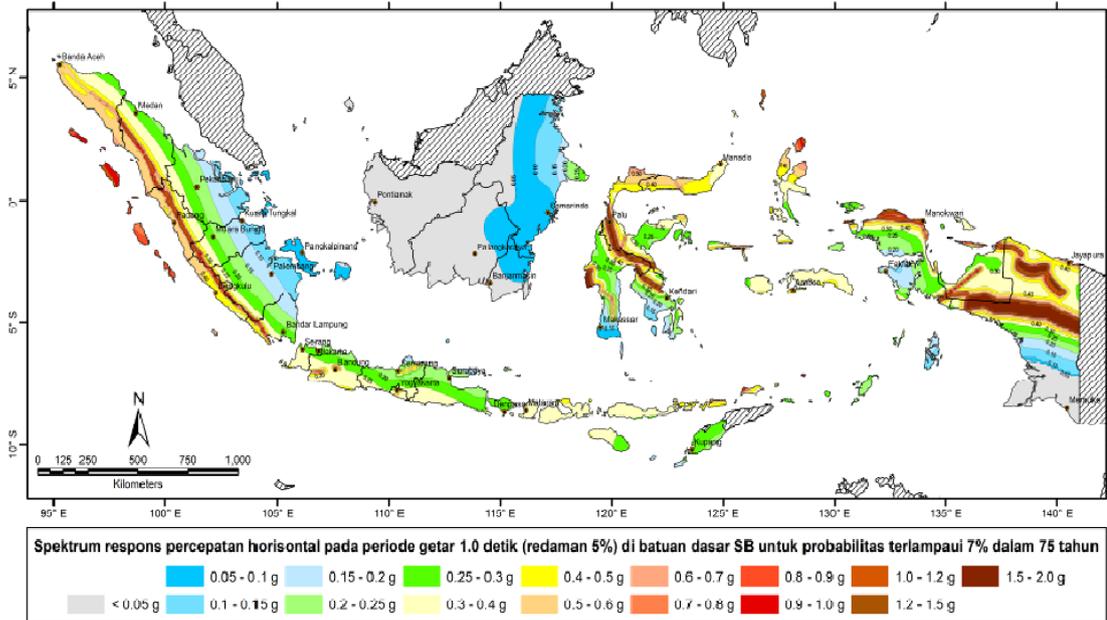
No	No Gambar	Level Gempa	Keterangan
1	Gambar 1	7% dalam 75 tahun (gempa \approx 1000 tahun)	Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA)
2	Gambar 2		Peta respons spectra percepatan 0,2 detik di batuan dasar (Ss)
3	Gambar 3		Peta respons spectra percepatan 1,0 detik di batuan dasar (S1)



Gambar 2.11: Peta percepatan pucak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).



Gambar 2.12: Ss, Peta respon spektrum percepatan 0.2 detik di batuan dasar S_B untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).



Gambar 2.13: S_1 , Peta respon spektrum percepatan 1 detik di batuan dasar S_B untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (SNI 2833:2016).

3. Penentuan faktor situs

Untuk penentuan respon spektra di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi pada periode nol detik, periode pendek ($T = 0,2$ detik) dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode nol detik (F_{PGA}), faktor amplifikasi periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Tabel 2.10-2.11 memberikan nilai F_{PGA} , F_a , F_v untuk berbagai klasifikasi kelas situs berdasarkan jenis tanah.

Tabel 2.12: Faktor amplifikasi untuk PGA dan 0.2 detik (F_{PGA}/F_a).

Kelas situs	PGA \leq 0,1	PGA=0,2	PGA=0,3	PGA=0,4	PGA>0,5
	Ss \leq 0,25	Ss=0,5	Ss =0,75	Ss =1	Ss \geq 1,25
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1	1	1	1	1

Tabel 2.12: *Lanjutan*

Tanah keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah lunak(SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Catatan: Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier.

Tabel 2.13: Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv).

Kelas situs	S1≤0,1	S1≤0,2	S1≤0,3	S1≤0,4	S1≤0,5
Batuan keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1	1	1	1	1
Tanah keras (SC)	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah sedang (SD)	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
Tanah lunak (SE)	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan: Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier.

Keterangan:

PGA = Percepatan puncak batuan dasar sesuai peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.11)

S1 = Parameter respon spectra percepatan gempa periode pendek (T=0.2 detik) dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.13)

Ss = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisa respon spesifik spesifik pecepatan tanah puncak.

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA \quad (2.6.)$$

Dimana:

PGA_M = Nilai percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

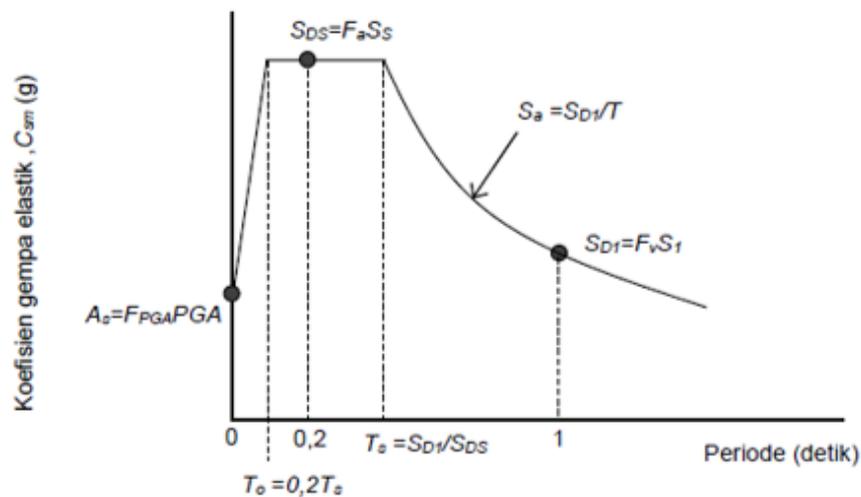
F_{PGA} = Nilai koefisien situs untuk PGA.

4. Karakteristik bahaya gempa

a. Respon spektrum rencana

Menurut teori dinamika struktur (*structural dynamics*) salah satu cara untuk menghitung/menentukan simpangan gaya-gaya dinamik pada struktur derajat kebebasan banyak (*Multi Degree of Freedom*) adalah dengan menggunakan respon spektrum.

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respon maksimum dari sistem berderajat kebebasan tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat goyangan tanah disajikan dalam bentuk plot/grafik antara periode getar struktur T , lawan respons-respons maksimumnya untuk rasio redaman dan beban gempa tertentu. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14: Respon spektrum desain (SNI 2833:2016).

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 , S_1), serta nilai faktor amplifikasi F_{PGA} , F_a , dan F_v . Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut:

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad (2.7.)$$

$$S_{ds} = F_a \times S_s \quad (2.8.)$$

$$S_{d1} = F_v \times S_1 \quad (2.9.)$$

b. Koefisien respon gempa elastic

Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respon spektra percepatan, C_{sm} adalah sama dengan S_{ds} . Untuk periode lebih besar dari T_s , koefisien respon gempa elastic (C_{sm}) didapatkan dari persamaan berikut:

$$C_{sm} = \frac{S_{d1}}{T} \quad (2.10.)$$

$$T_0 = 0.2 \times T_s \quad (2.11.)$$

$$T_s = \frac{S_{d1}}{S_{dS}} \quad (2.12.)$$

Keterangan :

S_{DS} = adalah nilai spektra permukaan tanah dasar periode pendek ($T = 0.2$ detik).

S_{D1} = adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik.

5. Kategori kinerja seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu dari ke empat zona gempa berdasarkan spektra percepatan periode 1 detik (S_{d1}) sesuai Tabel 2.14. kategori tersebut menggambarkan variasi resiko seismik dan digunakan untuk penentuan zona gempa, dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14: Zona gempa (SNI 2833:2016).

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

Catatan:

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

S_{D1} = adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik

F_v = adalah nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

S_1 = adalah parameter respon spektra percepatan gempa untuk periode 1.0 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia dengan probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun (Gambar 2.14).

6. Faktor modifikasi respon

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

Struktur jembatan kereta api diklasifikasikan dalam kategori jembatan lainnya (*other bridge*). Berdasarkan tabel nilai R yang digunakan untuk *pier* (struktur atas) dapat diambil 1.5, baik untuk arah longitudinal maupun transversal. Sedangkan untuk desain pondasi (struktur bawah) nilai R diambil 1.

Tabel 2.15: Faktor modifikasi respon (R).

Bangunan bawah	Kategori kepentingan		
	Sangat penting	Penting	Lainnya
Pilar tipe dinding	1,5	1,5	2,0
Tiang/Kolom beton bertulang			
-Tiang vertikal	1,5	2,0	3,0
-Tiang miring	1,5	1,5	2,0
Kolom tunggal	1,5	2,0	3,0

Tabel 2.15: *Lanjutan*

Tiang baja dan komposit			
-Tiang vertikal	1,5	3,5	5,0
-Tiang miring	1,5	2,0	3,0
Kolom majemuk	1,5	3,5	5,0

Tabel 2.16: Faktor modifikasi respon (R) untuk antar elemen struktur (SNI 2833:2016).

Hubungan elemen struktur	Semua kategori kepentingan
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai dilatasi dengan bangunan atas	0,8
Kolom, pilar atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom, atau pilar dengan fondasi	1,0

7. Persyaratan P- Δ

Perpindahan lateral kolom atau pilar baik dalam arah longitudinal maupun melintang harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\Delta_{Pu} < 0,25\phi M_n \quad (2.13.)$$

Dimana,

$$\Delta = R_d \times \Delta_e \quad (2.14.)$$

Bila $T < T_s$, maka:

$$R_d = \left\{ 1 - \frac{1}{R} \right\} \frac{1,25T_s}{T} + \frac{1}{R} \quad (2.15.)$$

Bila $T \geq 1,25T_s$, maka:

$$R_d = 1 \quad (2.16.)$$

Keterangan:

- Δ : Perpindahan titik kolom atau pilar relatif terhadap dasar pondasi (m)
- Δ_e : Perpindahan berdasarkan gempa elastis (m)
- T : Periode moda getar fundamental (detik)
- $T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}}$ (detik)
- R : Faktor modifikasi respon
- P_u : Beban aksial terfaktor pada pilar (kN)
- ϕ : Faktor reduksi pada pilar
- M_n : Kuat lentur nominal pilar (kN.m)

2.6.5. Gaya Akibat Temperatur

1. Temperatur Seragam (*Eun*)

Deformasi akibat perubahan temperatur yang merata dapat dihitung dengan menggunakan prosedur seperti yang dijelaskan pada pasal ini dapat digunakan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan gelagar yang terbuat dari beton atau baja. Rentang temperatur harus seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.16. Perbedaan antara temperatur minimum dengan temperatur maksimum dengan temperatur normal yang diasumsikan dalam perencanaan harus digunakan untuk menghitung pengaruh akibat deformasi yang terjadi akibat perbedaan suhu tersebut. Temperatur minimum dan maksimum yang ditentukan dalam Tabel 2.16 harus digunakan sebagai $T_{mindesign}$ dan $T_{maxdesign}$ pada Pers. 2.17.

Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (ΔT) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut:

$$\Delta T = \alpha L (T_{max\ design} - T_{min\ design}) \tag{2.17.}$$

Tabel 2.17: Temperatur jembatan rata-rata nominal.

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton diatas gelagar atau boks beton.	15 °C	40 °C

Tabel 2.17: *Lanjutan*

Tipe bangunan atas	Temperatur jembatan rata-rata minimum (1)	Temperatur jembatan rata-rata maksimum
Lantai beton diatas gelagar , boks atau rangka baja	15 °C	40 °C
Lantai pelat baja diatas gelagar, boks atau rangka baja	15 °C	40 °C
Catatan: Temperature jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5 °C untuk lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m diatas permukaan laut.		

Tabel 2.18: Sifat bahan rata-rata akibat pengaruh temperatur.

Bahan	Koefisien perpanjangan akibat suhu (α)	Modulus Elastis (MPa)
Baja	12×10^{-6} per °C	200.000
Beton		
Kuat tekan < 30 MPa	10×10^{-6} per °C	$4700\sqrt{f_c'}$
Kuat tekan > 30 Mpa	11×10^{-6} per °C	$4700\sqrt{f_c'}$

2. Temperatur Gradien

Variasi temperatur (EG) di dalama bangunan atas jembatan atau perbedaan temperatur disebabkan oleh pemanasan langsung dari sinar matahari di waktu siang bagian atas permukaan lantai dan pelepasan kembali radiasi dari seluruh permukaan jembatan di waktu malam. Gradien temperatur nominal arah vertikal untuk bangunan atas beton dan baja diberikan dalam Gambar 2.15. Parameter yang digunakan mencakup T_1 , T_2 , dan T_3 dengan nilai sesuai pada Tabel 2.19. untuk tipe jembatan

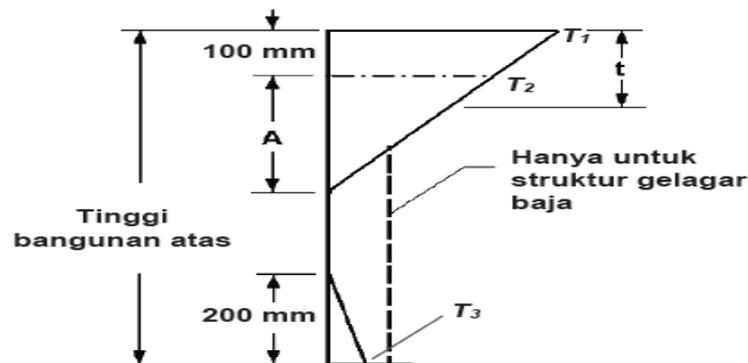
yang lebar diperlukam perhitungan untuk meninjau gradien perbedaan temperatur dalam arah melintang. Nilai A dapat diambil sebagai berikut:

- Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar sebesar 400 mm atau lebih nilai A sama dengan 200 mm.
- Untuk bangunan atas terbuat dari beton dengan tinggi gelagar lebih rendah dari 400 mm nilai A diambil lebih kecil 100 mm dari tinggi aktual.
- Untuk bangunan atas terbuat dari baja, nilai A diambil sebesar 200 mm dan jarak t diambil sebagai ketebalan pelat lantai.

Tabel 2.19: Parameter T_1 dan T_2

Lokasi jembatan	T_1 ($^{\circ}\text{C}$)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)	T_3 ($^{\circ}\text{C}$)
< 500 m di atas permukaan laut	12	8	$0 \leq T_3 < 5$
> 500 m di atas permukaan laut	17	11	

Nilai T_3 dapat diambil sebesar 0 kecuali bila dilakukan kajian spesifikasi situs tetapi nilai T_3 diambil tidak melebihi 5°C .



Gambar 2.15: Gradien temperatur vertikal pada bangunan atas beton dan baja.

2.7. Faktor Kombinasi Pembebanan

Berdasarkan SNI 1725:2016 jembatan harus direncanakan sesuai dengan keadaan batas yang disyaratkan untuk mencapai target pembangunan, keamanan, aspek layanan, dengan memperhatikan kemudah inspeksi, faktor ekonomi, dan estetika.

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi persamaan 1 untuk kombinasi beban-beban ekstrim seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas sebagai berikut:

Gaya total terfaktor yang digunakan dalam perencanaan harus dihitung menggunakan Pers. 2.18 berikut ini:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i \quad (2.18)$$

Keterangan :

γ_i = Faktor beban.

η_i = Faktor pengubah respons.

Q_i = Gaya atau beban yang bekerja pada jembatan.

Komponen dan sambungan pada jembatan harus memenuhi Pers. 2.54 untuk kombinasi beban-beban ekstrem seperti yang ditentukan pada setiap keadaan batas berikut:

Kuat I = kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Pada keadaan batas ini, semua gaya nominal yang terjadi dikalikan dengan faktor beban yang sesuai.

Kuat II = kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan penggunaan jembatan untuk memikul beban kendaraan khusus yang ditentukan pemilik tanpa memperhitungkan beban angin.

Kuat III = kombinasi pembebanan dengan jembatan dikenal beban angin berkecepatan 90 km/jam.

Kuat IV = kombinasi pembebanan memperhitungkan kemungkinan adanya rasio beban mati dengan hidup yang besar.

Kuat V = kombinasi pembebanan berkaitan dengan operasional normal jembatan dengan memperhitungkan beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam.

Ekstrem I = kombinasi pembebanan gempa. Faktor beban hidup Y_{EQ} yang memperhitungkan bekerjanya beban hidup pada saat gempa berlangsung harus ditentukan berdasarkan kepentingan jembatan.

Ekstrem II = kombinasi pembebanan yang meninjau kombinasi antara beban hidup berkurang dengan beban yang timbul akibat tumbukan kapal,

tumbukan kendaraan, banjir atau beban hidrolika lainnya, kecuali untuk kasus pembebanan akibat tumbukan kendaraan (*TC*). Kasus pembebanan akibat banjir tidak boleh dikombinasi dengan beban akibat tumbukan kendaraan dan tumbukan kapal.

- Layan I = kombinasi pembebanan yang berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhatikan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam/kombinasi ini juga digunakan untuk lendutan pada gorong-gorong baja, pelat pelapis terowongan, pipa termoplastik serta untuk mengontrol lebar retak struktur bertulang, dan juga untuk analisis tegangan tarik pada penampang melintang jembatan beton segmental. Kombinasi pembebanan ini juga harus digunakan untuk investigasi stabilitas lereng.
- Layan II = kombinasi pembebanan yang ditunjukkan untuk investigasi stabilitas lereng.
- Layan III = kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada arah memanjang jembatan beton pratekan dengan tujuan untuk mengontrol besarnya retak dan tegangan utama tarik pada bagian badan dari jembatan beton segmental.
- Layan IV = kombinasi pembebanan untuk menghitung tegangan tarik pada kolom beton pratekan dengan tujuan mengontrol besarnya retak.
- Fatik = kombinasi beban fatik dan fraktur sehubungan dengan umur fatik akibat induksi beban yang waktunya tak terbatas.

Faktor beban untuk setiap beban setiap kombinasi pembebanan harus diambil seperti terlihat pada Tabel 2.20.

Tabel 2.20: Kombinasi beban dan faktor beban (SNI 1725:2016).

Keadaan Batas	MS MA TA PR SL SH	TT TD TB TR TP	EU	E _{Ws}	E _{Wl}	BF	EU _n	TG	ES	GUNAKAN SALAH SATU		
										EQ	TC	TV
Kuat I	Y _P	1,8	1,0	-	-	1,0	0,5/1 ,2	Y _T G	Y _E S	-	-	-
Kuat II	Y _P	1,4	1,0	-	-	1,0	0,5/1 ,2	Y _T G	Y _E S	-	-	-
Kuat III	Y _P	-	1,0	1,4	-	1,0	0,5/1 ,2	Y _T G	Y _E S	-	-	-
Kuat IV	Y _P	-	1,0	-	-	1,0	0,5/1 ,2	-	-	-	-	-
Kuat V	Y _P	-	1,0	0,4	1,0	1,0	0,5/1 ,2	Y _T G	Y _E S	-	-	-
Extrem I	Y _P	Y _E Q	1,0	-	-	1,0	-	-	-	1,0	-	-
Extrem II	Y _P	0,5	1,0	-	-	1,0	-	-	-	-	1,0	1,0
Daya layan I	1,0	1,0	1,0	0,3	1,0	1,0	1,0/1 ,2	Y _T G	Y _E S	-	-	-
Daya layan II	1,0	1,3	1,0	-	-	1,0	1,0/1 ,2	-	-	-	-	-

Tabel 2.20: *Lanjutan*

Daya layan III	1,0	0,8	1,0	-	-	1,0	1,0/1,2	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Daya layan IV	1,0	-	1,0	0.7	-	1,0	1,0/1,2	-	1,0	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan = Y_P dapat berupa Y_{MS} , Y_{MA} , Y_{TA} , Y_{PR} , Y_{PL} , Y_{SH} Tergantung beban yang ditinjau.

Y_{EQ} adalah faktor beban hidup kondisi gempa.

1. Evaluasi pada keadaan batas kekuatan

Perencanaan harus menyelidiki semua kombinasi pembebanan pada keadaan batas kekuatan yang diatur pada Tabel 2.19 yang dimodifikasi pada pasal ini. Faktor beban untuk berat sendiri struktur dan kelengkapan MS dan MA , tidak boleh diambil kurang dari 1,25 pada waktu melakukan pemeriksaan keadaan batas kekuatan kombinasi I, III, dan V selama masa konstruksi. Kecuali ditentukan lain oleh pemilik pekerjaan, faktor beban untuk beban pelaksanaan dan setiap efek dinamis yang terkait harus diambil kurang dari 1,5 untuk keadaan batas kekuatan kombinasi I. Faktor beban untuk beban angin pada Keadaan Batas Kekuatan Kombinasi III tidak boleh kurang dari 1,25.

2. Evaluasi lendutan pada keadaan batas layan

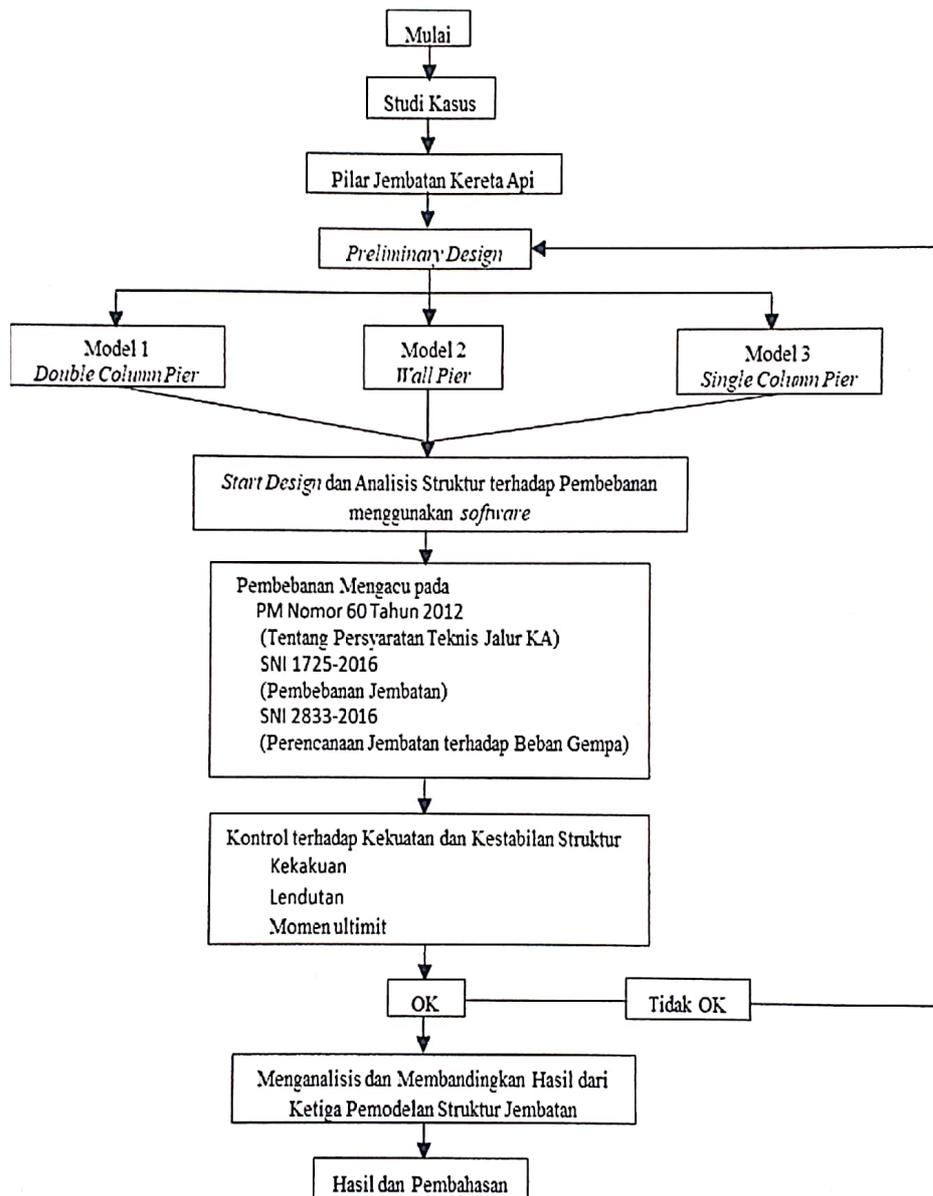
Jika di dalam kotak disebutkan bahwa harus dilakukan evaluasi lendutan selama masa pembangunan, maka harus digunakan keadaan batas daya layan kombinasi I untuk menghitung besarnya lendutan yang terjadi, kecuali ada ketentuan khusus yang merubah ketentuan ini. Beban mati akibat peralatan konstruksi harus dianggap sebagai bagian dari beban permanen dari beban hidup yang terjadi selama pelaksanaan harus dianggap sebagai bagian dari beban hidup. Besarnya lendutan yang diizinkan selama masa pembangunan harus dicantumkan di dalam dokumen kontrak.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Berikut adalah Bagan Alir Perencanaan dan Analisis Struktur Jembatan



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian

1.1. Metode Analisis

Dimulai dengan merencanakan gambar struktur jembatan beton dengan mempertimbangkan berbagai peraturan yang harus dilaksanakan dalam desain suatu struktur jembatan.

Dari gambar struktur jembatan yang ada kemudian dilanjutkan dengan analisis awal, yaitu; pemilihan bahan struktur, tipe struktur jembatan, dimensi struktur, dan pembebanan yang harus diterima struktur tersebut sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Setelah diketahui beban apa saja yang harus diterima oleh jembatan, maka langkah selanjutnya adalah desain struktur *pier* sesuai peraturan yang berlaku.

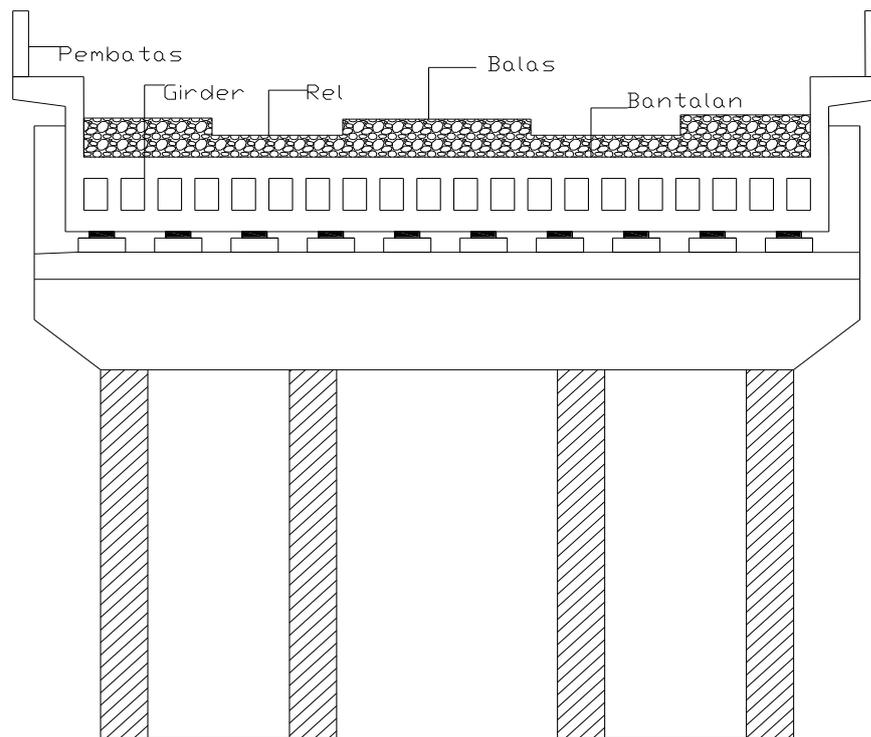
Untuk mengetahui kekuatan dan kestabilan struktur tersebut, dilakukan analisis kekakuan, lendutan, dan momen ultimit struktur pier menggunakan *software* aplikasi jembatan.

1.2. Pemodelan Struktur

3.3.1. Data Umum Jembatan

Adapun data-data yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Panjang jembatan : 77 m
2. Lebar *box girder* : 9,7 m
3. Lantai kendaraan : 2 jalur kereta api
4. Tebal balas : 0,5 m
5. Tebal bantalan : 0,22 m
6. Jenis rel : R54
7. Tinggi pembatas : 1,45 m
8. Tinggi genangan air hujan : 0,05 m
9. Kuat tekan beton : 29,05 MPa
10. Mutu beton : K-350
11. Modulus elastis : $4700 \times \sqrt{f_c'} = 25332 \text{ MPa}$
12. Angka poisson ν : 0,2
13. Koefisien muai beton : 0.00001 per °C
14. Lokasi : Baja Linggei



Gambar 3.2: Potongan melintang jembatan

3.3.2. Data Material Struktur Jembatan

Tabel 3.1: Berat jenis bahan

Jenis Bahan	Berat (kg/m ³)
Beton Bertulang	2500
Beton	2400
Baja, Baja Cor	7850
Kerikil	2000
Air	1000

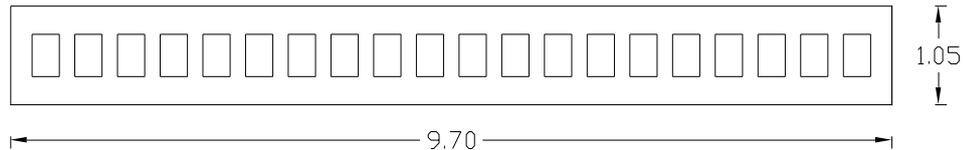
3.4 Konfigurasi Struktur Jembatan

Pada tugas akhir ini, struktur yang direncanakan adalah struktur jembatan beton dengan sistem kontinu. Adapun model yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Jembatan dengan *double column pier*
2. Jembatan dengan *wall pier*
3. Jembatan dengan *single column pier*

3.5 Dimensi *Void Slab Girder*

Pada Tugas Akhir ini digunakan *void slab girder* seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Desain *void slab*

3.6 Perletakan (*Bearing*)

Perletakan pada kereta api ini direncanakan menggunakan landasan yang terbuat dari karet yang di dalamnya dilengkapi dengan pelat baja (*Elastomer Rubber Bearing Pad*), adapun karet yang digunakan harus memiliki tingkat kekenyalan yang tinggi, bersifat elastis walaupun diberi beban yang besar dalam jangka waktu yang lama. Pemilihan ukuran perletakan didapatkan dari dengan ukuran dan dimensi yang berbeda-beda. Untuk perencanaan kereta api ini dicoba menggunakan perletakan bentuk persegi dengan ukuran. spesifikasi *elastomer* adalah sebagai berikut:

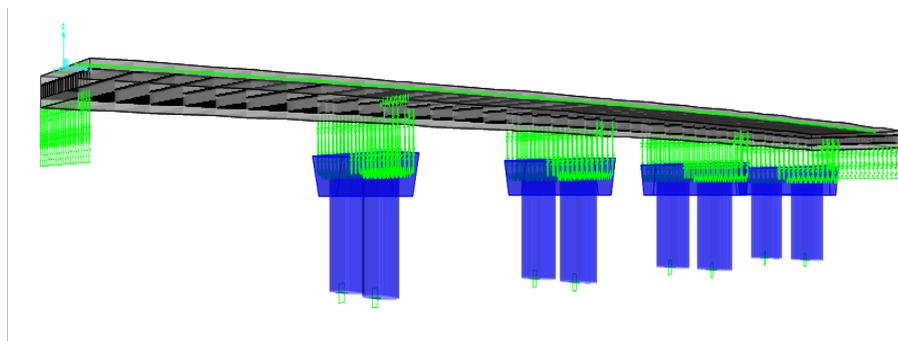
- *Bearing Reference*: 4535-03-11ENR4
- *Plan Dimension* (mm): 400 x 350
- *Height* (mm): 54
- *Weight* (kg): 25.6
- *Kc* (kN/mm): 5721
- *Ks* (kN/mm): 6.39
- *Max Shear Movement UnLocated* (mm): 26.6
- *SLS Vertical Load* (kN): 1233
- *Rotational Capacity (Rads)*: 0,0083

3.7 Pemodelan Struktur Desain Kolom (*Pier*)

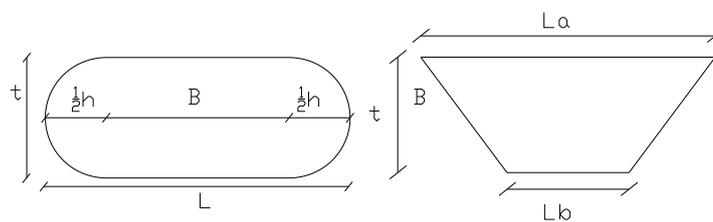
Pada kajian ini akan digunakan tiga jenis kolom yang berbeda namun dengan ketinggian yang sama, yaitu *double column pier*, *wall pier*, dan *single column pier*. Yang mana *double column pier* akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan dimensi kolom yang lain. Dari kekakuan kolom ini akan menentukan dimensi untuk *wall pier* dan *single column pier* melalui sistem *trial and error*, yang mana selisih nilai kekakuan (*stiffness*) dari ketiga kolom tersebut $\pm 5\%$.

3.7.1 Pemodelan I *Double Column Pier*

Struktur pada tugas akhir ini dimodelkan menggunakan *void slab* sebagai struktur atas dengan bentang 77 m, *elastomeric bearing pads* sebagai tumpuannya dan *double column pier* berbentuk oval dengan ketinggian 5,2 m dan *pier head* berbentuk trapesium sebagai struktur bawah jembatan terlihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4: Desain *double column pier*



Gambar 3.5: Dimensi *double column pier*

1. Dimensi *pier*:
 - a. Tinggi (H) = 5,2 m
 - b. Tebal (t) = 1,2 m

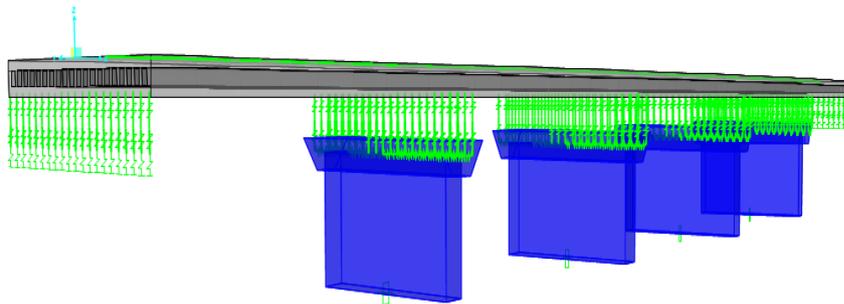
- c. Lebar (L) = 3 m
- d. B = 1,8 m
- e. h = 1,2 m

2. Dimensi *pier head*:

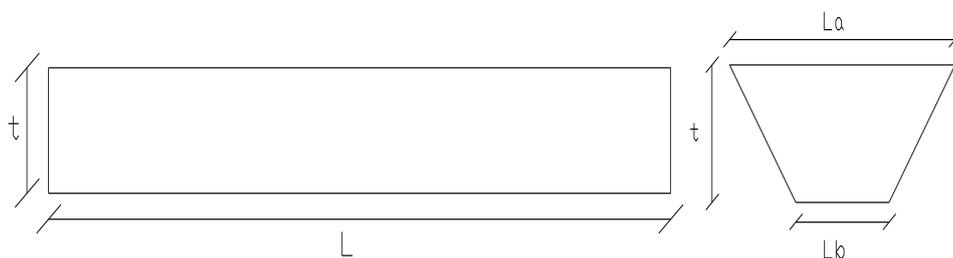
- a. Tebal (t) = 1,15 m
- b. Panjang = 9 m
- c. Lebar atas (La) = 2,9 m
- d. Lebar bawah (Lb) = 1,2 m

3.7.2 Pemodelan II *Wall Pier*

Menggunakan perletakan dan juga struktur atas yang sama, namun pemodelan ini menggunakan *wall pier* sebagai struktur bawah berbentuk persegi dengan *head pier* yang sama dengan pemodelan 1. Seperti terlihat pada gambar.



Gambar 3.6: Desain *wall pier*



Gambar 3.7: Dimensi *wall pier*

1. Dimensi *pier*:

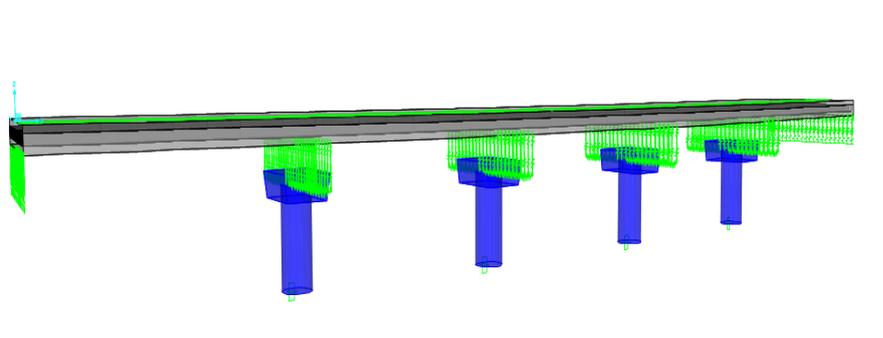
- a. Tinggi (H) = 5,2 m
- b. Tebal (t) = 1,05 m
- c. Lebar (L) = 8 m

2. Dimensi *pier head*:

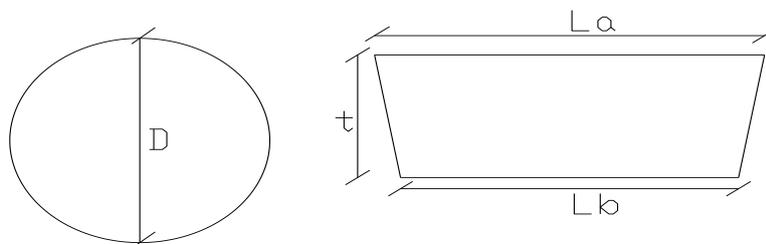
- a. Tebal (t) = 1,15 m
- b. Panjang = 9 m
- c. Lebar atas (La) = 2,9 m
- d. Lebar bawah (Lb) = 1,2 m

3.7.3 Pemodelan III *Single Column Pier*

Dengan panjang bentang jembatan 77 m, pada struktur ini direncanakan *single column pier* dengan bentuk lingkaran dan *head pier* berbentuk trapezium. Dengan dimensi seperti berikut.



Gambar 3.8: Desain *single column pier*



Gambar 3.9: Dimensi *single column pier*

1. Dimensi *pier*:

- a. Tinggi (H) = 5,2 m
- b. Diameter (D) = 2 m

2. Dimensi *pier head*:

- a. Tebal (t) = 1,2 m
- b. Panjang = 4 m
- c. Lebar atas (La) = 3 m

d. Lebar bawah (Lb) = 2,6 m

3.8 Pembebanan

3.8.1 Analisis Pembebanan

Pembebanan pada jembatan terdiri dari:

1. Beban sendiri (beban mati).
 - a. *Void slab girder*
 - b. Parapet
2. Beban mati tambahan
 - a. Inspeksi
 - b. Bantalan
 - c. Rel
 - d. *Ballast*
 - e. Genangan Air
3. Beban Lajur
4. Beban Kejut
5. Beban Rel Longitudinal
6. Beban Pengereman
7. Beban Angin
 - a. Beban angin struktur.
 - b. Beban angin kendaraan.
8. Beban Temperatur
9. Beban Gempa

3.9 Perhitungan Beban

Pembebanan dalam perencanaan jembatan *void slab* beton ini dihitung dengan pedoman PM No. 60 dan SNI 1725:2016 seperti yang terlihat di bawah ini.

3.9.1 Berat Sendiri (MS)

1. *Void Slab Girder*
 - Luas 1 void

$$= 0,45 \times 0,3$$

$$= 0,135 \text{ m}^2$$

- Luas total void

$$= 0,135 \times 20$$

$$= 2,7 \text{ m}^2$$

- Luas *box girder*

$$= (9,7 \times 1,05) - 2,7$$

$$= 7,485 \text{ m}^2$$

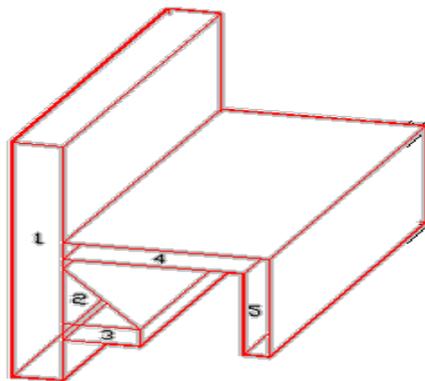
$$BJ = 2500 \text{ kg/m}^3$$

- Berat

$$= 7,485 \times 2500$$

$$= 18712,5 \text{ kg/m}$$

2. Parapet



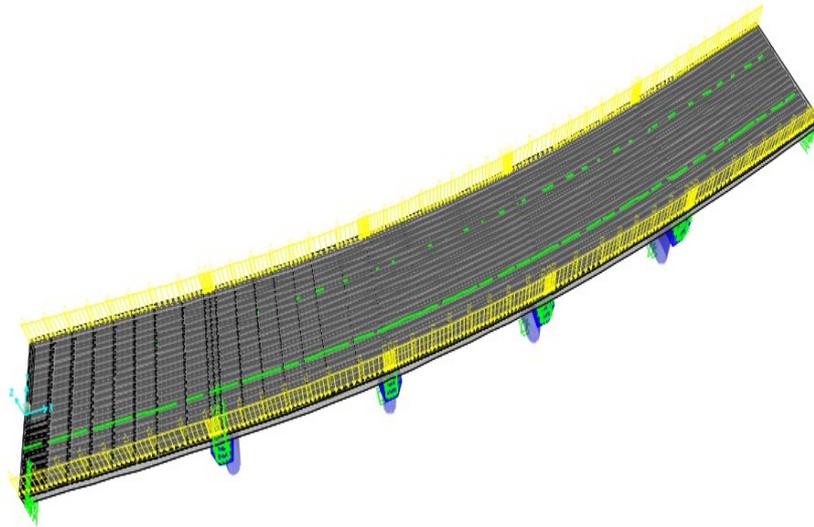
Gambar 3.10: Dimensi parapet

Tabel 3.2: Garis tepi

No	Ukuran		
	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m ²)
1	0,2	1,45	0,29
2	3	0,34	0,051
3	0,3	0,1	0,03

Lanjutan Tabel 3.2

5	0,7	0,1	0,07
6	0,1	0,6	0,06
Total luas (m ²)		0,501	
Berat jenis (kg/m ³)		2500	
Berat total (kg/m)		1252,5	
2 Penampang (kg/m)		2505	



Gambar 3.11: Input beban parapet pada *software*

$$\begin{aligned}
 \text{Maka, total beban mati} &= \text{berat void slab girder} + \text{berat parapet} \\
 &= 187,125 + 25,05 \\
 &= 212,175 \text{ kN/m.}
 \end{aligned}$$

3.9.2 Beban Mati Tambahan (MA)

1. Berat bantalan

Dimensi bantalan untuk lebar jalan rel 1067 mm:

- a. Panjang = 2 m.

- b. Lebar = 0,26 m.
- c. Tinggi max = 0,22 m.
- d. Bj. Beton = 24 kN/m³.
- e. Berat bantalan = t x p x t x berat jenis.
= 0,22 x 0,26 x 2 x 24
= 2,7456 kN
- f. Jarak antar bantalan = 0,6 m.
- g. Panjang bentang 77 m.
- h. Banyak bantalan $77/0,6 = 128$ bantalan.

Berat bantalan pada jembatan adalah $128 \times 274,56 = 35143,68 \text{ kg} \times 2 \text{ jalur} = 70287,36 \text{ kg}$. jika jarak antar bantalan adalah 0,6 m dan lebar bantalan 0.26 m maka bisa dipakai per meter bantalan 2 buah jadi berat bantalan 2 bantalan adalah $2 \times 274,56 = 549,12 \text{ kg/m}$ karena 2 jalur maka $549,12 \times 2 = 1098,24 \text{ m}$.

Jadi berat bantalan per meter adalah 5,4912 kN/m.

2. Berat rel

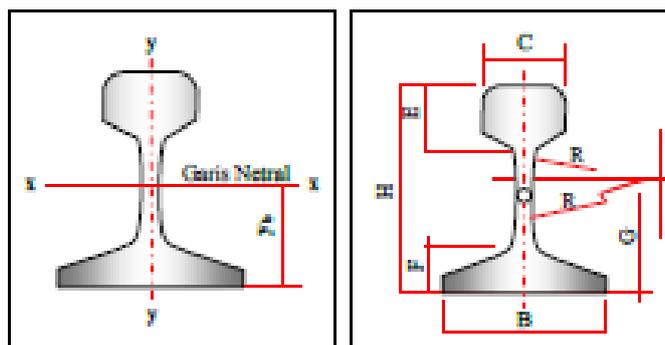
Berat rel tipe R60 diperoleh sesuai dari PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Tipe rel dan dimensi penampang rel

Besaran Geometrik Rel	Tipe Rel			
	R42	R50	R54	R60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00

Tabel 3.3: Lanjutan

A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I _x (cm ⁴)	169	1960	2346	3055
Y _b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
A (cm ²)	= luas penampang			
W (kg/m)	= berat rel permeter			
I _x (cm ⁴)	= momen inersia terhadap sumbu x			
A (cm ²)	= luas penampang			
Y _b (mm)	= jarak tepi bawah rel ke garis netral			



Gambar 3.12: Dimensi rel (PM Nomor 60 Tahun 2012).

Berat rel kereta api untuk R54 adalah 54,43 kg/m

Jadi setiap jalur kereta ada 2 rel maka $54,43 \times 2 = 108,86$ kg/m, rencana jalur ada 2. Jadi, $108,86 \times 2 = 2,1772$ kN/m.

3. Berat balas/ kerikil

Tebal : 0,5 m

Lebar : 9 m

Bj kerikil : 2000 kg/m³

Berat kerikil: $t \times l \times bj$: $0,5 \times 9 \times 2000 = 90$ kN/m

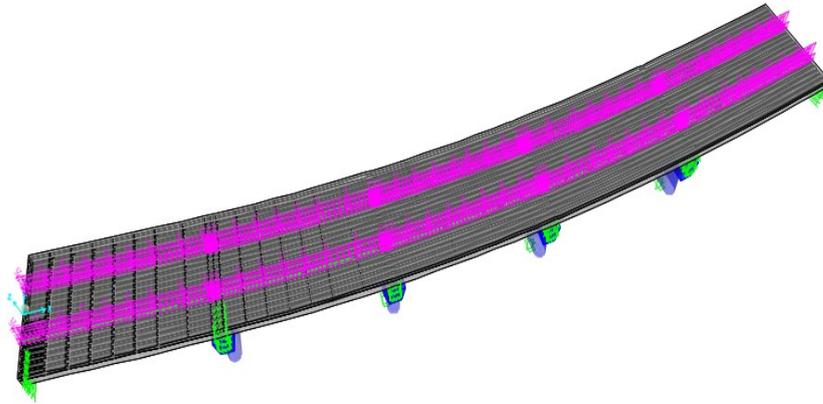
4. Tinggi genangan air : 0,05 m

Lebar : 9 m

BJ air : 10 kN/m

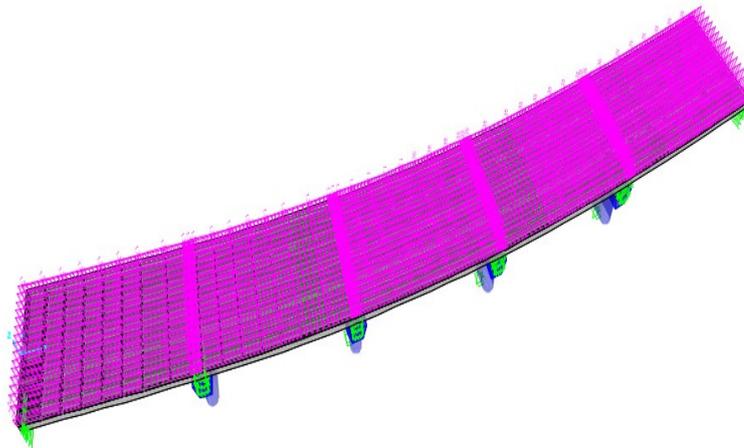
Berat genangan air : $0,05 \times 9 \times 1000 = 4,5 \text{ kN/m}$

5. Berat klip diasumsikan $0,0123 \text{ kN/m}$



Gambar 3.13: Input beban mati tambahan pada *software*

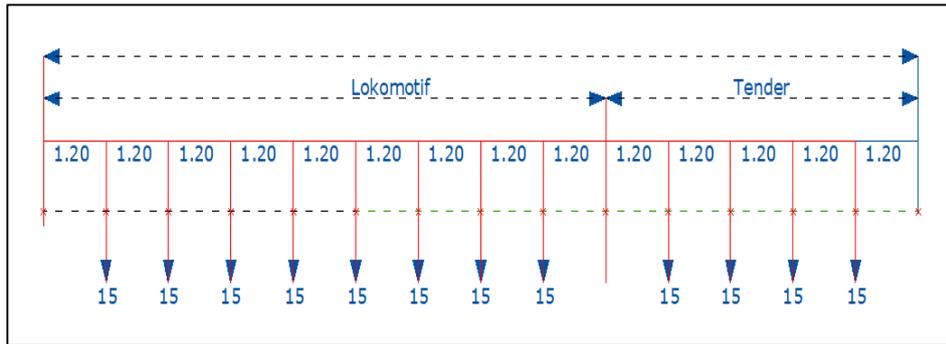
Total beban mati tambahan = Berat bantalan + berat rel + berat balas + klip=
 $5,4912 + 2,1772 + 90 + 0,0123 = 97,68 \text{ kN/m}$



Gambar 3.14: Input beban genangan air pada *software*

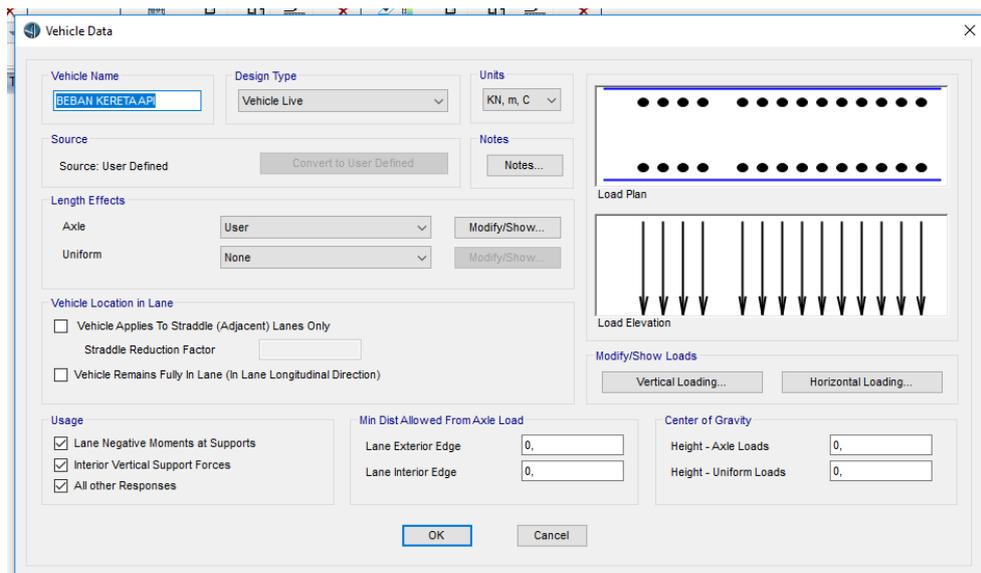
3.9.3 Beban Hidup (TD)

Sesuai dengan skema pembebanan rencana muatan 1921 PM No. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api untuk beban gandar sampai dengan 18 ton. Sebagaimana tersebut dalam Gambar 3.15. Untuk beban gandar lebih besar dari 18 ton, rencana muatan disesuaikan dengan kebutuhan tekanan gandar.



Gambar 3.15: Rencana muatan kereta api yang disesuaikan dengan tekanan gandar maksimum 22,5 ton.

Beban kereta api setiap gandar 12 ton, jika setiap gerbong 4 gandar maka beban adalah $12 \times 4 = 48$ ton. Rencana kereta api adalah 4 gerbong. Jadi berat kereta api keseluruhannya adalah $48 \times 4 = 192$ ton atau 192000 kg. Bentang kereta api sepanjang 52,8. Jumlah kereta api ada 2 maka $192000 \text{ kg} \times 2 = 384000 \text{ kg}$.



Gambar 3.16: Pemodelan beban hidup pada *software*

3.9.4 Beban Kejut (i)

Sesuai dengan peraturan pembebanan muatan 1921 PM. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, beban kejut diperoleh dengan mengalikan faktor i terhadap beban kereta.

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50+L}$$

$$i = 0,1 + \frac{22,5}{50+77}$$

$$i = 0,2772$$

Beban kejut = (koefisien faktor i x $\frac{\text{beban kereta api}}{\text{panjang bentang kereta api}}$) x banyak jalur

$$\begin{aligned} \text{Beban kejut} &= (0,2772 \times \frac{192}{52,8}) \times 2 \\ &= 20,16 \text{ kN/m.} \end{aligned}$$

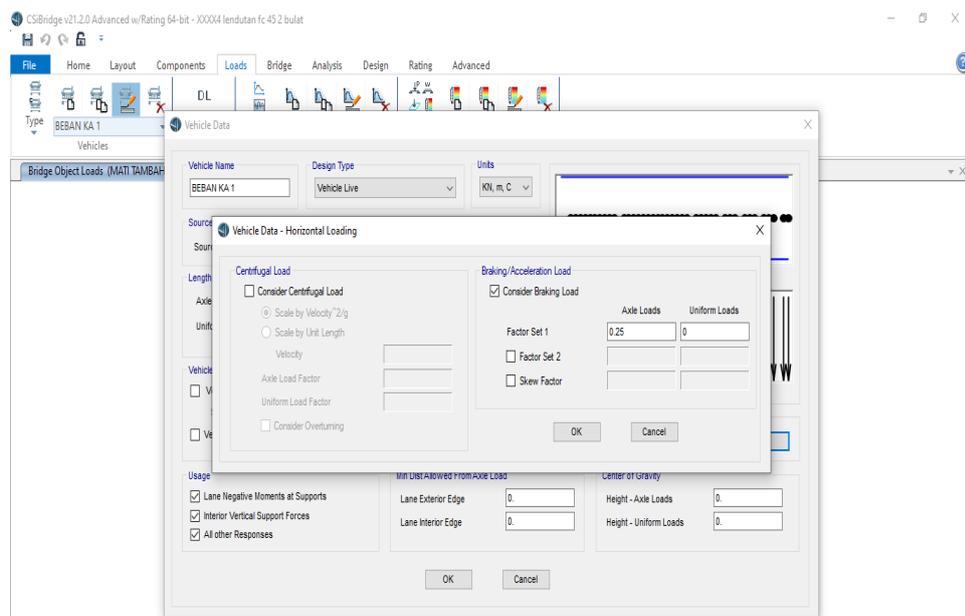
3.9.5 Beban Pengereman (TB)

Berdasarkan PM No. 69 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, beban pengereman dan traksi masing-masing adalah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel (secara longitudinal).

$$\begin{aligned} 25\% \times \text{beban kereta} &= 25\% \times 168 \text{ ton} \\ &= 42 \text{ kN.} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai beban rem maka nilai :

$$\begin{aligned} \text{beban kejut} + \text{beban rem} &= 1,6 + 42 \\ &= 43,6 \text{ kN untuk 1 kereta} \\ &= 87,2 \text{ kN untuk 2 kereta.} \end{aligned}$$



Gambar 3.17: Input beban pengereman pada *software*

3.9.6 Beban Sentrifugal (TR)

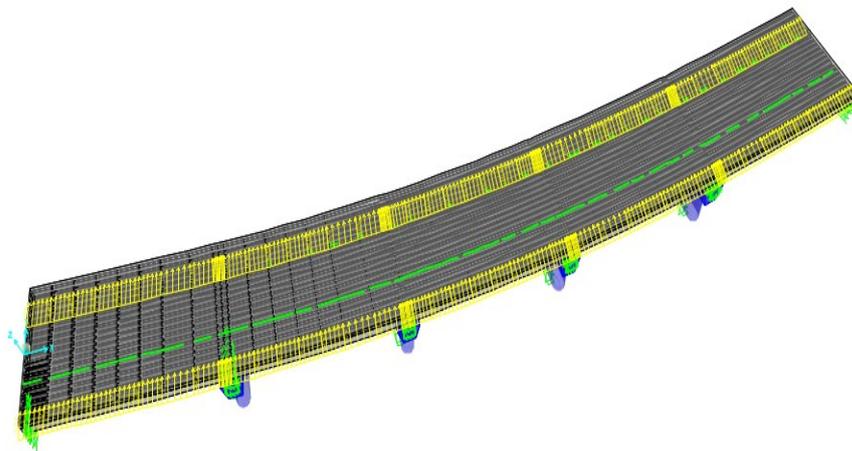
Dalam perencanaan jembatan geometri tikungan sangat penting untuk memperhitungkan nilai dari gaya sentrifugal agar tidak terjadi guling dari beban roda dan untuk kenyamanan pengguna jalan.

Pada perencanaan tikungan ini digunakan kecepatan rencana kereta api 60 km/jam yang ditentukan dalam Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012.

Beban sentrifugal diperoleh dengan mengalikan faktor C terhadap beban kereta. Beban bekerja pada pusat gaya berat kereta pada arah tegak lurus rel secara horizontal.

$$\begin{aligned} C &= \frac{v^2}{127 R} \\ &= \frac{60^2}{127 \times 210} \\ &= 0,135 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban sentrifugal} &= c \times \text{beban kereta} \\ &= 0,135 \times 192 \\ &= 25,92 \text{ ton / 77 m} \\ &= 3,37 \text{ kN/m.} \end{aligned}$$

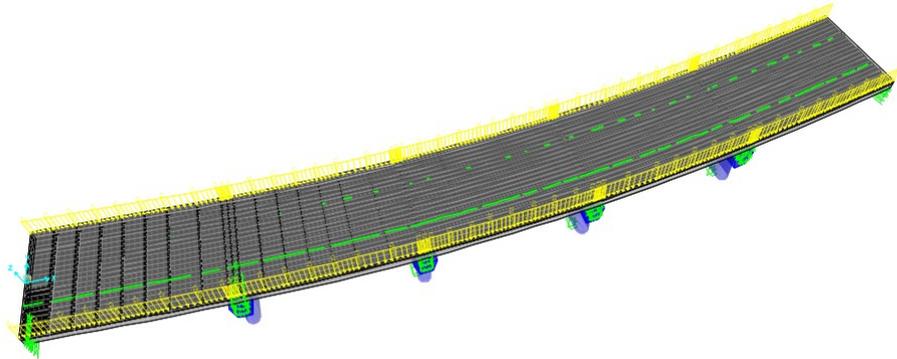


Gambar 3.18: Input beban sentrifugal pada *software*

3.9.7 Beban Inspeksi (TP)

Berdasarkan SNI 1725:2016, semua komponen trotoar yang lebih dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki / inspeksi dengan intensitas

5 kPa (5 kN/m²) dan diasumsikan diletakkan pada gelagar yang berada di ujung seperti terlihat pada Gambar 3.18 berikut ini.



Gambar 3.19: Input beban inspeksi pada *software*

3.9.8 Beban Lingkungan

Beban lingkungan merupakan beban pengaruh temperatur, angin, banjir, gempa, dan pengaruh dari alam lainnya. Dalam uraian ini yang termasuk beban lingkungan adalah:

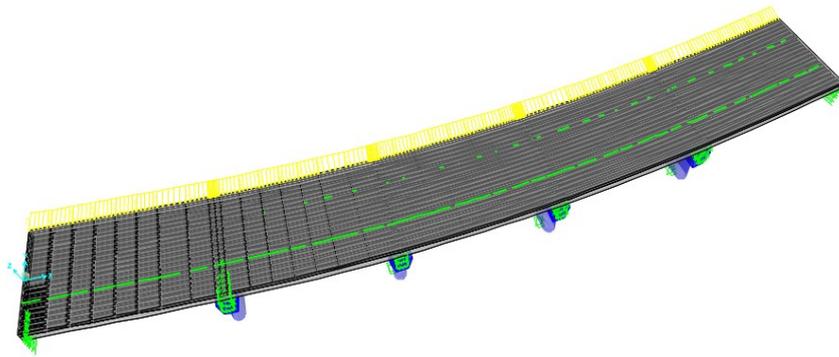
1. Beban angin struktur (Ews)

Berdasarkan PM No. 60 Tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horizontal, tipikal nilainya adalah 3.0 kN/m² pada areal proyeksi vertikal jembatan tanpa kereta di atasnya. Namun demikian, 2.0 kN/m², pada areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai.

$$\text{Tinggi } pier (H) = 5,2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar } pier (x) = 3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} Ews &= \frac{0,5 h}{x} \times 3 \\ &= \frac{0,5 \times 5,2}{3} \times 3 \\ &= 2,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

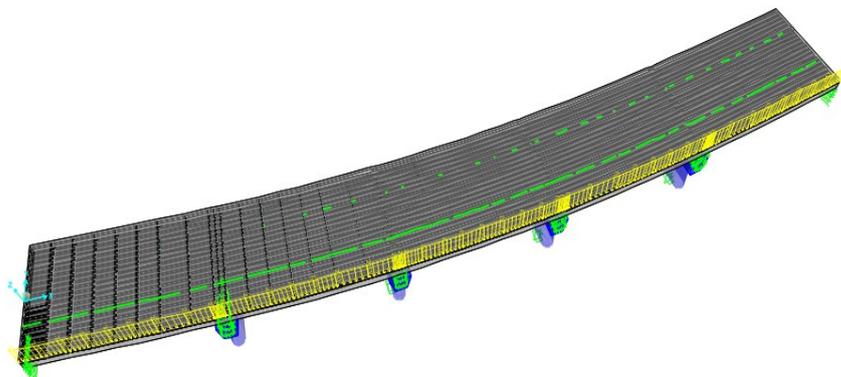


Gambar 3.20: Input beban angin struktur pada *software*

2. Beban angin kendaraan (Ewl)

Berdasarkan PM No. 60 Tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api Beban angin bekerja tegak lurus rel, secara horisontal, tipikal nilainya adalah 1.5 kN/m^2 pada areal kereta dan jembatan, dengan kereta di atasnya, pengecualian 1.2 kN/m^2 untuk jembatan selain gelagar dek/rasuk atau jembatan komposit, sedangkan 0.8 kN/m^2 untuk areal proyeksi rangka batang pada arah datangnya angin.

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi kendaraan (H)} &= 3,6 \text{ m} \\
 \text{Lebar rel (x)} &= 1,067 \text{ m} \\
 \text{Ewl} &= \frac{0,5 \text{ h}}{x} \times 1,5 \\
 &= \frac{0,5 \times 3,6}{1,067} \times 1,5 \\
 &= 2,53 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



Gambar 3.21: Input beban angin kendaraan pada *software*

3. Beban akibat temperatur seragam (EUn)

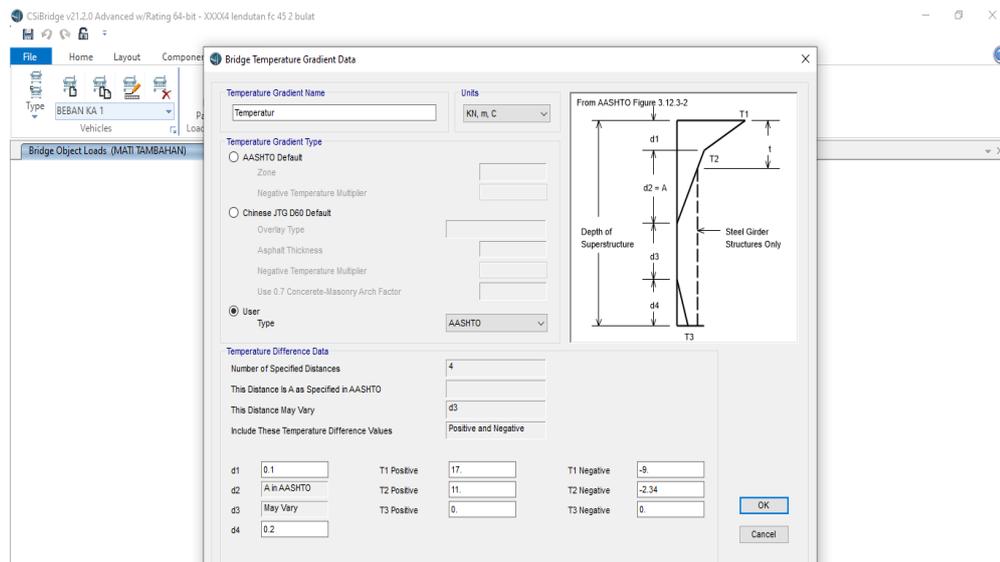
Besaran rentang simpangan akibat beban temperatur (Δ_T) harus berdasarkan temperatur maksimum dan minimum yang didefinisikan dalam desain sebagai berikut:

- Temperatur maksimum : 40°C
- Temperatur minimum : 15°C

$$\Delta_T (\text{beton}) = \alpha L (T_{\max \text{ desain}} - T_{\min \text{ desain}})$$

$$= (0,0000011 \times 40.000 (40-15)) = 11^\circ\text{C}$$

Berdasarkan SNI 1725:2016 tentang pembebanan pada jembatan, dengan lokasi jembatan berada > 500 m di atas permukaan laut maka input temperatur gradien dapat dilihat seperti Gambar 3.22 di bawah ini.



Gambar 3.22: Input beban temperatur pada *software*

4. Pengaruh gempa (EQ)

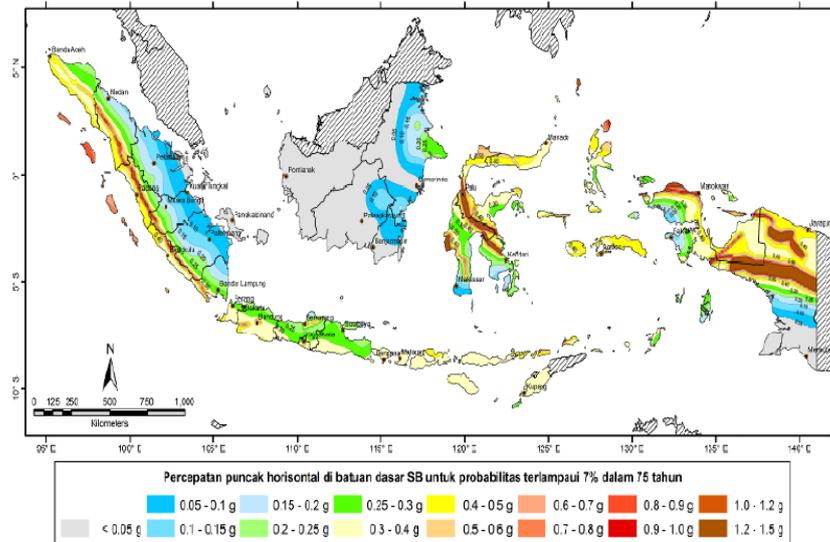
Metode yang digunakan dalam perhitungan beban gempa ini yaitu metode analisis respon spektrum. Beban gempa diperhitungkan berdasarkan SNI 2833:2016 dengan probabilitas 7% dalam 75 tahun periode ulang 1000 tahun.

- a. Lokasi desain : Baja Linggei
- b. Penentuan kelas situs : Diasumsikan struktur berada di atas tanah sedang

Berdasarkan peraturan SNI 2833:2016 Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa, perencanaan beban rencana akibat gempa minimum ditentukan beberapa hal:

1. Nilai PGA

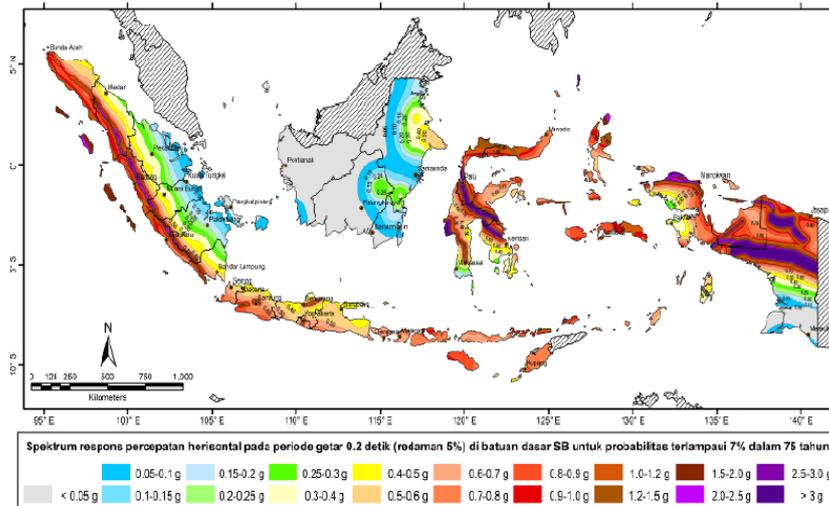
Berdasarkan Gambar 3.23 nilai PGA adalah 0,213.



Gambar 3.23: Peta percepatan puncak di batuan dasar (PGA) untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

2. Niali SS (respon spektra 0.2 detik)

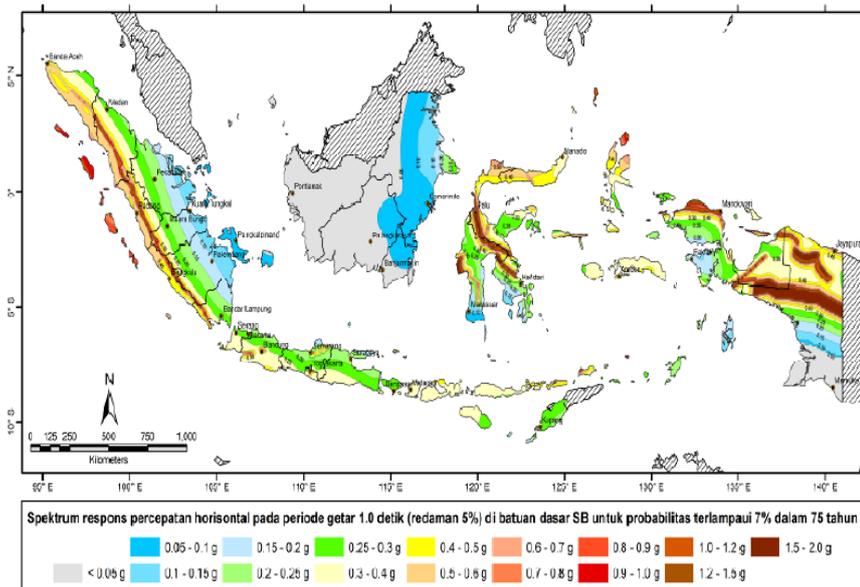
Berdasarkan Gambar 3.24 menentukan lokasi yaitu di kota Tebing Tinggi Stasiun Kereta Api Baja Linggei pada peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun maka nilai SS adalah 0,516.



Gambar 3.24: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

3. Nilai S1 (respon spektra 1 detik)

Berdasarkan Gambar peta 3.25 menentukan lokasi yaitu di kota Tebing Tinggi respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun maka nilai S1 adalah 0,324.



Gambar 3.25: Peta respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Tabel 3.4: Zona gempa

Koefisien Percepatan SD_1	Zona gempa
$Sd1 \leq 0,15$	1
$0,15 < Sd1 \leq 0,30$	2
$0,30 < Sd1 \leq 0,50$	3
$Sd1 > 0,50$	4

4. Menentukan koefisien situs F_{pga} , F_a , dan F_v .

Berdasarkan nilai PGA, S_s dan S_1 yang telah diperoleh. Faktor amplifikasi periode percepatan puncak batuan dasar dan 0,2 detik (F_{pga}/F_a) pada Tabel 2.11 dan Tabel 2.12. Nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v) untuk situs tanah sedang (SD) diperoleh hasil sebagai berikut:

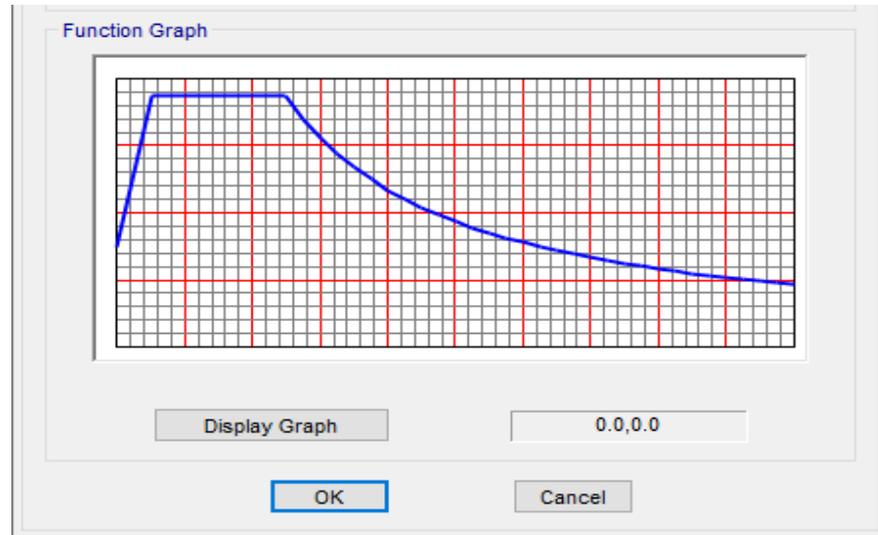
- Nilai $F_{pga} = 1,336$
- Nilai $F_a = 1,387$
- Nilai $F_v = 1,752$

5. Menentukan parameter respon spektra A_s , S_{ds} , dan S_{d1} .

- $A_s = F_{pga} \times PGA$
 $= 1,336 \times 0,213$
 $= 0,2846$
- $S_{ds} = F_a \times S_s$
 $= 1,387 \times 0,516$
 $= 0,7157$
- $S_{d1} = F_v \times S_1$
 $= 1,752 \times 0,324$
 $= 0,5676$
- $T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}}$
 $= \frac{0,5676}{0,7157}$
 $= 0,7931$
- $T_0 = 0,2 T_s$
 $= 0,2 \times 0,7931$

$$= 0,1586$$

Dari hasil perhitungan parameter spektra dapat digambarkan dalam sebuah grafik respon spektrum seperti dalam Gambar 3.26 seperti di bawah ini



Gambar 3.26: Grafik respon spektrum

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 formulasi sebagai berikut:

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

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{W_t / (g \times K_p)}$$

$$\text{Tinggi kolom pier (H)} = 5,2 \text{ m}$$

$$\text{Ukuran penampang (B)} = 1,8 \text{ m}$$

$$(h) = 1,2 \text{ m}$$

Luas penampang kolom pier

$$A = 2 (B \cdot h + \pi/4 \cdot h^2)$$

$$= 2 (1,8 \times 1,2 + \pi/4 \times 1,2^2)$$

$$= 2 (2,16 + 1,131)$$

$$= 2 (3,291)$$

$$= 6,582 \text{ m}^2$$

$$\text{Lebar ekuivalen kolom pier (Be)} = A/h$$

$$= 6,582 / 1,2$$

$$= 5,485 \text{ m}^2$$

Inersia penampang kolom pier

$$(Ic) = 1/12 \times Be \times h^3$$

$$= 1/12 \times 5,485 \times 1,2^3$$

$$= 0,79 \text{ m}^4$$

Kuat tekan beton (f_c') = 29,05 MPa

$$\text{Mutu beton} = 29,05/10 \times 0,83$$

$$= \text{K-350}$$

$$\text{Modulus elastisitas beton } (E_c) = 4700 \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \sqrt{29,05}$$

$$= 25332.10^5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Kekakuan } (K_p) = 3 \times E_c \times Ic / H^3$$

$$= 42698026 \text{ kg/m}$$

Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/dtk²

Berat sendiri struktur atas (P_{ms}) = 280687,5 kg

$$\text{Berat total struktur } (W_t) = \text{berat } pier + \text{berat } girder$$

$$= 138609,75 + 280687,5$$

$$= 419297,25 \text{ kg}$$

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{W_t / (g \times K_p)}$$

$$= 0,1987936 \text{ detik}$$

Dimana:

$$T_o < T < T_s$$

Maka, $C_{sm} = S_{ds}$

$$C_{sm} = S_{ds}$$

$$= 0,7157$$

Beban mati:

1. Berat girder	: 18712,5 x 15	= 280687,5 kg
-----------------	----------------	---------------

Beban mati tambahan:

1. Berat pembatas	: 2505 x 15	= 18787,5 kg
-------------------	-------------	--------------

2. Berat bantalan	: 274,56 x 2 x 128	= 8238 kg
-------------------	--------------------	-----------

3. Berat rel	: 217,72 x 15	= 3265,8 kg
4. Berat balas	: 3600 x 15	= 54000 kg
5. Berat klip	: 0,492 x 15	= 7,38 kg
6. Genangan air	: 180 x 15	= 2700 kg

Beban hidup:

1. Beban kereta api : 168 ton = 168000 kg x 2 = 336000 kg.

Berat sendiri pier : 138609,75 kg

$$Wt = 280687,5 + 18787,5 + 8238 + 3265,8 + 54000 + 7,38 + 2700 + 336000 + 69304,875 = 772991,055 \text{ kg}$$

R : 3,5 (penting)

$$EQ = \frac{0,7157}{3,5} \times 772991,055$$

EQ = 158065,6 kg.

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan pada perencanaan jembatan kereta api *double column pier*, yaitu.

Kuat I = 1,25 MS + 2 MA + 1,8 TT + 1,8 TR

Kuat II = 1,25 MS + 2 MA + 1,4 TT + 1,4 TR

Kuat III = 1,25 MS + 2 MA + 1,4 EWs

Kuat IV = 1,25 MS + 2 MA

Kuat V = 1,25 MS + 2 MA + 0,4 EWs + EW_L + 1 PL

Ekstrem I-X = 1,25 MS + 2 MA + 0,5 TT + EQ_x + 0,3 EQ_y + 0,5 TR

Ekstrem I-Y = 1,25 MS + 2 MA + 0,5 TT + 0,3EQ_x + EQ_y + 0,5 TR

Ektrem II = 1,25 MS + 2 MA + 0,5 TT + 0,5 TR + TC

Layan I = MS + MA + TT + 0,3 EWs + EW_L + TR

Layan II = MS + MA + 1,3 TT + 1,3 TR

Layan III = MS + MA + 0,8 TT + 0,8 TR

Layan IV = MS + MA + 0,7 EWs

Fatik I = 0,75 TT + 0,75 TR

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Pada Bab ini akan membahas tentang hasil studi dan membandingkan hasil analisis dari *software* yang digunakan sebagai alat bantu dalam merencanakan jembatan kereta api dengan tiga pemodelan yaitu, jembatan kereta api *double column pier*, jembatan kereta api *wall pier*, dan jembatan kereta api *single column pier*.

4.2. Hasil Analisis

Dari hasil analisis terhadap struktur jembatan kereta api akibat pembebanan sesuai dengan SNI 1725:2016 dilakukan pengecekan terhadap kekakuan, kekuatan, dan lendutan akan didapat hasil yang berbeda. Dari hasil perhitungan dengan perbandingan *double column pier*, *wall pier*, dan *single column pier* maka, didapat perbedaan yang cukup signifikan dari segi kestabilan struktur jembatan.

4.2.1. Hasil Analisis Kekakuan (*Stiffness*)

Stiffness adalah kemampuan suatu elemen untuk bersifat kaku / tidak elastis. Kekakuan struktur pada suatu bangunan merupakan unsur yang sangat penting dalam mendesain bangunan tahan gempa, sebab masalah kekakuan akan sangat berpengaruh terhadap respon struktur karena gaya gempa.

Stiffness pada suatu elemen struktur sangat dipengaruhi oleh banyaknya distribusi material yang ada. Suatu elemen struktur yang mempunyai nilai *stiffness* kecil lebih mudah mengalami tekuk dibandingkan dengan elemen yang mempunyai *stiffness* besar.

1. *Double Column Pier*

Tinggi kolom pier (H) = 5,2 m

Ukuran penampang (B) = 1,8 m

(h) = 1,2 m

Luas penampang kolom pier

$$\begin{aligned}
A &= 2 (B \cdot h + \pi/4 \cdot h^2) \\
&= 2 (1,8 \times 1,2 + \pi/4 \times 1,2^2) \\
&= 2 (2,16 + 1,131) \\
&= 2 (3,291) \\
&= 6,582 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Lebar ekivalen kolom pier (Be)} &= A/h \\
&= 6,582 / 1,2 \\
&= 5,485 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Inersia penampang kolom pier

$$\begin{aligned}
(Ic) &= 1/12 \times Be \times h^3 \\
&= 1/12 \times 5,485 \times 1,2^3 \\
&= 0,79 \text{ m}^4
\end{aligned}$$

$$\text{Kuat tekan beton (fc')} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
\text{Mutu beton} &= 29,05/10 \times 0,83 \\
&= \text{K-350}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Modulus elastisitas beton (Ec)} &= 4700 \sqrt{fc'} \\
&= 4700 \sqrt{29,05} \\
&= 25332 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kekakuan (Kp)} &= 3 \times Ec \times Ic / H^3 \\
&= 42698025,72 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

2. *Wall Pier*

$$\text{Tinggi kolom pier (H)} = 5,2 \text{ m}$$

$$\text{Ukuran penampang (L)} = 8 \text{ m}$$

$$(t) = 1,05 \text{ m}$$

Luas penampang kolom pier

$$\begin{aligned}
A &= L \times t \\
&= 8 \times 1,05 \\
&= 8,4 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

Inersia penampang kolom pier

$$\begin{aligned}
(Ic) &= 1/12 \times L \times t^3 \\
&= 1/12 \times 8 \times 1,05^3
\end{aligned}$$

$$= 0,772 \text{ m}^4$$

$$\text{Kuat tekan beton (fc')} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu beton} = 29,05/10 \times 0,83$$

$$= \text{K-350}$$

$$\text{Modulus elastisitas beton (Ec)} = 4700 \sqrt{fc'}$$

$$= 4700 \sqrt{29,05}$$

$$= 25332.10^5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Kekakuan (Kp)} = 3 \times \text{Ec} \times \text{Ic} / \text{H}^3$$

$$= 41725159,31 \text{ kg/m}$$

3. *Single Column Pier (Pilar Bulat)*

$$\text{Tinggi kolom pier (H)} = 5,2 \text{ m}$$

$$\text{Ukuran penampang (D)} = 2 \text{ m}$$

Luas penampang kolom pier

$$A = 1/4 \times \pi \times D^2$$

$$= 1/4 \times \pi \times 2^2$$

$$= 3,142 \text{ m}^2$$

Inersia penampang kolom pier

$$(\text{Ic}) = \pi \times D^4 / 64$$

$$= \pi \times 2^4 / 64$$

$$= 0,785 \text{ m}^4$$

$$\text{Kuat tekan beton (fc')} = 29,05 \text{ MPa}$$

$$\text{Mutu beton} = 29,05/10 \times 0,83$$

$$= \text{K-350}$$

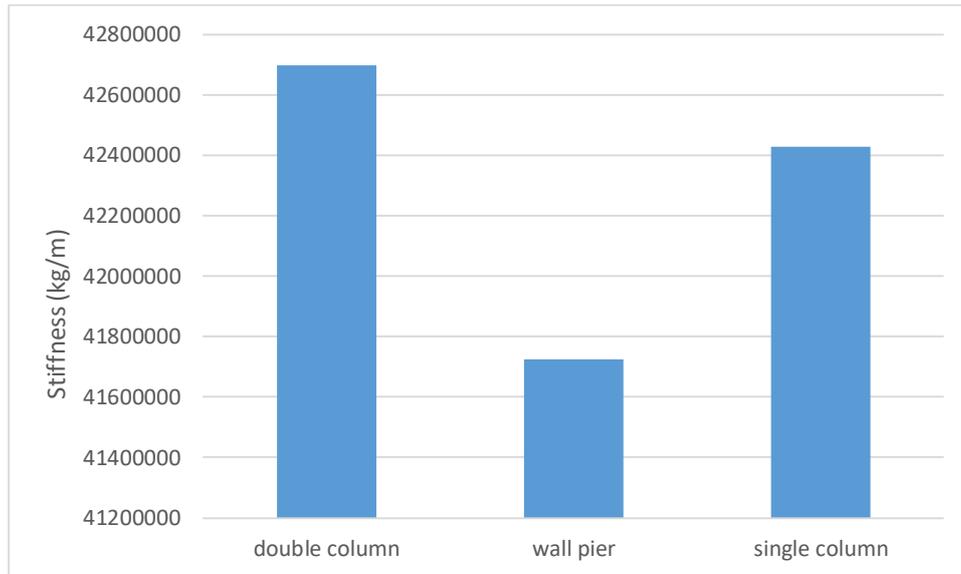
$$\text{Modulus elastisitas beton (Ec)} = 4700 \sqrt{fc'}$$

$$= 4700 \sqrt{29,05}$$

$$= 25332.10^5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Kekakuan (Kp)} = 3 \times \text{Ec} \times \text{Ic} / \text{H}^3$$

$$= 42427785,05 \text{ kg/m}$$



Gambar 4.1: Grafik kekakuan pilar

Dari grafik terlihat bahwa perbedaan nilai kekakuan dari ketiga model *pier* tidak lebih dari 5%, yang mana *double column pier* digunakan sebagai acuan dalam perencanaan dimensi kedua model *pier* lainnya.

Pier dengan model dinding adalah jenis pilar yang paling efisien untuk digunakan dalam perencanaan jembatan kereta api dengan panjang bentang 77 m berdasarkan nilai kekakuannya, jika dibandingkan dengan model *double column* dan *single pier*. Yang mana nilai kekakuan yang lebih kecil akan menyebabkan tekuk yang semakin besar.

4.2.2. Hasil Analisis Gaya 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.

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien faktor elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R) dengan rumus:

1. *Double Column Pier*

- Nilai $F_{pga} = 1,336$
- Nilai $F_a = 1,387$
- Nilai $F_v = 1.752$
- $A_s = F_{pga} \times PGA$
 $= 1,336 \times 0,213$
 $= 0,2846$
- $S_{ds} = F_a \times S_s$
 $= 1,387 \times 0,516$
 $= 0,7157$
- $S_{d1} = F_v \times S_1$
 $= 1,752 \times 0,324$
 $= 0,5676$
- $T_s = \frac{S_{d1}}{S_{ds}}$
 $= \frac{0,5676}{0,7157}$
 $= 0,7931$
- $T_0 = 0,2 T_s$
 $= 0,2 \times 0,7931$
 $= 0,1586$

Percepatan gravitasi (g) = $9,81 \text{ m/dtk}^2$

Berat sendiri struktur atas (P_{ms}) = $280687,5 \text{ kg}$

Berat total struktur (W_t) = berat *pier* + berat *girder*
 $= 138609,75 + 280687,5$
 $= 419297,25 \text{ kg}$

$T = 2 \times \pi \times \sqrt{W_t / (g \times K_p)}$
 $= 0,1987936 \text{ detik}$

$T_0 < T < T_s$

Maka, $C_{sm} = S_{ds}$

$C_{sm} = 0,7157$

$$Wt \text{ (total struktur)} = 772991,055 \text{ kg}$$

$$Rd = 3,5 \text{ (Penting, kolom majemuk)}$$

$$EQ = \frac{Csm}{Rd} \times Wt$$

$$= 158065,6 \text{ kg}$$

2. *Wall Pier*

- Nilai $F_{pga} = 1,336$
- Nilai $F_a = 1,387$
- Nilai $F_v = 1,752$
- $A_s = 0,2846$
- $S_{ds} = 0,7157$
- $S_{d1} = 0,5676$
- $T_s = 0,7931$
- $T_0 = 0,1586$
- Percepatan gravitasi (g) = $9,81 \text{ m/dtk}^2$
- Berat sendiri struktur atas (P_{ms}) = $280687,5 \text{ kg}$
- Berat total struktur (Wt) = berat *pier* + berat *girder*
 $= 162243,75 + 280687,5$
 $= 442931,25 \text{ kg}$

$$T = 2 \times \pi \times \sqrt{Wt / (g \times K_p)}$$

$$= 0,205 \text{ detik}$$

$$T_0 < T < T_s$$

$$\text{Maka, } C_{sm} = S_{ds}$$

$$C_{sm} = 0,7157$$

$$Wt \text{ (total struktur)} = 784808,06 \text{ kg}$$

$$Rd = 1,5 \text{ (Penting, pilar dinding)}$$

$$EQ = \frac{Csm}{Rd} \times Wt$$

$$= 374458,09 \text{ kg}$$

3. *Single Pier (Pilar Bulat)*

- Nilai $F_{pga} = 1,336$

- Nilai $F_a = 1,387$
- Nilai $F_v = 1.752$
- $A_s = 0,2846$
- $S_{ds} = 0,7157$
- $S_{d1} = 0,5676$
- $T_s = 0,7931$
- $T_0 = 0,1586$

Percepatan gravitasi (g) = $9,81 \text{ m/dtk}^2$

Berat sendiri struktur atas (P_{ms}) = $280687,5 \text{ kg}$

Berat total struktur (W_t) = berat *pier* + berat *girder*
 $= 74440,705355128,205 + 280687,5$
 $= 355128,205 \text{ kg}$

$T = 2 \times \pi \times \sqrt{W_t / (g \times K_p)}$
 $= 0,184 \text{ detik}$

$T_0 < T < T_s$

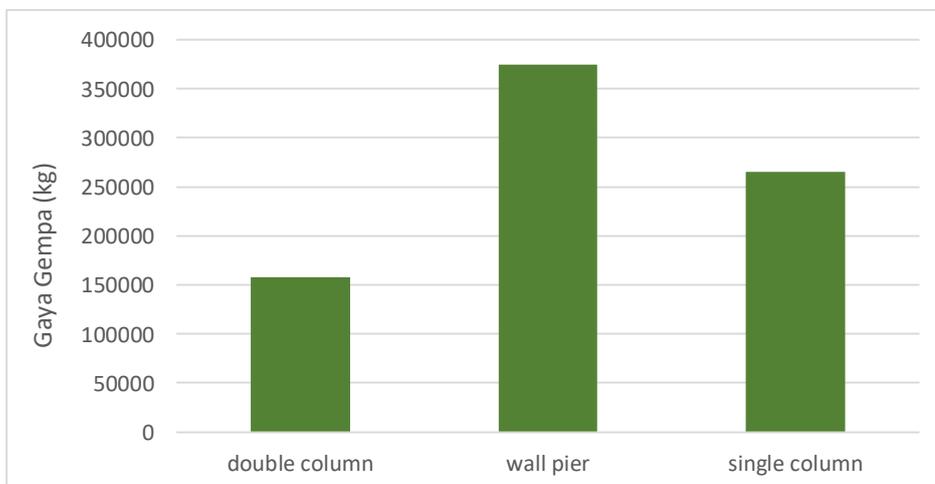
Maka, $C_{sm} = S_{ds}$

$C_{sm} = 0,7157$

W_t (total struktur) = $740906,53 \text{ kg}$

$R_d = 2$ (Penting, pilar tunggal)

$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$
 $= 265133,4 \text{ kg}$



Gambar 4.2: Grafik gaya gempa pada pilar

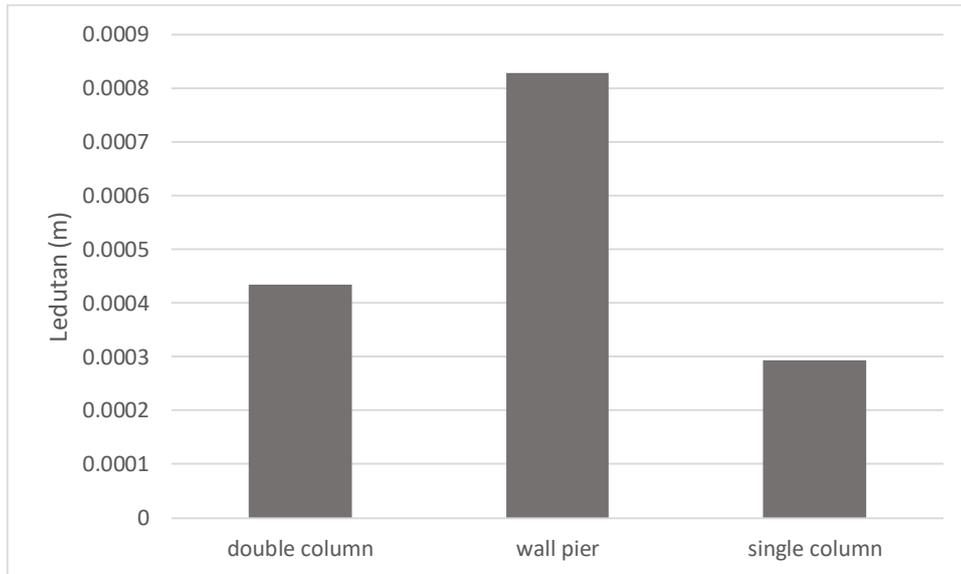
Nilai faktor modifikasi respon (R) seperti yang tercantum pada tabel yang didasarkan pada bentuk pilar sangat mempengaruhi besarnya nilai gaya gempa. Berdasarkan grafik gaya gempa seperti terlihat di atas, *pier* dengan model *double column* memiliki nilai gaya gempa yang lebih kecil bila dibandingkan dengan kedua jenis *pier* yang lainnya, sehingga penggunaannya dalam perencanaan ini adalah yang paling efisien.

4.2.3. Hasil Pemeriksaan Lendutan pada Jembatan

Hasil pemeriksaan lendutan untuk kondisi struktur jembatan kereta api diperhitungkan menurut SNI 2833:2016 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. Dalam hal ini perencanaan jembatan dengan kecepatan kereta api 120 km/jam dengan bentang 77 m menggunakan aplikasi, maka dapat didefinisikan bahwa besaran lendutan yang didapat dari aplikasi tidak boleh melebihi persyaratan $P-\Delta$ seperti yang tertera di dalam SNI 2833:2016. Pengecekan lendutan dilakukan pada kombinasi layan 1 dan 2, dikarenakan kombinasi pembebanan ini berkaitan dengan operasional jembatan dengan semua beban mempunyai nilai nominal serta memperhitungkan adanya beban angin berkecepatan 90 km/jam hingga 126 km/jam. Berikut ini hasil lendutan dari bentang 77 m dengan pilar yang berbeda menggunakan aplikasi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Lendutan dengan bentang 77 m (*Software*)

Model <i>Pier</i>	Δe (m)
<i>Double Column Pier</i>	0,000434
<i>Wall Pier</i>	0,000827
<i>Single Pier</i>	0,000293



Gambar 4.3: Grafik lendutan pada ketiga jenis pier

Berdasarkan Gambar 4.3 terlihat bahwa *single column* memiliki nilai lendutan yang paling kecil dibandingkan dengan 2 jenis pier lainnya. Hal ini dapat meminimalisir terjadinya perpindahan pada pier, sehingga pemilihan jenis tersebut adalah yang paling efisien.

Tabel 4.2: Perbandingan nilai kekakuan dengan lendutan dan gaya aksial

Model Pier	Δe (m)	P_u (kN)	ϕM_n (kN.m)
<i>Double Column Pier</i>	0,000434	6947,894	584,76
<i>Wall Pier</i>	0,000827	10531,3	1023,4
<i>Single Pier</i>	0,000293	4368,7	354,56

4.2.4 Persyaratan P- Δ

Kontrol lendutan dengan persyaratan P- Δ dilakukan hanya pada kombinasi kuat I yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin. Dimana pada kombinasi ini didapat nilai gaya aksial (P_u) dan kuat lentur nominal pilar (M_n) maksimum.

1. *Double Column Pier*

$$W_t = 772991,055 \text{ ton}$$

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$
$$\frac{0,7157}{3,5} \times 772991,055$$
$$= 158065,6 \text{ kg}$$

$$\Delta e = 0,000434$$

$$P_u = 6947,894 \text{ kN}$$

$$\emptyset M_n = 584,76 \text{ kN.m}$$

$$T_s = 0,7931 \text{ detik}$$

$$T = 0,1988 \text{ detik}$$

$$T < 1,25T_s$$

$$R_d = \left\{ 1 - \frac{1}{R} \right\} \frac{1,25T_s}{T} + \frac{1}{R}$$
$$= \left\{ 1 - \frac{1}{3,5} \right\} \frac{1,250 \times 0,7931}{0,1988} + \frac{1}{3,5}$$
$$= 3,848$$

$$\Delta = R_d \times \Delta e$$
$$= 3,848 \times 0,000434$$
$$= 0,00167 \text{ m}$$

$$\Delta P_u < 0,25 \emptyset M_n$$

$$0,00167 \times 6947,894 < 0,25 \times 584,76$$

$$11,602 \text{ kN.m} < 146,19 \text{ kN.m (Ok!)}$$

2. *Wall Pier*

$$W_t = 784808,06 \text{ ton}$$

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t$$
$$\frac{0,7157}{1,5} \times 784808,06$$
$$= 374458,09 \text{ kg}$$

$$\Delta e = 0,000827$$

$$P_u = 10531,3 \text{ kN}$$

$$\emptyset M_n = 1023,4 \text{ kN.m}$$

$$T_s = 0,7931 \text{ detik}$$

$$T = 0,205 \text{ detik}$$

$$T < 1,25T_s$$

$$\begin{aligned} R_d &= \left\{1 - \frac{1}{R}\right\} \frac{1,25T_s}{T} + \frac{1}{R} \\ &= \left\{1 - \frac{1}{1,5}\right\} \frac{1,250 \times 0,7931}{0,205} + \frac{1}{1,5} \\ &= 2,2787 \end{aligned}$$

$$\Delta = R_d \times \Delta_e$$

$$= 2,2787 \times 0,000827$$

$$= 0,00188 \text{ m}$$

$$\Delta P_u < 0,25 \emptyset M_n$$

$$0,00188 \times 10531,3 < 0,25 \times 1023,4$$

$$19,846 \text{ kN.m} < 255,85 \text{ kN.m (Ok!)}$$

3. *Single Pier*

$$W_t = 740906,53 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} EQ &= \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \\ &= \frac{0,7157}{2} \times 740906,53 \\ &= 265133,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\Delta_e = 0,000293$$

$$P_u = 4368,7 \text{ kN}$$

$$\emptyset M_n = 354,56 \text{ kN.m}$$

$$T_s = 0,7931 \text{ detik}$$

$$T = 0,184 \text{ detik}$$

$$T < 1,25T_s$$

$$\begin{aligned} R_d &= \left\{1 - \frac{1}{R}\right\} \frac{1,25T_s}{T} + \frac{1}{R} \\ &= \left\{1 - \frac{1}{2}\right\} \frac{1,250 \times 0,7931}{0,184} + \frac{1}{2} \\ &= 3,194 \end{aligned}$$

$$\Delta = R_d \times \Delta_e$$

$$= 3,194 \times 0,000293$$

$$= 0,00094 \text{ m}$$

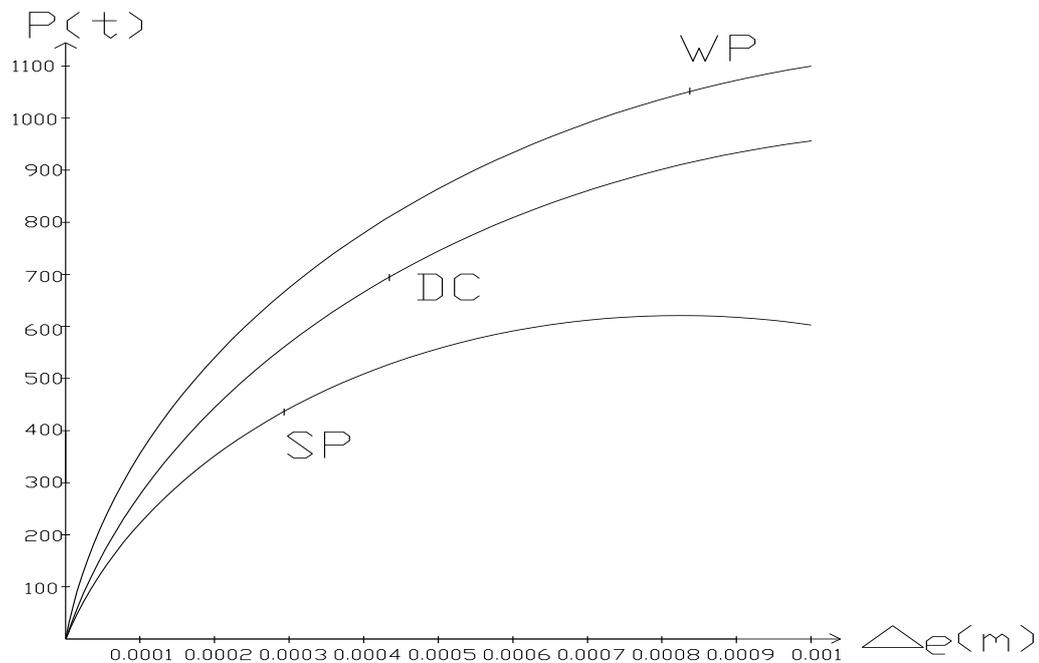
$$\Delta P_u < 0,25 \phi M_n$$

$$0,00094 \times 4368,7 < 0,25 \times 354,56$$

$$4,107 \text{ kN.m} < 88,64 \text{ kN.m (Ok!)}$$

Tabel 4.3: Nilai lendutan, gaya aksial, dan kekakuan

Model <i>Pier</i>	Δe (m)	P_u (ton)	Kekakuan (kg/m)
<i>Double Column Pier</i>	0,000434	6947,894	42698025,72
<i>Wall Pier</i>	0,000827	10531,3	41725159,31
<i>Single Pier</i>	0,000293	4368,7	42427785,05



Gambar 4.4: Kurva kekakuan terhadap lendutan dan gaya aksial

Pada Tabel 4.3. dapat dilihat perbandingan hasil pemeriksaan lendutan pada setiap tipe *pier* dengan bentang 77 m menggunakan *software* aplikasi jembatan telah memenuhi syarat lendutan pada jembatan kereta api berdasarkan SNI 2388:2016.

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat kurva kekakuan dari nilai lendutan dengan gaya aksial berdasarkan kombinasi pembebanan kuat 1, menunjukkan bahwasanya akibat dari lendutan dan gaya aksial yang berbeda akan sangat mempengaruhi besarnya nilai kekakuan pada *pier*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis yang dilakukan dengan menggunakan *software* pada jembatan kereta api dengan pilar *double column*, pilar dinding dan pilar bulat maka di dapat hasil sebagai berikut:

- Nilai kekakuan
 - Pilar *double column* : 42698025,72 kg/m
 - Pilar dinding : 41725159,31 kg/m
 - Pilar bulat : 42427785,05 kg/m
- Nilai gaya gempa
 - Pilar *double column* : 158065,6 kg
 - Pilar dinding : 374458,09 kg
 - Pilar bulat : 265133,4 kg
- Nilai lendutan
 - Pilar *double column* : 0,000434 m
 - Pilar dinding : 0,000827 m
 - Pilar bulat : 0,000293 m

2. Hasil perbandingan yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah bentuk dan dimensi tumpuan atau *pier* sangat mempengaruhi nilai kekakuan, gaya gempa dan lendutan. Pada saat meninjau kekakuan dan gaya gempa penggunaan *pier* yang paling efisien adalah *double column*. Namun berdasarkan nilai *displacement* yang terjadi, pilar bulat adalah yang paling efisien untuk digunakan.

5.2. Saran

Setelah melakukan penelitian ini penulis memberikan saran yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

1. Penelitian dapat dikembangkan dengan memodelkan struktur jembatan yang lebih kompleks.
2. Pada tugas akhir ini, analisa beban struktur gempa hanya menggunakan analisis *static* ekuivalen. Penulis menyarankan agar dilakukan peninjauan lebih dalam lagi menggunakan analisis lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (2012). *LRFD Bridge Design Specifications*, 6th Edition, Washington DC, USA.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725-2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa (SNI 2833-2016)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Chen, W., dan Duan, L. (2003). *Bridge Engineering Handbook*. CRC Press. Boca Raton., FL.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Standar Pembebanan Untuk Jembatan (RSNI T -02-2005)*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Faisal Firmansyah (2012) *Kajian Kekakuan (Stiffness) dan Kekuatan (Thoughtness) Beton Normal Berserat Galvanum AZI50*, Skripsi. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Fattah M. Arizki (2017) *Perencanaan Hammerhead Pier Dengan Dimensi Yang Berbeda Pada Jembatan Beton Di Medan*, Tugas Akhir. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Peraturan Menteri Perhubungan No. 60. (2012). *Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Jakarta: Menteri Perhubungan
- Rosyidi. (2015). *Rekayasa Jalan Kereta Api*. Yogyakarta. LP3M: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Supriyadi, Bambang dan Muntohar, Agus Setyo (2007). *Jembatan*. Beta Offset: Yogyakarta
- Wahyuni, Yayuk Tri dan Rusdi, Haris Akh. (2002) *Perencanaan Jembatan Kereta Api BH-200 Glenmore-Banyuwangi*, Tugas Akhir. Jember: Universitas Jember

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DAFTAR DIRI PESERTA

Nana Lengkap : ADE ANDIANI LUBIS
Panggilan : ADE
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 07 Agustus 1996
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Jalan Karya Jaya, Kec. Medan Johor
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : SANDING LUBIS
Ibu : MAWAR PASARIBU
No. HP : 082163231969
E-mail : andianiade@yahoo.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1807210149P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jln.Kapten Mochtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No.	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat
1.	Sekolah Dasar	SD NEGERI 060823 MEDAN AMPLAS
2.	SMP	SMP NEGERI 06 MEDAN
3.	SMA	SMA SWASTA AS-SYAFI'YAH
4.	Diploma III	POLITEKNIK NEGERI MEDAN
5.	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2018	