016/TA-10/UNW/BP/VIII/2025

PERENCANAAN JEMBATAN DARURAT PADA PELEBARAN BH 766 KM 163+550 PROYEK PEMBANGUNAN JALUR GANDA KA KIARACONDONG-CICALENGKA

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Syarat Untuk Menempuh Program Sarjana Strata 1 Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Perencanaan dan Arsitektur Universitas Winaya Mukti

Disusun oleh:

Nama : Andrea Rizky Bramasta

NPM : 4122.3.22.11.0020

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK, PERENCANAAN, DAN ARSITEKTUR

UNIVERSITAS WINAYA MUKTI

BANDUNG

2025

LEMBAR PENGESAHAN

FAKULTAS TEKNIK PERENCANAAN DAN ARSITEKTUR
UNIVERSITAS WINAYA MUKTI
BANDUNG

Nama	: Andrea Rizky Bramasta
NPM	: 4122.3.22.11.0020
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir	: PERENCANAAN JEMBATAN DARURAT PADA PELEBARAN BH 766 KM 163+550 PROYEK PEMBANGUNAN JALUR GANDA KA KIARACONDONG-CICALENGKA

TANDA PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Bandung, Agustus 2025

Pembimbing Tugas Akhir

Felix Setiawan, S.T., M.T.
NIDN.0406028405

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Edwar Hafudiansyah, S.Pd., M.T.
NIDN.0408058906

Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik, Perencanaan dan Arsitektur
Universitas Winaya Mukti

Pernyataan Tidak Mencontek Atau Melakukan Tindakan Plagiat

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Andrea Rizky Bramasta

NPM : 4122.3.22.11.0020

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul :

PERENCANAAN JEMBATAN DARURAT PADA PELEBARAN BH 766 KM 163+550 PROYEK PEMBANGUNAN JALUR GANDA KA KIARACONDONG-CICALENGKA

adalah hasil pekerjaan saya dan seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak sesuai dengan kenyataan, maka saya bersedia menanggung sanksi yang akan dikenakan kepada saya.

Bandung, Agustus 2025

Materai

Andrea Rizky Bramasta
4122.3.22.11.0020

PERENCANAAN JEMBATAN DARURAT PADA PELEBARAN BH 766 KM 163+550 PROYEK PEMBANGUNAN JALUR GANDA KA KIARACONDONG-CICALENGKA

Andrea Rizky Bramasta
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Winaya Mukti
Jalan Pahlawan No. 69 Bandung
Andreawak88@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan jalur ganda kereta api pada segmen Kiaracondong-Cicalengka memerlukan pembangunan *Box Culvert* BH 766 di km 163+550. Penelitian ini mengusulkan perencanaan jembatan darurat berbahan baja sebagai solusi sementara yang memungkinkan operasional kereta api tetap berjalan selama konstruksi. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kekuatan struktur jembatan darurat, daya dukung tiang pancang, serta metode pemasangan dan pembongkaran jembatan. Analisis dilakukan dengan perhitungan manual berdasarkan Rencana Muatan 1921 (RM 1921) dan dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan *Software*. Material utama yang digunakan adalah baja BJ 37 dengan profil WF untuk gelagar utama dan *H-beam* untuk pemikul melintang dan memanjang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jembatan darurat memenuhi kriteria keamanan. Daya dukung tiang pancang juga memenuhi syarat dengan nilai 78,87 ton (> 36,275 ton beban reaksi). Perbandingan hasil perhitungan manual dan *Software* menunjukkan konsistensi, dengan selisih minimal pada nilai momen, lendutan, dan tegangan lentur. Kesimpulannya, jembatan darurat ini layak digunakan sebagai solusi sementara selama pembangunan *Box Culvert* BH 766, tanpa mengganggu operasional kereta api.

Kata Kunci: Jembatan darurat, baja BJ 37, *Box Culvert*.

EMERGENCY BRIDGE PLANNING FOR THE WIDENING OF BH 766 KM 163+550 IN THE KIARACONDONG-CICALENGKA DOUBLE TRACK RAILWAY CONSTRUCTION PROJECT

Andrea Rizky Bramasta
Civil Engineering Study Program
Winaya Mukti University
Jalan Pahlawan No. 69 Bandung
Andreawak88@gmail.com

ABSTRACT

The construction of a double railway track on the Kiaracondong-Cicalengka segment requires the construction of Box Culvert BH 766 at km 163+550. This study proposes the design of a temporary steel bridge as a temporary solution that allows train operations to continue during construction. The objective of this study is to analyze the structural strength of the emergency bridge, the bearing capacity of the pile foundations, as well as the installation and dismantling methods of the bridge. The analysis was conducted using manual calculations based on the 1921 Load Plan (RM 1921) and compared with simulation results using Software. The primary material used is BJ 37 steel with a WF profile for the main girder and H-beams for the transverse and longitudinal supports. The research results indicate that the emergency bridge meets safety criteria. The pile bearing capacity also meets the requirements with a value of 78.87 tons (> 36.275 tons reaction load). A comparison of manual calculations and Software results shows consistency, with minimal differences in moment, deflection, and bending stress values. In conclusion, this emergency bridge is suitable for use as a temporary solution during the construction of Box Culvert BH 766, without disrupting railway operations.

Keywords: Emergency bridge, BJ 37 steel, Box Culvert.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "PERENCANAAN JEMBATAN DARURAT PADA PELEBARAN BH 766 KM 163+550 PROYEK PEMBANGUNAN JALUR GANDA KA KIARACONDONG-CICALENGKA" dengan baik. Selain itu, diucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan meluangkan watu untuk memberikan arahan, masukan maupun saran demi terselesaikannya pembuatan tugas akhir ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. H. Deden Komar Priatna, S.T., S.IP., M.M., CHRA selaku Rektor Universitas Winaya Mukti;
2. Ibu Yuliaty Heliana Pangow, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Perencanaan dan Arsitektur;
3. Bapak Sigit Wisnuadji, S.T., M.Sc. selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Perencanaan dan Arsitektur;
4. Bapak Edward Hafudiansyah S.Pd., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil;
5. Bapak Felix Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan selama proses pembuatan laporan Tugas Akhir;
6. Seluruh civitas Universitas Winaya Mukti Bandung yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama menjalani masa pendidikan,
7. Serta semua pihak yang ikut terlibat dalam proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini yang tidak bisa Penulis sebutkan satu persatu.

Tugas akhir ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar sarjana dalam bidang ilmu Teknik Sipil di Universitas Winaya Mukti yang diharapkan dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan. Penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, diharapkan adanya saran dan kritik yang membangun agar dapat membantu dalam penyempurnaan penulisan tugas akhir ini, sehingga dapat berguna apabila akan dilakukan penelitian selanjutnya bagi pembaca.

Bandung, Agustus 2025
Penulis,

Andrea Rizky Bramasta
NPM. 4122.3.22.11.0020

DAFTAR ISI

ABSTRAK **4**
ABSTRACT **5**
KATA PENGANTAR ..... **vi**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **x**
DAFTAR GAMBAR ..... **xi**
DAFTAR RUMUS ..... **xii**
DAFTAR ISTILAH ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Penelitian Terdahulu 5
2.2 Jembatan 13
2.3 *Box Culvert* 36
2.4 Perkuatan Tanah 37
2.5 Pedoman Perhitungan 38
2.6 Profil Baja 40
2.7 *Software* Pendukung 42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN **44**
3.1 Diagram Alir 44
3.2 Metode Pengumpulan Data 45
3.2.1 Data Primer 45
3.2.2 Data Sekunder 45
3.3 Objek Penelitian 45

3.3.1. Gambaran Umum Proyek Penelitian 45
3.3.2. Data Proyek.....47
3.4. Metode Pengolahan Data.....47
3.5. Metode Analisis Data 48
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....49
4.1 Perencanaan Desain Jembatan Darurat.....49
4.1.1 Material Profil Jembatan Darurat 49
4.1.2 Desain Jembatan Darurat 52
4.2 Perencanaan Struktur Jembatan Darurat BH 766 53
4.2.1. Perhitungan Beban Jembatan Darurat.....53
4.2.2. Perhitungan Momen Jembatan Darurat 58
4.2.3. Perhitungan Lendutan dan Tegangan Lentur Jembatan Darurat.....65
4.2.4. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang 70
4.2.5. Perbandingan Nilai Momen Maksimum, Lendutan, dan Tegangan Lentur pada Perhitungan Manual dengan *Software* 71
4.3. Metode Kerja Pemasangan dan Pembongkaran Jembatan Darurat 78
4.3.1. Pemasangan Jembatan Darurat 78
4.3.2. Pembongkaran Jembatan Darurat 81
BAB V PENUTUP.....84
5.1. Kesimpulan.....84
5.2. Saran 85
DAFTAR PUSTAKA.....86
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu 5
Tabel 2.2 Berat Jenis Bahan 26
Tabel 2.3 Koefisien Nilai Parameter Periode Pendekatan 31
Tabel 2.4 Koefisien Situs F_{PGA} 32
Tabel 2.5 Kombinasi Pembebanan 33
Tabel 2.6 Koefisien Lendutan Maksimum Jembatan Baja 34
Tabel 2.7 Koefisien Lendutan Maksimum Jembatan Beton 34
Tabel 2.8 Tegangan Leleh Baja 40
Tabel 3.1 Diagram Alir 44
Tabel 4.1 Beban Mati Tambahan Jembatan Darurat BH 766 Baru 53
Tabel 4.2 Nilai Daya Dukung Tanah 71
Tabel 4.3 Perbandingan Momen Maksimum Gelagar Utama 73
Tabel 4.4 Perbandingan Momen Maksimum Pemikul 1 Melintang 74
Tabel 4.5 Perbandingan Momen Maksimum Pemikul 2 Memanjang 74
Tabel 4.6 Perbandingan Lendutan Gelagar Utama 75
Tabel 4.7 Perbandingan Lendutan Pemikul 1 Melintang 76
Tabel 4.8 Perbandingan Lendutan Pemikul 2 Memanjang 76
Tabel 4.9 Perbandingan Tegangan Lentur Gelagar Utama 77
Tabel 4.10 Perbandingan Tegangan Lentur Pemikul 1 Melintang 77
Tabel 4.11 Perbandingan Tegangan Lentur Pemikul 2 Memanjang 78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jembatan Gerbang Tokyo 13
Gambar 2.2 Struktur Atas Jembatan dan Struktur Bawah Jembatan 14
Gambar 2.3 Jembatan Kereta Api Rasuk Dlurung 15
Gambar 2.4 Jembatan Gelagar Besi Queen Elizabeth II 20
Gambar 2.5 Sebaran Gaya Jembatan Rangka 21
Gambar 2.6 Struktur Jembatan Kabel 21
Gambar 2.7 Struktur Jembatan Gantung 22
Gambar 2.8 Jembatan Lengkung Chaotianmen, Tiongkok 22
Gambar 2.9 Jembatan Kantilever Forth, Skotlandia 23
Gambar 2.10 Jembatan Menara, Inggris 25
Gambar 2.11 Jembatan Berputar di Liverpool 25
Gambar 2.12 Jembatan Angkat di Minnesota 26
Gambar 2.13 Beban Lateral Kereta 29
Gambar 2.14 Skema Pembebanan Rencana Muatan 1921 39
Gambar 2.15 Peraturan Dinas 10 D Jilid 1 40
Gambar 2.15 Bentuk Profil Baja 42
Gambar 3.1 Lokasi Pembangunan Jalur Ganda KA Kiaracondong-Cicalengka…46
Gambar 3. 2 Shopdrawing BH 766 Box Culvert 47
Gambar 4.1 Kondisi Eksisting BH 766……..49
Gambar 4.2 Desain Jembatan Darurat BH 766 Tampak Depan 52
Gambar 4.3 Desain Jembatan Darurat BH 766 Tampak Atas 52
Gambar 4.4 Desain Jembatan Darurat BH 766 Tampak Samping 52

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Beban Gandar pada Setiap Gelagar 27
Rumus 2.2 Koefisien Beban Kejut untuk Rel pada Atas Balas 27
Rumus 2.3 Koefisien Beban Kejut untuk Rel pada Perletakan Kayu 27
Rumus 2.4 Koefisien Beban Kejut untuk Rel Langsung pada Baja 28
Rumus 2.5 Beban Sentrifugal 28
Rumus 2.6 Beban Angin Total Jembatan Tanpa Kereta 30
Rumus 2.7 Beban Angin Total Jembatan dengan Kereta 30
Rumus 2.8 Gaya Gempa Horizontal Statis 31
Rumus 2.9 Periode Fundamental Alami 31
Rumus 2.10 Koefisien Respon Gempa Elastis $T<T_0$ 31
Rumus 2.11 Koefisien Respon Gempa Elastis $T>T_0$ 32
Rumus 2.12 Koefisien Percepatan Muka Tanah 32
Rumus 2.13 Koefisien Gempa Horizontal 32
Rumus 2.14 Koefisien Gempa Vertikal 32
Rumus 2.15 Lendutan 35
Rumus 2.16 Lendutan Ijin 35
Rumus 2.17 Tegangan Lentur Ijin 35
Rumus 2.18 Tegangan Lentur 35
Rumus 2.19 Momen Maksimum 36
Rumus 2.20 Momen Maksimum pada Titik *X* 36
Rumus 2.21 Persamaan *Mayerhoff* 37
Rumus 2.22 Persamaan *Aoki & De Alencar* 37
Rumus 2.23 Persamaan Daya Dukung Ujung Tiang *Schmertmann & Nottingham* 38
Rumus 2.24 Persamaan Daya Dukung Selimut Tiang *Schmertmann & Nottingham* 38
Rumus 2.25 Persamaan Daya Dukung Ijin *Schmertmann & Nottingham* 38

DAFTAR ISTILAH

Taspat	=	Batas Kecepatan dalam pengoperasian kereta
Jalur Ganda	=	Jalur kereta yang memiliki lebih dari satu jalur
Jalur Eksisting	=	Jalur kereta yang sebelumnya sudah beroperasi
Jalur New track	=	Jalur kereta yang akan di konstruksikan atau sudah, namun belum pernah dioperasikan/dilalui oleh kereta
Gapeka	=	Grafik Perjalanan Kereta
Vmaks	=	Kecepatan maksimal kereta
Vops	=	Kecepatan operasi kereta (kecepatan yang digunakan ketika pengoperasian kereta)
BH	=	Bangunan Hikmat, sebutan jembatan dalam dinas Kereta Api
Renstra	=	Rencana Strategis, rencana pemerintah dalam 5 tahun
RIPNAS	=	Rencana Induk Perkeretaapian Nasional
PM	=	Peraturan Menteri
Penambat	=	Material pengunci dari Bantalan ke Rel
Rel Bendel	=	Rel yang disusun bolak balik jumlah > 3 batang, membentuk satu kesatuan yang diikat pada bantalan dengan rel bendel (begel dan siku)

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan pada sektor transportasi di bidang perkerataapian memiliki peranan penting dalam mendukung kemajuan negara dalam perekonomian maupun mobilitas masyarakat. Sesuai dengan Rencana Induk Perkeretaapian (RIPNAS) Tahun 2030, pemerintah melalui Direktorat Jenderal Perkeretaapian sedang gencar melakukan perbaikan dan peningkatan prasarana perkeretaapian. Salah satunya yaitu pembangunan jalur ganda pada Proyek Pembangunan Jalur Ganda KA Kiaracondong-Cicalengka Tahap II.

Berdasarkan PM Nomor 60 Tahun 2012, prasarana perkeretaapian terdiri dari jalur kereta api, stasiun kereta api, maupun fasilitas operasi kereta api yang mendukung pengoperasian kereta api. Salah satu aspek prasarana yang mendukung pengoperasian kereta api adalah adanya Bangunan Hikmat (BH). *(Kementerian Perhubungan, 2012)*. Bangunan Hikmat (BH) merupakan prasarana transportasi kereta api berupa struktur penunjang rel yang dirancang menggunakan prinsip-prinsip teknik sipil. Saat mendesain Bangunan Hikmat, ada beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan agar struktur Bangunan Hikmat (BH) tersebut layak dipakai dan dapat beroperasi dalam jangka waktu yang lama. Contoh Bangunan Hikmat (BH) yang sering dijumpai antara lain jembatan, viaduk, terowongan, dan *underpass*. *(Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2011)*

Menurut *(Suwandi, 2021)*, jembatan adalah suatu konstruksi bangunan sipil yang berguna untuk meneruskan jalan dari suatu rintangan yang memiliki elevasi lebih rendah, seperti sungai, lembah, selat, *underpass*, dan lain-lain. Sedangkan jembatan kereta api merupakan bagian dari suatu sistem operasi yang utuh di bidang prasarana perkeretaapian yang mendukung moda transportasi jalan rel *(Suwandi, 2021)*.

Proyek Pembangunan Jalur Ganda KA Kiaracondong-Cicalengka Tahap II terdapat pembangunan BH 766 pada km 163+550 menggunakan konstruksi

Box Culvert dengan dimensi ukuran 5 x 7,9 x 3,05 m'. Pembangunan konstruksi *Box Culvert* dilakukan agar dapat menampung debit air yang lebih banyak dari aliran sungai yang melewati jalur KA pada km 163+550. Pemilihan konstruksi *Box Culvert* pada BH 766 bertujuan untuk efisiensi perawatan bangunan, sehingga perawatan bangunan lebih mudah dan praktis.

Dalam proses pembangunan BH 766 pada km 163+550 menggunakan konstruksi *Box Culvert* diperlukan perencanaan konstruksi jembatan darurat yang berfungsi untuk menghubungkan jalur KA yang terputus akibat adanya pembangunan di sekitar lokasi dalam tempo waktu tertentu. Jembatan darurat diperlukan pada pembangunan BH 766 pada km 163+550 agar perjalanan kereta api tetap dapat beroperasi seperti biasa karena padatnya frekuensi kereta api pada lintas Padalarang-Cicalengka. Opsi tetap menghubungkan jalur KA dengan menggunakan jembatan darurat dikarenakan metode sebelumnya yang dipilih adalah tutup jalur dan menggunakan taspat (pembatas kecepatan) KA yang nantinya akan berpengaruh dengan GAPEKA yang sudah ada. Apabila menggunakan metode jembatan darurat kereta api akan berjalan sesuai dengan GAPEKA yang sudah ada hanya akan terdapat taspat di petak jembatan darurat tersebut.

Jadi, Penulis membuat penelitian tugas akhir dengan judul **"PERENCANAAN JEMBATAN DARURAT PADA PELEBARAN BH 766 KM 163+550 PROYEK PEMBANGUNAN JALUR GANDA KA KIARACONDONG-CICALENGKA"**. Dengan demikian, diharapkan dapat menjadi pertimbangan sebagai solusi atas pembangunan jalur kereta api dengan tidak mengganggu operasional perjalanan KA atau pada proyek pembangunan BH lainnya yang berpotensi mengganggu operasional perjalanan KA.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas terdapat beberapa rumusan masalah dari studi yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Bagaimana kekuatan struktur penampang memanjang, penampang melintang, dan konstruksi penyangga jembatan darurat?
2. Bagaimana kekuatan daya dukung tiang pancang?

3. Bagaimana metode kerja pemasangan dan pembongkaran jembatan darurat?

1.3 Batasan Masalah

Dilakukan pembatasan masalah pada studi penelitian agar tidak melenceng dari pokok pembahasan sebagai berikut:

1. Analisis jembatan darurat pada pembangunan BH 766 km 163+550.
2. Perhitungan kekuatan struktur lendutan dan tegangan lentur menggunakan perhitungan manual dan kontrol perhitungan manual akan di bandingkan dengan perhitungan menggunakan *Software.*
3. Perhitungan pembebanan yang digunakan RM 1921 sesuai dengan pedoman perhitungan yang ada di dalam konstruksi jembatan kereta api.
4. Perhitungan kekuatan jembatan menggunakan pembebanan statis.
5. Baja yang digunakan adalah Baja BJ 37 menyesuaikan dengan asset dari Kementerian Perhubungan dan PT.KAI.
6. Tidak menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB), kekuatan stabilitas lereng tanah, kekuatan struktur rel bendel, *chamber* jembatan serta konstruksi sambungan antar baja.
7. Tidak memperhitungkan metode penyesuaian elevasi dengan *ganjalan kek* (bantalan kayu) maupun *flange* tambahan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari studi penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut:

1. Menganalisis kekuatan struktur jembatan darurat BH 766 KM 163+550 apakah sudah sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur dan Bangunan KA.
2. Menganalisis kekuatan daya dukung tiang pancang jembatan darurat BH 766 KM 163+550.
3. Mengidentifikasi metode kerja pemasangan dan pembongkaran jembatan darurat BH 766 KM 163+550.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan pertimbangan kepada kontraktor untuk membuat jembatan darurat pada proyek pembangunan

Box Culvert BH 766 yang akan berjalan maupun pada proyek pembangunan lainnya, serta bagi Mahasiswa/i agar dapat memahami pengaplikasian dari perhitungan kekuatan struktur jembatan darurat berdasarkan Rencana Muatan 1921 menggunakan perhitungan manual dan kontrol perhitungan manual akan dibandingkan dengan perhitungan melalui *Software.*

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa BAB, tiap BAB dibagi menjadi beberapa pokok bagian yang masing-masing diuraikan kembali. Hal ini dimaksudkan agar masalah yang dibahas dapat tersusun secara sistematika, mudah dimengerti dan dipahami. Adapun sistematika pembahasan ini terdiri dari lima BAB yang terdiri dari

BAB I PENDAHULUAN

BAB ini membahas latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penyusunan.

BAB II STUDI PUSTAKA

BAB ini menguraikan tentang teori yang berhubungan dengan analisis agar dapat memberikan gambar model dan metode analisis yang akan digunakan dalam menganalisa masalah.

BAB III METODOLOGI

BAB ini menguraikan tentang metode yang akan digunakan mulai dari metode penyusunan, metode pengumpulan data, dan metode analisa data.

BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISA DATA

BAB ini membahas tentang pengumpulan data, analisis data, dan kesimpulan hasil analisa data.

BAB V PENUTUP

BAB ini membahas tentang kesimpulan juga disertai dengan rekomendasi saran secara umum.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan referensi penulisan dengan mengacu pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya guna mendukung aspek teoritis maupun metode penelitian pada penyusunan tugas akhir yang sedang dilakukan. Pada penelitian tugas akhir ini, Penulis menggunakan beberapa referensi penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, seperti karya ilmiah yang dipublikasikan berupa tugas akhir, skripsi, maupun jurnal dengan pembahasan yang sama.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Taufik Gunawan, Tiwi Widyasari. (1995). Universitas Islam Indonesia	Metode Pelaksanaan Penggantian Jembatan Kereta Api pada Jembatan Bagian Atas (Studi Kasus Penggantian Jembatan KA di Brebes)	Penelitian ini membahas mengenai langkah-langkah dan penggunaan beberapa metode penggantian struktur atas jembatan dengan membuat jembatan darurat.	Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa dalam penggantian struktur atas jembatan digunakan beberapa metode. Pemilihan beberapa metode yang dipakai dipengaruhi oleh kondisi lapangan, kemudahan konstruksi, biaya, waktu, peralatan, dan lain-lain.
2.	Badriana Nuranita, Erma	Evaluasi Perencanaan	Penelitian ini membahas	Hasil dari penelitian ini

No	Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Desmaliana, Kenny Gesa. (2020). Institut Teknologi Nasional Bandung	Jembatan Kereta Api Rangka Baja Double *Track* Tipe *Welded Through Truss* Bentang 50 Meter	tentang pemodelan dan analisis perhitungan tegangan, pembebanan, serta kapasitas penampang pada jembatan WTT bentang 50 m menggunakan *Software MIDAS.*	menunjukkan evaluasi dalam nilai tegangan dan defleksi terdapat beberapa batang diagonal yang meng-hasilkan angka rasio tegangan > 1 dan nilai lendutan memenuhi syarat.
3.	Teguh Jaya. (2021). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api Dengan Sistem Busur Atas Dan Bawah	Penelitian ini membahas tentang pemodelan jembatan menggunakan struktur *Through Arch* (3D) dan *Deck Arch* (3D) dengan analisis perhitungan	Struktur jembatan kereta api tipe *Through Arch* memiliki periode alami struktur (T1) yang lebih besar yaitu 0,647 detik dibandingkan struktur jembatan *Deck Arch*. Lendutan gelagar

No	Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			menggunakan *Software SAP2000.*	jembatan kereta api tipe *Through Arch* adalah 7,417 cm serta memiliki volume 880.704 Kg. *Deck Arch* dengan nilai 0,555 cm. Lendutan serta memiliki volume 724.090 Kg
4.	M. Yusra Adrian. (2018). Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Analisis Lendutan Struktur Jembatan Jalan Raya Dengan Sistem Balok Beton Prategang	Penelitian ini membahas tentang analisa struktur jembatan beton menggunakan analisa statis dan dinamis dengan mengacu pada SNI 1725-2016 dan SNI 2833-2008.	Pengaruh bentuk dari girder mempengaruhi perilaku struktur jembatan, bisa dilihat pada hasil periode getar pada data pier yang sama, lendutan dan gaya geser yang berbeda.

No	Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
5.	Bagus Soebandono, Bintang Noorohmad Wahyu Nugroho, Ariq Naufal Anam, Raka Putra Ismayana, Taufiq Ilham Maulana. (2019). Universitas Muhammadiyah Yogyakarta	Perkuatan Struktur Jembatan Kereta Api Rangka Baja Tipe Warren Bentang 42 Meter	Penelitian ini membahas tentang pemodelan jembatan kereta api rangka baja tipe warren serta analisis perhitungan kekuatan menggunakan *SAP2000.*	Perkuatan struktur jembatan kereta api rangka baja tipe warren bentang 42 Meter yang telah mengalami penurunan mutu baja 30 % dengan menganalisis ulang dan mengganti batang atau frame yang mengalami *over stress* menghasilkan peningkatan nilai periode, memperkecil nilai lendutan dan memperkecil nilai ratio tegangan sehingga menghasilkan konstruksi yang kembali aman.
6.	Yohanes Murwanto	Kajian Nilai	Penelitian ini membahas	Nilai lendutan dari tahap-tahap

No	Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Eka Priadi. (2020). Universitas Tanjungpura	Lendutan Pada Jembatan Rangka Baja (Studi Kasus Jembatan Rangka Baja Bika Kabupaten Kapuas Hulu)	tentang kajian terhadap jembatan rangka baja Bika dengan analisis kondisi jembatan menggunakan Pedoman Pemeriksaan Jembatan yang dikeluarkan Direktorat Jenderal Bina Marga dan analisis lendutan pada struktur jembatan menggunakan beban statik.	pemberian dan pengurangan beban uji diperoleh persamaan liner lendutan aktual atau lapangan y=0,2693x+0,5682 sehingga untuk beban 100% diperoleh nilai lendutan lapangan sebesar 67,419 mm (< 75 mm), kategori jembatan aman.
7.	Algazt Aryad Masagala. (2022). Universtas	Evaluasi Jembatan Kereta Api Rangka Baja	Penelitian ini membahas tentang analisis perhitungan	Hasil analisis dari kekuatan dan keamanan

No	Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Teknologi Yogyakarta.	Jalur Tunggal Tipe *Welded Through Truss*	kekuatan, keamanan, dan lendutan pada jembatan kereta api BH 935 menggunakan *Software SAP2000.*	struktur jembatan kereta api BH 935 didapat bahwa pada frame batang diagonal, gelagar melintang, gelagar memanjang, *stringer, bracing* atas, dan ikatan angin dinyatakan aman. Sedangkan lendutan pada jembatan tidak aman karena nilai lendutan yang terjadi pada jembatan lebih besar dari nilai lendutan izin.
8.	Abdrian Josua Sembiring. (2021). Politeknik Perkeretaapian Indonesia	Evaluasi Lendutan Pemikul Memanjang dan Pemikul Melintang Jembatan Dinding	Penelitian ini membahas mengenai perhitungan beban dan lendutan pada pemikul memanjang	Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa besaran beban dan lendutan pada jembatan BH 61

No	Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
		Rangka Tertutup Bentang 42 m	dan pemikul melintang jembatan BH 61 bentang 42 m meng-gunakan perhitungan manual dan *SAP2000.*	bentang 42 m masih aman atau di bawah lendutan ijin.
9.	Rizky Agung Prasetya. (2023). Politeknik Perkeretaapian Indonesia	Evaluasi Bentang Jembatan Darurat pada Pembangunan *Underpass* BH 122A Km 50+878 Proyek Jalur Ganda Mojokerto-Sepanjang	Penelitian ini membahas mengenai evaluasi kekuatan struktur jembatan darurat menggunakan perhitungan manual serta *Software SAP2000* dan *MIDAS Civil.*	Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlu dilakukan evaluasi konstruksi jembatan darurat lama terhadap jembatan darurat baru pada pembangunan *underpass* BH 122A dengan penggantian struktur jembatan darurat serta metode kerja yang dilakukan.
10.	Fajryn Ferdiansyah. (2023).	Analisis Kekuatan	Penelitian ini membahas mengenai	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan

No	Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Politeknik Perkeretaapian Indonesia	Jembatan Kereta Api Rasuk Plat BH 1385 Km 347+431 Purwokerto Terhadap Lokomotif CC 206 dan RM 1921	identifikasi pembebanan serta perhitungan kekuatan jembatan BH 1385 dengan perhitungan manual berdasarkan AVBP 1932 dan perhitungan meggunakan *Software SAP2000.*	jembatan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai Standar Teknis Kereta Api Untuk Struktur Jembatan Baja menunjukkan satu variabel perhitungan yang melebihi batas toleransi. Tegangan lentur pada kombinasi pembebanan 2 mencapai 1,591 T/cm2, sedangkan batas toleransi tegangan lentur yang diizinkan adalah 1,300 T/cm2. Hal ini menunjukkan bahwa jembatan tersebut dianggap kurang

No	Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
				aman terhadap tegangan lentur.

Pada penelitian Penulis yang berjudul **"PERENCANAAN JEMBATAN DARURAT PADA PELEBARAN BH 766 KM 163+550 PROYEK PEMBANGUNAN JALUR GANDA KA KIARACONDONG-CICALENGKA"** akan membahas perencanaan dan analisis perhitungan kekuatan jembatan darurat pada pelebaran BH 766 Km 163+550 berdasarkan lendutan dan tegangan lentur dengan bentang baru menggunakan perhitungan manual dan dibandingkan dengan perhitungan menggunakan *Software*.

2.2 Jembatan

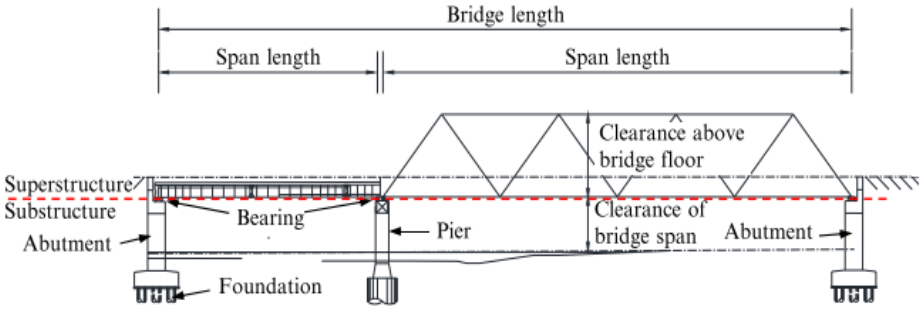
Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan, jembatan merupakan jalan yang terletak di atas permukaan air dan/atau di atas permukaan tanah. Jembatan merupakan salah satu prasarana penghubung antar suatu wilayah dengan wilayah lainnya yang terputus oleh sungai, jurang, rel kereta api dan lain sebagainya, sehingga wilayah yang terisolir dapat dicapai dan dapat membawa keuntungan bagi wilayah tersebut. *(Suwandi, 2021)*

Gambar 2.1 Jembatan Gerbang Tokyo
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

Menurut (Lin & Yoda, 2017), jembatan adalah konstruksi yang dibuat untuk mengangkut lalu lintas umum atau lainnya dengan memindahkan muatan untuk melewati suatu hambatan atau bangunan. Biasanya jembatan dibuat

berdasarkan fungsinya untuk pejalan kaki, jalan, kereta api, kanal, pipa, dan lain-lain. Hambatan dapat berupa sungai, lembah, saluran air, dan bangunan konstruksi seperti jembatan itu sendiri, gedung, rel kereta api, atau jalan raya.

Menurut *(Suwandi, 2021)*, jembatan adalah suatu konstruksi bangunan sipil yang berguna untuk meneruskan jalan dari suatu rintangan yang memiliki elevasi lebih rendah, seperti sungai, lembah, selat, underpass, dan lain-lain. Sedangkan jembatan kereta api merupakan bagian dari suatu sistem operasi yang utuh di bidang prasarana perkeretaapian yang mendukung moda transportasi jalan rel. Jembatan umumnya dibagi menjadi 2 struktur pokok, yaitu komponen struktur atas jembatan (*superstructure*) dan struktur bawah jembatan (*substructure*) yang menjadi satu rangkaian utama.



Gambar 2.2 Struktur Atas Jembatan dan Struktur Bawah Jembatan
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

1. Struktur Atas Jembatan (*Superstructure*)

Struktur atas jembatan (*superstructure*) merupakan bagian jembatan yang memindahkan beban-beban lantai jembatan ke perletakan arah horizontal. Sedangkan lantai jembatan merupakan bagian dari suatu jembatan yang menerima beban lalu lintas kendaraan, pejalan kaki, dan beban yang membebaninya secara langsung. Secara umum bangunan atas pada jembatan terdiri dari beberapa bagian antara lain *(Supriyadi, 1997)*

a. Gelagar Induk

Gelagar induk mempunyai struktur memanjang dan searah dengan jembatan (*longitudinal*) atau tegak lurus arah aliran sungai. Komponen ini merupakan suatu bagian struktur yang menahan beban langsung dari pelat lantai kendaraan.

b. Gelagar Melintang

Gelagar melintang memiliki arah melintang dari jembatan atau tegak lurus gelagar induk. Komponen ini berfungsi untuk mengikat beberapa balok gelagar induk agar menjadi suatu kesatuan agar tidak terjadi pergeseran antar gelagar induk.

c. Lantai Jembatan

Lantai jembatan berfungsi sebagai penahan lapisan perkerasan yang menahan langsung beban lalu lintas dari kendaraan yang melewati jembatan. Komponen ini menahan suatu beban yang nantinya disalurkan secara merata ke seluruh permukaan jembatan.

d. Andas

Andas terletak pada *abutment* dan pilar yang berfungsi untuk menyalurkan semua beban ke *abutment* dan diteruskan ke bagian pondasi.

e. Pelat Injak

Pelat injak berfungsi menghubungkan jalan dan jembatan agar tidak terjadi perbedaan elevasi antara ujung jembatan dan permukaan jalan. Selain itu, komponen ini juga berguna untuk menutup bagian sambungan agar tidak terjadi keausan antara jalan dan jembatan pada pelat injak jembatan.

Gambar 2.3 Jembatan Kereta Api Rasuk Dlurung
Sumber: (Suwandi, 2021)

Pada jembatan kereta api, jenis bangunan struktur atas jembatan (*superstructure*) berdasarkan material pokok yang digunakan ada 3 jenis, antara lain *(Suwandi, 2021):*

1) Jembatan Baja

Konstruksi jembatan baja *(steel bridge)* pada prinsipnya terbagi menjadi 2 jenis, yaitu jembatan rasuk dimana beban kereta api langsung dipikul oleh rasuk pokok dan jembatan dinding dimana beban kereta api langsung diterima oleh rasuk pokok melalui pemikul memanjang *(stringer)* dan pemikul melintang *(cross beam).*

Jembatan ini memiliki material profil baja *I* atau *H*, baja kanal, baja siku, baja pelat, dan penambat dari paku sumbat atau paku keling serta baut bermutu tinggi *(huck bolt)*. Pada ujung jembatan dipasang andas baja sebagai tumpuan yang meneruskan beban ke komponen di bawahnya. Sementara itu, di atas gelagar pada jembatan rasuk atau pemikul memanjang jembatan dinding dipasang bantalan kayu untuk meletakkan *baseplate* dengan paku tirpon sebagai perletakan rel beserta alat penambatnya.

2) Jembatan Beton

Konstruksi jembatan beton terdiri dari konstruksi beton bertulang sebagai gelagar induk yang berbentuk balok pelat atau balok *T* dengan konstruksi beton bertulang *(reinforced concrete T)* atau konstruksi beton pratekan. Pada tumpuan di kedua ujung menggunakan *rubber pad* atau *elastomeric*. Sementara itu, di atas gelagar beton *T* dipasang konstruksi pelat beton bertulang untuk meratakan beban ke seluruh bagian gelagar dan balas. Terdapat celah 10 cm di antara ujung gelagar beton dipasang pelat penutup dengan ukuran 300 x 10 mm.

3) Jembatan Komposit

Jembatan komposit merupakan jembatan yang mengkombinasikan 2 material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda hingga membentuk satu kesatuan yang menghasilkan kekuatan gabungan yang lebih baik. Jembatan komposit yang ada di jalan rel biasa menggunakan perpaduan baja sebagai gelagar dan beton bertulang sebagai pembungkus gelagar dan pelat lantai hingga parapet. Keuntungan jembatan komposit dari pada jembatan beton adalah dapat mendapatkan tinggi konstruksi yang lebih kecil dan bagian

beton tidak perlu penyangga saat dilakukan pengecoran karena dapat menggunakan gelagar *H-beam* sebagai penyangga bekisting.

2. Struktur Bawah Jembatan *(Substructure)*

Struktur bawah jembatan *(substructure)* merupakan bagian jembatan yang berfungsi sebagai penyangga jenis-jenis beban sekaligus memberikan jenis reaksi yang sama dimana memiliki letak yang berada di dasar tanah. Pada bangunan bawah jembatan terdapat beberapa bagian utama antara lain *(Supriyadi, 1997)*:

a. Pondasi

Pondasi merupakan perantara dalam penerimaan beban yang bekerja pada bangunan ke tanah dasar di bawahnya. Bentuk pondasi menentukan besarnya kuat dukung tanah dan penurunan yang terjadi. Terdapat beberapa jenis pondasi yang umum digunakan, yaitu:

1) Pondasi dangkal, yaitu pondasi yang memiliki kedalaman 0-12 meter dan digunakan apabila lapisan tanah di bawah pondasi dapat dipastikan mampu memikul beban bangunan di atasnya.
2) Pondasi dalam, yaitu pondasi yang memiliki kedalaman lebih dari 12 meter dan biasanya dapat berupa tiang *precast*, tiang kayu, tiang beton yang dicor langsung di tempat dengan pipa *casing* baja yang ditekan atau dibor ke dalam lapisan tanah, dan tiang pancang.

b. *Abutment*

Abutment berfungsi sebagai penahan tanah dan menahan bagian ujung dari balok gelagar induk dan terletak pada ujung jembatan. Biasanya komponen ini dilengkapi dengan konstruksi sayap yang berfungsi untuk menahan tanah dalam arah tegak lurus as jembatan dari tekanan lateral. Desain kekuatan struktur a*butment* biasanya dirancang berdasarkan beban vertikal dan horizontal dari bangunan atas jembatan, tekanan tanah secara lateral, beban gravitasi *abutment*, dan beban tambahan lainnya (Chen & Duan, 2003).

c. Pilar

Pilar merupakan komponen penyangga yang berada diantara *abutment* atau berada di tengah-tengah jembatan. Bentuk pilar suatu jembatan harus mempertimbangkan pola pergerakan aliran sungai, jarak bentang yang tersedia, serta keadaan tanah sekitar. Pilar biasanya digunakan sebagai istilah umum untuk semua jenis struktur bawah jembatan yang terletak di antara pemikul memanjang dan pondasi. Pilar biasanya hanya memiliki satu kolom yang disusun dari material baja dan beton. Dari sudut pandang struktural, kolom adalah bagian yang menahan gaya lateral akibat lendutan, sedangkan pilar adalah bagian yang menahan gaya lateral akibat mekanisme pergeseran. Pilar yang terdiri dari banyak kolom sering disebut *footing* jembatan (Chen & Duan, 2003).

Konstruksi bangunan bawah jembatan kereta api disebut pangkal *(abutment)* yang bersambung dengan badan jalan atau pilar *(pier)* pada jembatan yang memiliki bentang lebih dari satu. Jenis pangkal dan pilar jembatan sesuai dengan jenis material yang dominan yang digunakan, seperti pangkal atau pilar batu kali yang memiliki material dominan batu kali, serta pangkal atau pilar beton yang memiliki material dominan beton. Pada tanah lembek, untuk mendapatkan *SPT 40*, pangkal atau pilar dibuat dengan pondasi tidak langsung atau pondasi dalam seperti pondasi di atas sumuran, *bored pile*, atau pondasi tiang pancang yang dipasang di sebelah kanan dan kiri pangkal jembatan. Konstruksi lain yang biasanya dipasang untuk mengamankan struktur pangkal atau pilar antara lain krib, drempel atau bendung, bronjong, *SSP (steel sheet pile)* atau *CSP (concrete sheet pile)* yang dipasang untuk melindungi pangkal atau pilar *(Suwandi, 2021)*

Menurut (B. Supriyadi & A. Muntohar, 2007), jembatan diklasifikasikan berdasarkan jenis material, struktur konstruksi, fungsi, sifat, bentuk struktur, serta jenis gerakan jembatan.

1. Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Jenis Material

Jembatan dapat digolongkan berdasarkan bahan pada bagian atasnya, seperti baja, beton, kayu, batu, baja, dan bahan komposit. Biasanya material

jembatan menggunakan kombinasi dari bahan yang digunakan dalam pembangunan jembatan. Misalnya, sebuah jembatan memiliki dek beton bertulang dan gelagar dari baja (Lin & Yoda, 2017). Jembatan diklasifikasikan menurut material yang dominan digunakan, terutama pada struktur atas jembatan. Berikut jembatan ditinjau dari jenis material yang digunakan (B. Supriyadi & A. Muntohar, 2007)

a. Jembatan Kayu

Jembatan kayu merupakan jembatan sederhana yang mudah dalam pengerjaannya, serta dapat dikerjakan tanpa peralatan canggih. Jembatan ini dapat diaplikasikan pada jembatan yang sifatnya darurat maupun tetap.

b. Jembatan Baja

Jembatan baja merupakan jembatan yang memiliki rangka baja dimana rangka-rangka tersebut memiliki kemampuan untuk mendistribusikan beban ke setiap rangka yang lain yang terdiri dari rangka batang tarik dan batang tekan. Komponen yang biasa menggunakan komponen dari baja antara lain rangka batang, *girder*, gelagar, serta penahan dan penggantung kabel.

c. Jembatan Beton (Bertulang atau Prategang)

Jembatan beton merupakan jembatan dengan material beton yang biasanya memiliki bentang 15-25 meter. Jembatan beton memiliki daya tekan yang kuat, lentur, awet, dan murah. Pada jembatan beton prategang digunakan kawat–kawat baja berkualitas tinggi pada balok prategang dengan sistem penegangan *pre-tensioning*.

d. Jembatan Komposit

Jembatan komposit merupakan jembatan yang mengombinasikan dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda hingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Jembatan komposit biasanya mengombinasikan antara bahan konstruksi baja dengan beton bertulang. Misalnya, baja sebagai gelagar dan beton bertulang sebagai pelat lantai jembatan.

e. Jembatan Bambu

Jembatan bambu merupakan jembatan yang terbuat dari bambu dan mudah dirancang. Jembatan ini biasanya dibuat dengan metode anyaman pada bentang yang pendek.

f. Jembatan Pasangan Batu Kali

Jembatan pasangan batu kali memiliki struktur yang dibuat dari pasangan batu kali atau bata merah. Jembatan ini merupakan jenis jembatan yang mengandalkan sistem gravitasi dan berat struktur. Bentuk jembatan ini sebagian besar berbentuk lengkung di bagian bentang yang harus menahan beban utama.

2. Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Bentuk Struktur Atasnya

Jembatan diklasifikasikan berdasarkan bentuk struktur atasnya, antara lain:

a. Jembatan Gelagar *(Beam Bridge)*

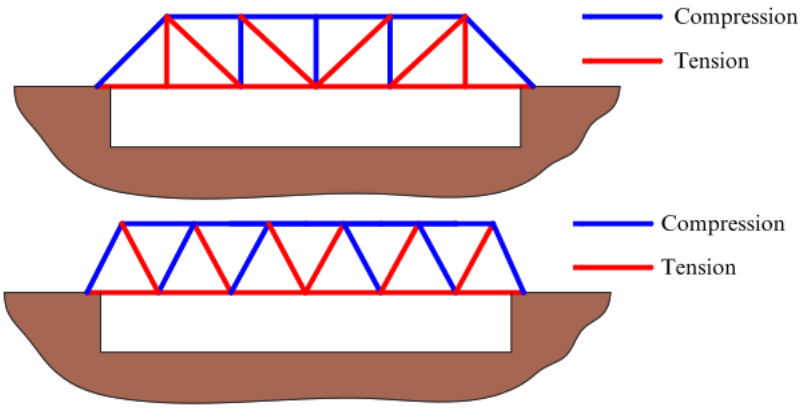
Jembatan gelagar atau balok merupakan jembatan yang paling umum digunakan karena bentuknya yang sederhana dan murah dengan didukung struktur pilar atau *abutment*. Pada bagian gelagar, beban gelagar dan beban lain yang diterima dan disalurkan oleh gelagar itu sendiri, diantaranya gaya momen lentur dan momen geser (Lin & Yoda, 2017)

Gambar 2.4 Jembatan Gelagar Besi *Queen Elizabeth II*
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

b. Jembatan Rangka *(Truss Bridge)*

Jembatan rangka merupakan jembatan yang memiliki struktur atas penahan bebannya terbuat dari rangka baja yang tersusun membentuk

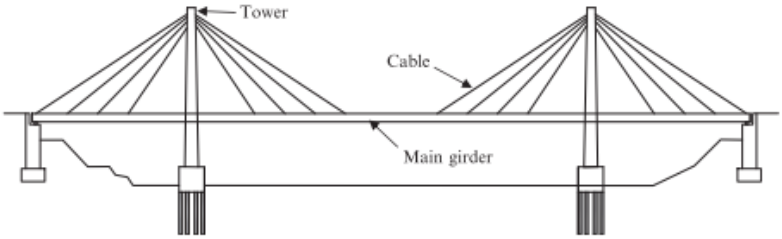
segitiga. Jembatan rangka merupakan salah satu jembatan modern tipe lama yang memiliki bentang relatif panjang (Lin & Yoda, 2017).



Gambar 2.5 Sebaran Gaya Jembatan Rangka
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

c. Jembatan Kabel *(Cable-stayed Bridge)*

Jembatan kabel merupakan jembatan dengan struktur kabel yang merentang antara tiang menara dengan gelagar utama dengan arah miring. Jembatan ini memiliki tingkat efisien yang cukup tinggi dalam penggunaan material karena memiliki struktur yang bekerja dengan tegangan yang berbalik arah *(axial force),* sehingga gaya yang dibutuhkan tidak terlalu banyak (Lin & Yoda, 2017).

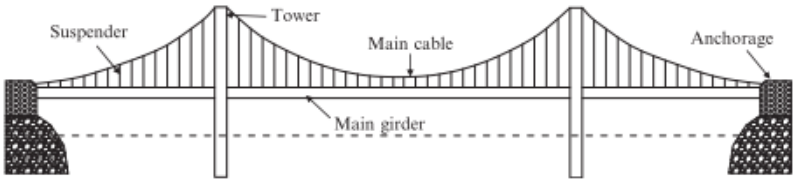


Gambar 2.6 Struktur Jembatan Kabel
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

d. Jembatan Gantung *(Suspension Bridge)*

Jembatan gantung merupakan jembatan gelagar menerus yang digantung oleh kabel gantung melewati tiang menara utama dengan struktur pelana dan berakhir pada bagian *anchor* di ujung jembatan sebagai penahan kabel. Gaya jembatan gantung meregang pada bagian kabel dan menekan

pada tiang menara. Jembatan gantung memiliki struktur gelagar yang terbuat dari rangka baja maupun beton (Lin & Yoda, 2017).



Gambar 2.7 Struktur Jembatan Gantung
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

e. Jembatan Lengkung *(Arch Bridge)*

Jembatan lengkung merupakan jembatan yang berbentuk seperti lengkungan cembung ke atas yang berfungsi untuk menopang beban secara vertikal. Jembatan ini menggunakan prinsip kestabilan pada gaya yang bekerja di atas jembatan dengan ditransformasikan ke bagian akhir lengkung atau *abutment* di kedua sisi jembatan (Lin & Yoda, 2017)

Gambar 2.8 Jembatan Lengkung *Chaotianmen,* Tiongkok
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

f. Jembatan Kantilever *(Cantilever Bridge)*

Jembatan kantilever memiliki struktur yang memproyeksikan gaya secara horizontal dengan didukung satu papan pegas di bagian ujung. Jembatan ini lebih mudah dibangun pada penyeberangan yang sulit dengan sedikit pekerja.

Gambar 2.9 Jembatan Kantilever *Forth*, Skotlandia
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

3. Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Fungsi

Berdasarkan fungsinya, jembatan diklasifikasikan menjadi 7 *(Balasubramanian, 2017)*, yaitu

a. Jembatan Lalu Lintas Umum

Jembatan lalu lintas umum dirancang untuk dilewati kendaraan umum, seperti mobil dan truk. Jenis jembatan ini paling umum dijumpai.

b. Jembatan Kereta Api

Jembatan kereta api merupakan jembatan yang dibuat untuk mendukung operasional kereta api dengan satu atau dua jalur.

c. Jembatan Fungsi Ganda

Jembatan fungsi ganda merupakan jembatan yang memiliki dua lintasan atau lebih. Pada jembatan jenis ini paling umum digunakan untuk kereta api dan pada lintasan lain digunakan untuk kendaraan umum.

d. Jembatan Pedestrian

Jembatan pedestrian merupakan jembatan yang biasanya berada pada lingkungan perkotaan yang tidak dapat diakses oleh kendaraan besar seperti mobil dan truk, melainkan pejalan kaki atau pengguna sepeda.

e. Jembatan Saluran Pipa

Jembatan saluran pipa merupakan jembatan khusus yang menggunakan saluran pipa yang dapat membawa air, gas, maupun sambungan kabel komunikasi.

f. Jembatan Viaduk

Jembatan viaduk merupakan sebuah jembatan yang dibuat agar bisa dilewati oleh aliran air, biasanya dibuat di tengah-tengah saluran irigasi atau bangunan air lain.

g. Jembatan Komersial

Jembatan komersial merupakan jembatan yang diperuntukkan sebagai bangunan komersial, seperti toko atau restoran.

4. Klasifikasi Jembatan Berdasarkan Sifat

Jembatan berdasarkan sifatnya dibagi menjadi jembatan tetap, jembatan darurat, dan jembatan bergerak.

a. Jembatan Tetap *(Fixed Bridge)*

Jembatan tetap atau permanen adalah jembatan yang dirancang untuk dapat dimanfaatkan secara terus menerus hingga umur rencana jembatan. Jembatan ini dapat berupa jembatan kayu, jembatan baja, maupun jembatan beton bertulang. Sebagian besar jembatan merupakan jembatan tetap yang artinya jembatan tersebut tidak memiliki bagian yang bergerak dan tetap berada di satu tempat sampai bangunan tersebut dihancurkan.

b. Jembatan Darurat *(Temporary Bridge)*

Jembatan darurat atau sementara dibangun pada keadaan tertentu, misal jembatan yang sedang di renovasi kemudian dibuatkan jembatan darurat yang terbuat dari material gelagar, pohon kelapa, dan lain-lain. dengan tujuan agar jembatan tersebut masih dapat difungsikan. Jembatan ini terbuat dari komponen dasar modular yang dapat dipindahkan dengan mesin sedang atau ringan dan biasanya digunakan dalam teknik militer atau ketika jembatan tetap sedang diperbaiki *(Balasubramania, 2017)*. Jembatan darurat ini yang akan menjadi dasar penelitian dengan struktur baja dan bersifat *temporary* untuk mendukung proses Pembangunan *box culvert* tanpa harus menutup jalur dengan tempo waktu tertentu.

Pada jembatan darurat kereta api, jembatan ini dibuat sesuai dengan penggunaannya dan situasi letak penyangganya. Jembatan darurat biasanya menggunakan konstruksi rel bendel yang dipasang di atas bantalan dengan

menambah sisipan bantalan kayu sebagai pengikat rel bendel. Rel bendel dapat menggunakan formasi *3+3+3+3*, *3+5+3*, *3+5+5+3*, dan *3+7+3* sesuai jarak as *track (Suwandi, 2021).*

c. Jembatan Bergerak *(Moveable Bridge)*

Jembatan bergerak dirancang agar dapat dipindahkan atau dibuka untuk jalur air, seperti saat kapal atau *boat* melewatinya. Jembatan ini memiliki gelagar yang dapat bergerak buka-tutup dengan tenaga manual maupun elektrik. Jembatan bergerak dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu

1) Jembatan terbuka *(bascule bridge)*, yaitu tipe jembatan bergerak yang dapat menggerakkan gelagar utamanya secara bersamaan dengan engsel di bagian ujung jembatan. Jembatan ini dapat dirancang sesuai lebar jembatan dengan daun tunggal maupun ganda.

Gambar 2.10 Jembatan Menara, Inggris
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

2) Jembatan berputar *(swing bridge)*, yaitu jembatan yang dapat berputar dengan bantuan *vertical ring* di bagian pilar jembatan.

Gambar 2.11 Jembatan Berputar di Liverpool
Sumber:(Lin & Yoda, 2017)

3) Jembatan angkat *(lift bridge)*, yaitu jembatan yang memiliki *gantries* yang memiliki katrol di ujung jembatan dan digunakan untuk mengangkat gelagar menggunakan sistem hidrolik.

Gambar 2.12 Jembatan Angkat di Minnesota
Sumber: (Lin & Yoda, 2017)

Berdasarkan (Kementerian Perhubungan, 2012) tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, pembebanan pada jembatan terdiri dari beberapa jenis yang menjadi syarat jembatan tersebut layak untuk dilewati sarana kereta api. Jenis pembebanan yang perlu diperhitungkan antara lain:

1. Beban Mati

Beban mati adalah seluruh beban yang berasal dari berat jembatan itu sendiri atau pada bagian atau komponen jembatan yang ditinjau termasuk seluruh unsur tambahan yang menjadi satu kesatuan tetap. Berat jenis bahan yang biasanya digunakan dalam perhitungan beban mati adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Berat Jenis Bahan

No	Bahan	Berat Jenis
1	Baja, Baja Cor	78,50 kN/m^3
2	Besi Cor	72,50 kN/m^3
3	Kayu	8,00 kN/m^3
4	Beton	24,00 kN/m^3
5	Aspal Anti Air	11,00 kN/m^3
6	*Ballast Gravel* atau Batu Pecah	19,00 kN/m^3

Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2012)

2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan semua beban yang terjadi akibat penggunaan suatu bangunan termasuk beban-beban pada dasar bangunan yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang bukan bagian dari bangunan.

Pada jembatan kereta api, beban hidup yang digunakan adalah beban gandar terbesar sesuai rencana sarana perkeretaapian yang dioperasikan atau skema dari rencana muatan. Untuk beban gandar sampai dengan 18 ton dapat digunakan skema Rencana Muatan 1921 (RM 21). Apabila beban gandar lebih besar dari 18 ton, maka rencana muatan disesuaikan dengan kebutuhan tekanan gandar.

Besar nilai beban gandar pada setiap gelagar (*P*) dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = \tfrac{1}{2} + \textit{beban gandar} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.1)$$

Keterangan :

P = Beban gandar pada setiap gelagar

3. Beban Kejut

Beban kejut merupakan pengaruh dari getaran-getaran dan pengaruh dinamis lainnya yang harus dikalikan dengan koefisien kejut untuk memberikan hasil yang maksimum (B. Supriyadi & A. Muntohar, 2007). Selain itu, beban kejut dapat diperoleh dengan mengalikan faktor *i* terhadap beban kereta. Perhitungan paling sederhana untuk faktor *i* yaitu dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

a. Rel pada Alas Balas

$$i = 0{,}1 + \frac{22{,}5}{50+L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.2)$$

b. Rel pada Perletakan Kayu

$$i = 0{,}2 + \frac{25}{50+L} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.3)$$

c. Rel Langsung pada Baja

$$i = 0,3 + \frac{25}{50+L} \quad \text{.....(2.4)}$$

Keterangan:

i = Faktor kejut

L = Panjang bentang (m)

4. Beban Horizontal

Beban horizontal terdiri dari beberapa jenis beban, seperti beban sentrifugal, beban lateral kereta, beban pengereman dan traksi, serta beban rel panjang longitudinal.

a. Beban Sentrifugal

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

$$\alpha = \frac{V^2}{127\,R} \quad \text{.....(2.5)}$$

Keterangan:

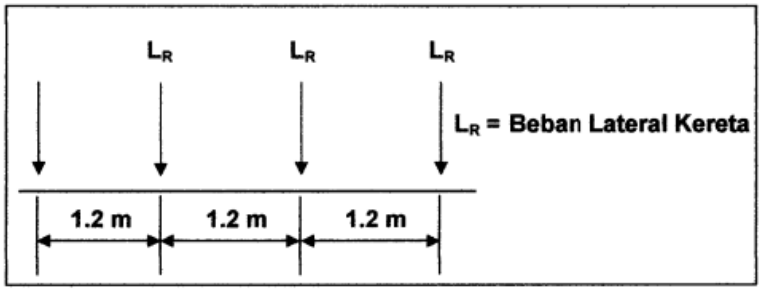
α = Faktor kejut

V = Kecepatan maksimum kereta pada tikungan (km/jam)

R = Radius tikungan (m)

b. Beban Lateral Kereta

Beban lateral kereta adalah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.13 bahwa beban bekerja pada bagian atas dan tegak lurus arah rel secara horizontal. Besaran beban lateral adalah 15% atau 20% dari beban gandar untuk masing-masing lokomotif atau kereta listrik diesel.



Gambar 2.13 Beban Lateral Kereta

Sumber: (Kementerian Perhubungan, 2012)

c. Beban Pengereman dan Traksi

Beban pengereman dan traksi merupakan jumlah 25% dari beban kereta, bekerja pada pusat gaya berat kereta ke arah rel secara longitudinal.

d. Beban Rel Panjang Longitudinal

Beban rel panjang longitudinal pada dasamya memiliki nilai 10 kN/m dengan beban maksimum sebesar 2000 kN/m.

5. Beban Angin

Pengaruh beban angin sebesar 150 kg/m^2 pada jembatan berdasarkan beban angin horizontal yang terbagi rata pada bidang vertikal jembatan dan dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan (B. Supriyadi & A. Muntohar, 2007). Pada jembatan kereta api, beban angin bekerja secara tegak lurus rel maupun secara horizontal dengan tipikal nilai sebagai berikut:

a. 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 arah datangnya angin, tidak termasuk areal sistem lantai. Penentuan beban angin total pada jembatan tanpa kereta di atasnya (W_1) dapat menggunakan persamaan berikut:

$$W_1 = QW_1 \times A \qquad \text{.....(2.6)}$$

Keterangan:

W_1 = beban angin total jembatan tanpa kereta

QW_1 = nilai beban angin tanpa kereta

A = luas jembatan

b. 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. Penentuan beban angin total pada jembatan dengan kereta di atasnya (W_2) dapat menggunakan persamaan berikut:

$$W_2 = QW_2 \text{ x } A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.7)$$

Keterangan:

W_2 = Beban angin total jembatan dengan kereta

QW_2 = Nilai beban angin dengan kereta

A = Luas jembatan

6. Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian bangunan yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa itu. Menurut *(Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2016)* tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa, 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 sebagai berikut:*(Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2016)*

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \text{ x } W_t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.8)$$

Keterangan:

EQ = Gaya gempa horizontal statis

C_{sm} = Koefisien respon gempa elastis

R_d = Faktor modifikasi respon

W_t = Berat total struktur

Tabel 2.3 Koefisien Nilai Parameter Periode Pendekatan

No.	Tipe Struktur	C_t	x
1.	Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya *seismic* yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau berhubungan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
	• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
	• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
2.	Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
3.	Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
4.	Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : (Kementerian Perhubungan, 2012)

Dalam menentukan periode fundamental alami (T), dapat menggunakan koefisien nilai parameter periode pendekatan (C_t) berdasarkan Tabel 2.3 dengan persamaan sebagai berikut:

$$T = C_t \, x \, h^x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(2.9)}$$

Keterangan :

C_t = Koefisien parameter periode pendekatan

h^x = Ketinggian struktur di atas dasar sampai akhir

Penentuan nilai koefisien respon gempa elastik bergantung pada nilai periode alami gempa dengan ketentuan sebagai berikut:

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

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_S)\frac{T}{T_0} + A_S \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(2.10)}$$

b. Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 sekaligus lebih kecil atau sama dengan T_S, respon spektra percepatan, nilai C_{sm} adalah sama dengan S_{DS}.

c. Untuk periode lebih besar dari T_S, koefisien respon gempa elastik (C_{sm}) adalah sebagai berikut:

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \quad \text{……..(2.11)}$$

Keterangan :

C_{sm} = Koefisien respon gempa elastis

S_{DS} = Nilai spektra permukaan tanah pada periode 0,2 detik

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

A_S = Koefisien percepatan puncak muka tanah

T = Periode gempa alami struktur

T_0 = Periode gempa alami awal

Tabel 2.4 Koefisien Situs F_{PGA}

No.	Kelas Situs	PGA≤0,1	PGA=0,2	PGA=0,3	PGA=0,4	PGA≥0,5
1.	SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
2.	SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3.	SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
4.	SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
5.	SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9

Sumber : (Badan Standardisasi Nasional, 2012)

Sedangkan koefisien percepatan muka tanah (A_S) dapat ditentukan dengan mengalikan koefisien situs untuk *PGA* (F_{PGA}) berdasarkan Tabel 2.4 dengan nilai *PGA* sebagai berikut:

$$A_S = F_{PGA} \text{ x } PG \text{……..…….....(2.12)}$$

Keterangan:

A_S = Koefisien percepatan muka tanah

F_{PGA} = Koefisien situs untuk *PGA*

PGA = Nilai percepatan puncak di batuan dasar

$$K_h = K_r \quad \text{……..…….....(2.13)}$$

$$K_v = 0{,}5\ K_h \text{ ……..…….....(2.14)}$$

Metode paling sederhana untuk menganalisis beban gempa adalah dengan menggunakan metode pergeseran dasar atau metode koefisien gempa, dimana beban ditetapkan sebagai berikut:

Keterangan:

K_h = Koefisien gempa horizontal

K_v = Koefisien gempa vertikal

K_r = Koefisien respon gempa

7. Kombinasi Pembebanan

Konstruksi jembatan beserta bagian-bagiannya harus ditinjau terhadap kombinasi pembebanan dan gaya yang mungkin bekerja. Sesuai dengan sifat-sifat pada setiap beban, tegangan yang digunakan dalam pemeriksaan kekuatan konstruksi perlu dinaikkan terhadap tegangan yang diijinkan sesuai dengan keadaan elastis (B. Supriyadi & A. Muntohar, 2007).

Kombinasi pembebanan pada struktur jembatan kereta api mengacu pada Peraturan Direktorat Jenderal Perkeretaapian. Perhitungan konstruksi jembatan dihitung dari hasil kombinasi pembebanan yang terbesar.

Tabel 2.5 Kombinasi Pembebanan

Table 7.2-1 Faktor Beban

No Kombinasi Pembebanan	Faktor									
	Beban Tetap	Beban Transien								
	D	L	I (Lxi)	C (Lxα)	L^R	L^F	B	W^1	W^2	E
1	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0					
2	1.0	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0			1.0	
3	1.0	1.1			1.0		1.0		1.0	
4	1.0							1.2		
5					1.0		1.1			
6						1.1			1.0	
7							1.1		1.0	
8	1.0	1.0		1.0						1.0
9										1.0
10	1.0	1.0		1.0						

dimana : D = Beban Mati
I = (L x i) = Beban Kejut
L_R = Beban Rel Panjang Longitudinal
B = Beban Pengereman dan Traksi
W_2 = Beban Angin (Dengan Kereta)
L = Beban Hidup
C = (L x α) = Beban Centrifugal
L_F = Beban Lateral
W1 = Beban Angin (Tanpa Kereta)
E = Beban Gempa

Sumber : (Departemen Perhubungan, 2006)

Lendutan merupakan perubahan bentuk pada balok dalam arah *y* akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok. Deformasi pada balok terjadi akibat defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral pada awal hingga posisi setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok *(Pala'biran et al., 2019)*

Lendutan atau besaran penyimpangan yang terjadi pada jembatan tidak boleh melebihi persyaratan koefisien terhadap panjang teoritis dengan nilai koefisien sebagai berikut:

1. Koefisien lendutan maksimum pada jembatan baja, yaitu:

Tabel 2.6 Koefisien Lendutan Maksimum Jembatan Baja

No.	**Jenis**			**Gelagar (m)**		
				L < 50	**L ≥ 50**	**Seluruh Rangka**
1.	Lokomotif			L / 800	L / 700	-
2.	Kereta listrik dan/atau Kereta	V (km/h)	V < 100	L / 700		L / 1000
			100 < V ≤ 130	L / 800	L / 700	-
				L / 1100	L / 900	-

Sumber: (Kementerian Perhubungan, 2012)

2. Koefisien lendutan maksimum pada jembatan beton, yaitu:

Tabel 2.7 Koefisien Lendutan Maksimum Jembatan Beton

Beban Lokomotif	Bentang L (m)			L < 50		L ≥ 50
				L / 800		L / 700
	Bentang L (m)			L ≤ 20	20 < L < 50	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
			130 < V ≤ 160	L / 1100		L / 900
	Untuk Dua Rangkaian atau Lebih	Kecepatan Maksimum V (km/jam)	V < 100	L / 800	L / 850	L / 700
			100 < V ≤ 130	L / 1000	L / 1100	L / 900
			130 < V ≤ 160	L / 1300	L / 1400	L / 1200

Sumber: (Kementerian Perhubungan, 2012)

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

Menurut *(Suwandi, 2021)* perhitungan lendutan jembatan rasuk pokok pada jembatan dapat menggunakan rumus jembatan prismatik sebagai berikut:

$$f = \frac{5\,M\,L^2}{48\,E\,I} \quad \text{……..(2.15)}$$

$$f_{ijin} = \frac{1}{700}\,x\,L \quad \text{…….(2.16)}$$

Keterangan:

f = Lendutan

M = Momen maksimum

L = Bentang teoritis

E = Elastisitas beban (2 x 10^6)

I = Momen inersia

Tegangan lentur merupakan gaya aksi yang ditimbulkan dari adanya momen lentur. Dalam metode ASD memiliki faktor keamanan material sebesar 1,3 untuk tegangan lentur. Tegangan lentur memiliki rumus sebagai berikut:

$$\sigma_{ijin} = \frac{fy}{\gamma m} \text{……(2.17)}$$

$$\sigma b = \frac{M}{\omega_x} \quad \text{……...…(2.18)}$$

Keterangan:

$\sigma ijin$ = Tegangan lentur ijin

σb = Tegangan lentur

fy = Tegangan leleh material

γm = *faktor keamanan material*

M = Momen maksimum

ω_x = Bentang teoritis

Momen adalah hasil kali antara gaya dengan jarak yang sejajar atau garis lurus terhadap garis kerjanya. Momen maksimum merupakan momen terbesar dari hasil perhitungan dan digambarkan dengan grafik momen *(Muspitasari et al., 2019).* Momen maksimum pada jembatan kereta api dapat dicari menggunakan rumus berikut:

$$M_{maks} = \left(\frac{1}{2}\Sigma P \; x \; \frac{1}{2}L\right) - P\,(L_1 + L_2 + ... + L_n) \quad .....(2.19)$$

Keterangan:

M_{maks} = Momen maksimum

P = Beban gandar (ton)

L = Bentang teoritis

L_n = Jumlah bentang teoritis per gandar

Selain itu, penentuan titik momen maksimum pada suatu gelagar jembatan dengan pembebanan merata dapat menggunakan persamaan berikut:

$$M_X = Ra \text{ x } X - qd \text{ x } X \text{ x } ½ \text{ x } X \quad .....(2.20)$$

Keterangan:

M_X = Momen maksimum pada titik X

Ra = Reaksi pada titik tumpuan

X = Jarak bentang momen

qd = Berat gelagar per meter

2.3 *Box Culvert*

Saluran *Box Culvert* adalah saluran gorong-gorong dari beton bertulang yang berbentuk kotak yang memiliki sambungan pada setiap segmennya sehingga bersifat kedap air. *Box Culvert* ini umumnya digunakan untuk saluran drainase. Ukuran yang besar bisa digunakan sebagai jembatan. *(Riyo Ardi Yansyah et al., 2015).*

2.4 Perkuatan Tanah

Daya dukung adalah adalah gaya maksimum yang dapat dipikul atau ditahan tanpa menyebabkan keruntuhan geser dan penurunan yang berlebihan untuk melawan gaya geser. Persamaan yang digunakan dalam menentukan ijin perkuatan daya dukung tanah menggunakan persamaan *Mayerhoff* adalah sebagai berikut:

$$Q_{ultimate} = Q_{ijin} = \frac{qc\ x\ Ap}{SF_1} + \frac{JHP\ x\ O}{SF_2} \quad \text{.....(2.21)}$$

Keterangan:

Q_{ijin} = Perkuatan daya dukung tanah ijin

Qc = Hambatan konus (kg/cm^2)

Ap = Luas permukaan ujung tiang (cm^2)

JHP = Nilai jumlah hambatan pelekat (kg/cm)

O = Keliling tiang (cm)

SF_1 = Angka keamanan daya dukung ujung (2 s/d 3)

SF_2 = Angka keamanan daya dukung selimut (3 s/d 5)

Selain itu, dapat juga menggunakan metode *Aoki & De Alencar* untuk memperkirakan besar kapasitas daya dukung ultimit yang diperoleh dari uji *CPT*. Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_b = \frac{q_{ca}}{F_b} \quad \text{.....(2.22)}$$

Keterangan:

q_b = Kapasitas dukung ujung persatuan luas

q_{ca} = Perlawanan konus rata-rata 1,5 diameter di atas ujung tiang, 1,5 diameter di bawah ujung tiang

F_b = Faktor empiris tahanan tiang

Pada persamaan *Schmertmann & Nottingham* dianjurkan untuk menggunakan cara *Begemann* dalam menghitung daya dukung ujung pondasi tiang, yaitu dengan mengambil nilai rata-rata perlawanan ujung sondir sebesar 8 kali diameter di atas ujung tiang dan 0,7–4 diameter di bawah ujung tiang. Persamaan *Schmertmann & Nottingham* adalah sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{q_{c1}+q_{c2}}{2} A_b \quad \text{.....(2.23)}$$

$$Q_s = K_{s,c} \sum_{z=0}^{8D} \frac{z}{8D} f_s\, A_s + \sum_{z=8D}^{L} f_s\, A_s \quad \text{.....(2.24)}$$

$$Q_{ijin} = \frac{Ap \times (q_{cb}+q_{ca})}{2} + Cs \times Df \times fs \quad \text{.....(2.25)}$$

Keterangan:

Q_{ijin} = Perkuatan daya dukung tanah ijin

Q_p = Daya dukung ujung tiang

Q_s = Daya dukung selimut tiang

q_{c1} = Nilai q_c rata-rata pada 0,7-4 diameter di bawah ujung tiang.

q_{c2} = Nilai q_c rata-rata pada 8 diameter di atas ujung tiang

q_{ca} = Nilai rata-rata tahanan konus pada zona 8D di bawah ujung tiang.

q_{cb} = Nilai rata-rata tahanan konus pada zona 4D di bawah ujung tiang.

Fs = Faktor keamanan

Cs = Faktor koreksi penurunan

Df = Kedalaman pondasi

A_b = Luas proyeksi penampang tiang

$K_{s,c}$ = Faktor koreksi gesekan selimut tiang

f_s = Tahanan gesek tiang per satuan luas

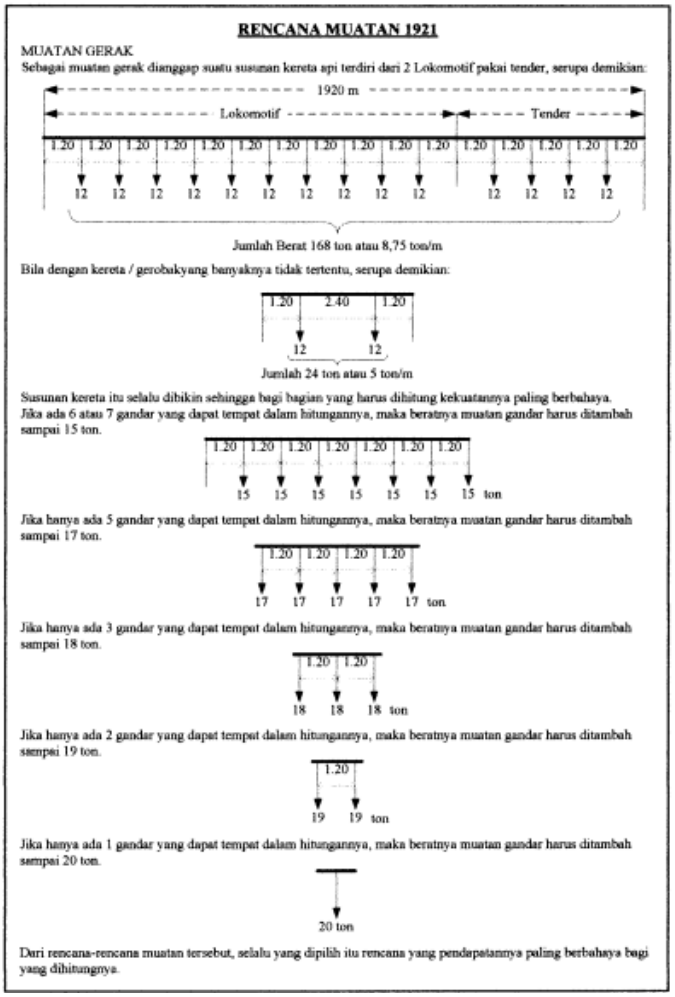
A_s = Luas selimut tiang

Uji Conus atau Sondir adalah Uji untuk mengetahui nilai tahanan konus (qc) terhadap konsistensi tanah. *Standart* Penetrasi *Test* yaitu Pengujian boring dan SPT didasarkan atas ASTM D-1586, hasil dari pengujian ini adalah diskripsi susunan lapisan-lapisan tanah serta nilai SPT yang dinyatakan dalam N pukulan. Nilai SPT diperoleh yaitu pada tabung SPT ditekan atau dipukul sedalam 150 mm pada tanah tak terganggu sambil mencatat banyaknya pukulan yang diperlukan. Pengujian ini dilakukan bersamaan dengan pengambilan contoh tanah dan biasa dilakukan tiap 1,5 m kedalaman atau tiap pergantian jenis tanah.

2.5 Pedoman Perhitungan

Rencana Muatan 1921 (RM 1921) merupakan pedoman skema pembebanan jembatan dengan menempatkan beban pada titik tertentu sesuai dengan panjang

gelagar memanjang agar dapat dilalui oleh rangkaian kereta api nantinya. Skema RM 1921 telah ditetapkan dalam PM Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalan Kereta Api dan Peraturan Dinas Nomor 10 yang digunakan untuk menghitung gaya momen jembatan kereta api *(Muspitasari et al., 2019).*



Gambar 2.14 Skema Pembebanan Rencana Muatan 1921

Sumber: (Kementerian Perhubungan, 2012)

PD10 D Jilid 1 merupakan peraturan dinas yang berisikan tentang perencanaan jembatan dan pilar baja jalan kereta api

konstruksi kecuali pada antuas, paku sumbat, dan baut.

Nama bagian konstruksi	Gaya	Baja leleh normal					Tegangan geser ($\bar{\tau}$)
		Tegangan tarik izin ($\bar{\sigma}_t$) dan Tegangan lentur izin ($\bar{\sigma}_b$)					
		Jembatan dan Pilar baru			Jembatan dan pilar lama		
		Dalam serat yang sama			Dalam serat yang sama		
	Uraian	Selalu tarik atau selalu tekan		Bergantian tarik dan tekan	Selalu tarik atau selalu tekan	Bergantian tarik dan tekan	
a) Rasuk pokok b) Pemikul malang dan pemikul memanjang dalam lantai jalan (untuk arti lantai lihat Pasal 10)	I	Gaya pokok	1300	$1300 - 300 \frac{S1}{S2}$	1500	$1500 - 300 \frac{S1}{S2}$	0,6 x Tegangan tarik izin atau tegangan lentur izin
	II	Gaya pokok + gaya tambahan	1450	$1450 - 300 \frac{S1}{S2}$	1650	$1650 - 300 \frac{S1}{S2}$	
	III	Gaya pokok + gaya tambahan + gaya rem	1550	$1550 - 300 \frac{S1}{S2}$	1750	$1750 - 300 \frac{S1}{S2}$	
c) Pertambatan angin primer dan sekunder d) Portal	IV			1000		1200	
e) Semua bagian lain yang tidak termasuk dalam sub a s/d d misalnya trotoar f) pertambatan rem	V			1450		1650	

Gambar 2.15 Peraturan Dinas 10 D Jilid 1

Sumber: (PT Kereta Api Indonesia, 2017)

2.6 Profil Baja

Baja adalah bahan logam yang memiliki kadar homogenitas tinggi, serta tersusun dari besi (*Fe*) dalam bentuk kristal dan karbon (*C*). Pembuatan baja dilakukan dalam temperatur tinggi menggunakan proses dapur tinggi, yaitu dapur corong yang memiliki tinggi 20-30 m dan terdapat lapisan batu yang tahan api. Di dalam dapur ini besi mentah dipecah dari persenyawaannya dan dipisahkan dari mineral-mineral lain *(Loa Wikarya Darmawan, 1993).* Baja memiliki beberapa sifat yang mendukung perkuatan dalam struktur bangunan, antara lain:

1. Kekuatan

Baja memiliki sifat kuat tarik dimana ketika baja diberi beban maka akan mengalami deformasi yang mengakibatkan adanya tegangan *(stress).* Perbandingan antara tegangan dengan regangan dalam keadaan elastis disebut modulus elastisitas.

Tabel 2.8 Tegangan Leleh Baja

No.	Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (Mpa)	Tegangan leleh minimum, f_y (Mpa)	Peregangan minimum (%)
1.	BJ 34	340	210	22
2.	BJ 37	370	240	20
3.	BJ 41	410	250	18
4.	BJ 50	500	290	16
5.	BJ 55	550	360	13

Sumber: (Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 2016)

2. Kelenturan

Baja memiliki kemampuan untuk melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang (siklus) di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya.

3. Kealotan

Baja pada umumnya memiliki sifat alot, sehingga tidak cepat patah. Momen inersia untuk penampang baja dapat ditentukan dengan pasti dibandingkan dengan penampang beton bertulang.

4. Kekerasan

Baja merupakan bahan konstruksi yang keras, artinya bahan ini memiliki ketahanan baja terhadap besarnya gaya yang dapat menembus permukaan baja. Pengujian kekerasan baja dapat menggunakan uji *Brinell, Rockwell*, ultrasonik, dan lain-lain.

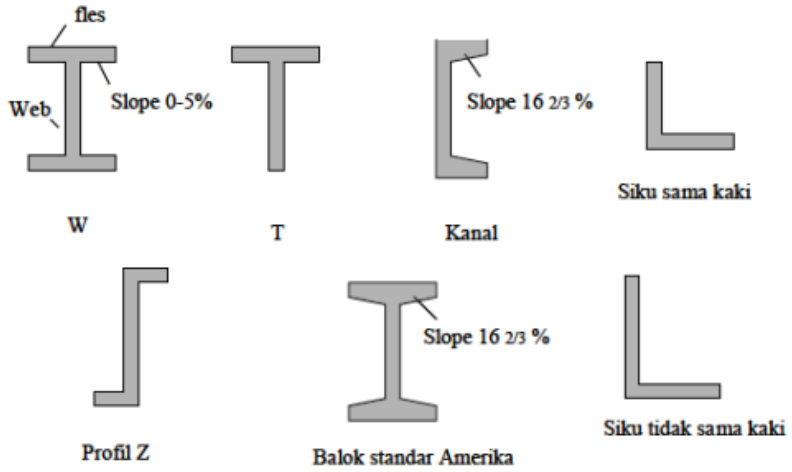
5. Liat *(Toughness)*

Baja struktur memiliki kemampuan untuk menyerap energi dalam jumlah yang cukup besar *(toughness)*. Baja struktur dapat diberikan lenturan, beban kejut, geser, dan dilubangi tanpa memperlihatkan kerusakan yang berarti.

Menurut SNI 1729-2020 tentang Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, sifat-sifat mekanis baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

a. Modulus elastisitas : E = 200000 MPa
b. Modulus geser : G = 80000 MPa
c. Nisbah *poisson* : μ = 0,3
d. Koefisien pemuaian : α = 12 x 10-6 /o

Baja struktur dapat dibuat menjadi berbagai bentuk dan ukuran tanpa banyak merubah sifat fisiknya. Pada umumnya yang diinginkan dari suatu elemen adalah momen inersia yang besar selain luasnya. Termasuk didalamnya adalah bentuk *I*, *T*, dan *C*. *(Tampubolon, 2021).*



Gambar 2.16 Bentuk Profil Baja

Sumber: (Tampubolon, 2021)

Perencanaan berdasarkan batas layan (PBL) dilakukan untuk mengantisipasi suatu kondisi batas layan, antara lain *(Badan Standardisasi Nasional, 2005)* :

a. Tegangan kerja dari suatu komponen struktur jembatan, yang melampaui nilai tegangan yang diijinkan, sehingga berpotensi mengakibatkan kelelehan pada komponen baja.
b. Deformasi permanen dari komponen struktur jembatan, yang melampaui nilai deformasi ijinnya, atau hal-hal lain yang menyebabkan jembatan tidak layak pakai pada kondisi layan, atau hal-hal yang menyebabkan kekhawatiran umum terhadap keamanan jembatan pada kondisi layan akibat beban kerja.
c. Vibrasi yang terjadi sehingga menimbulkan instabilitas atau kekhawatiran structural lainnya terhadap keamanan jembatan pada kondisi layan.
d. Bahaya permanen termasuk korosi dan fatik yang mengurangi kekuatan struktur dan umur layan jembatan.
e. Bahaya banjir di daerah sekitar jembatan

2.7 *Software* Pendukung

AutoCAD adalah salah satu aplikasi yang mendukung pembuatan gambar dan objek lainnya dalam tampilan 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D). Dengan memberi sentuhan gambar dengan tampilan 2D atau 3D dalam bahan presentasi akan menjadi menarik dan tidak membosankan bagi audiens.

SAP2000 merupakan *software* yang digunakan untuk menganalisis struktur suatu bangunan baik secara linear atau non-linear dan statis atau dinamis. Program ini merupakan hasil penelitian dan pengembangan tim yang dipimpin Profesor Edward L. Wilson dari *University of California* selama lebih dari 25 tahun *(Nur Sholeh, 2021).*

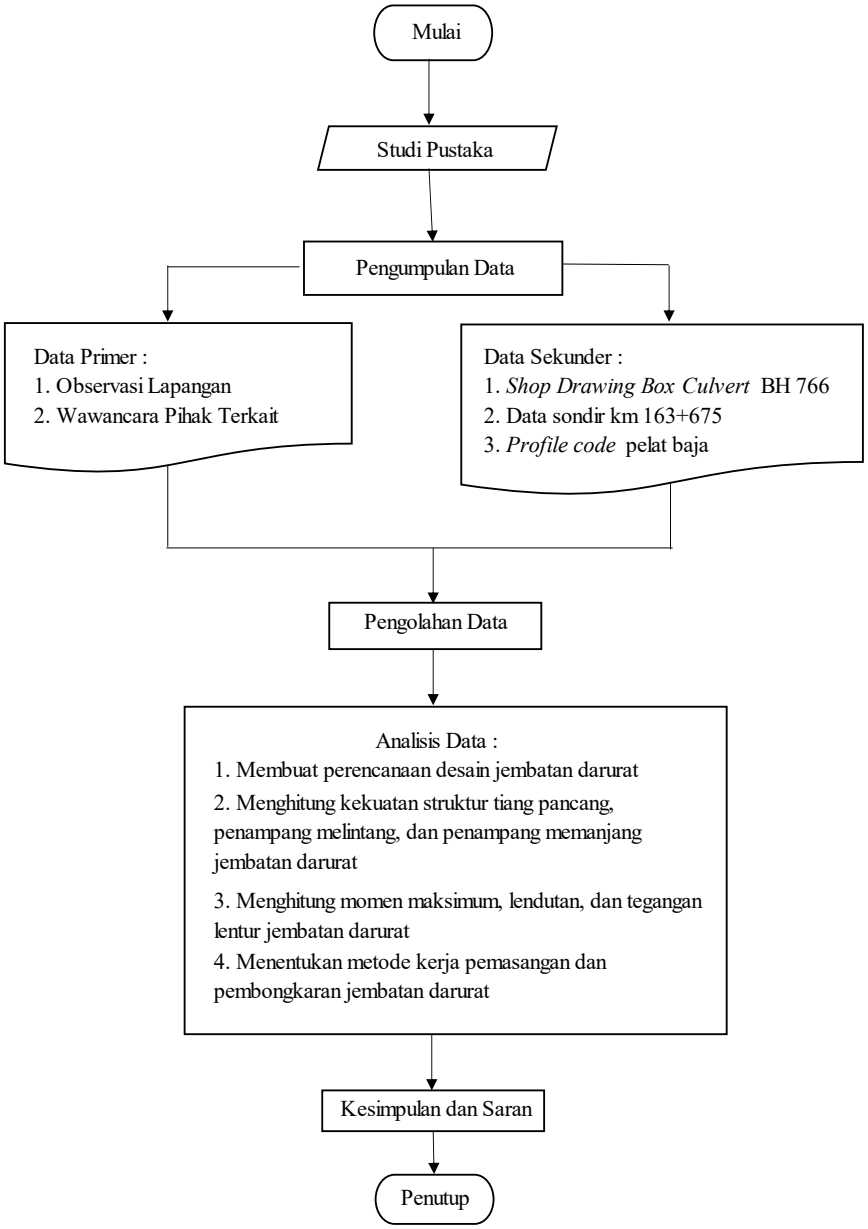
Software ini digunakan untuk membuat pemodelan jembatan, meng-*input* beban jembatan, serta menganalisis kekuatan struktur jembatan secara akurat. Analisis yang digunakan dalam penggunaan *software* antara lain:

1. *Input* data material dan profil
2. Pemodelan struktur
3. *Input* kondisi perletakan struktur
4. *Input* pembebanan struktur
5. Analisis struktur berupa gaya pada reaksi perletakan, momen maksimum, dan lendutan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Pada penelitian ini dibuat diagram alir penelitian yang dilakukan secara sistematis dengan langkah-langkah sebagai berikut:



Tabel 3.1 Diagram Alir
Sumber : Hasil Analisa

3.2 Metode Pengumpulan Data

Penulis melakukan pengumpulan data untuk memperoleh data yang diperlukan guna mencapai tujuan dalam penelitian.

3.2.1 Data Primer

Data primer yang penulis dapatkan secara langsung di lapangan, antara lain:

1. Survei lapangan untuk mengetahui kondisi di lapangan serta mendapatkan data aktual BH 766.
2. Wawancara dengan pihak kontraktor dan konsultan untuk mendapatkan data teknis lapangan.
3. Pengambilan dokumentasi saat survey.

3.2.2 Data Sekunder

Data Sekunder yang penulis dapatkan dari konsultan maupun melalui wawancara, antara lain:

1. *Shop drawing Box Culvert* BH 766;
2. Data sondir km 163+675;
3. *Profile code* pelat baja;

3.3 Objek Penelitian

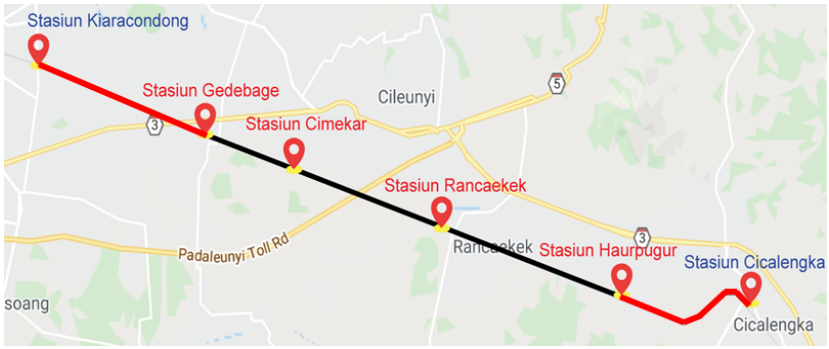
3.3.1. Gambaran Umum Proyek Penelitian

Objek penelitian merupakan suatu hal yang menjadi sasaran dalam sebuah penelitian, dalam menentukan sebuah objek penelitian ada beberapa hal yang dapat dijadikan pertimbangan, diantaranya adalah data-data yang dibutuhkan dalam sebuah penelitian tersebut dipastikan dapat diperoleh dengan mudah atau proyek tersebut mempunyai suatu kasus yang dapat dijadikan sebagai bahan penelitian

Objek yang digunakan adalah proyek Pembangunan *Box Culvert* BH 766 pada kegiatan pengembangan perkeretaapian wilayah Kiaracondong-Cicalengka dengan data proyek sebagai berikut :

Nama Pekerjaan	:	Pembangunan Jalur Ganda KA Km 163+150 s/d 164+500 Antara Kiaracondong-Cicalengka Tahap II Segmen Kiaracondong-Gedebage dan Segmen Haurpugur-Cicalengka
Lokasi Pekerjaan	:	Km 163+150 s/d 164+500 Antara Kiaracondong-Cicalengka (Kecamatan Kiaracondong, Kota Bandung)
Nilai Pagu	:	Rp 55.000.000.000,-
Waktu Pelaksanaan	:	365 Hari
Kontraktor Pelaksana	:	PT. Modern Surya Jaya

Pada proses pekerjaan Pembangunan jalur ganda KA segmen Kiaracondong-Cicalengka terdapat beberapa kendala dalam Pembangunan tersebut, salah satunya adalah Pembangunan *Box Culvert* BH 766 segmen Kiaracondong-Gedebage. Pembangunan jalur ganda KA yang berlokasi di kecamatan Antapani, Kota Bandung tersebut mengalami keterlambatan dengan jadwal pelaksanaan dikarenakan untuk melakukan Pembangunan *Box Culvert* BH 766 perlu adanya penutupan jalur sehingga mengganggu operasional kereta Jarak Jauh maupun lokal yang melewati jalur Kiaracondong - Gedebage. Maka dari kasus tersebut penulis melakukan studi kasus menggunakan jembatan darurat menggunakan baja sehingga tidak memerlukan tutup jalur untuk melakukan Pembangunan *Box Culvert* tersebut.

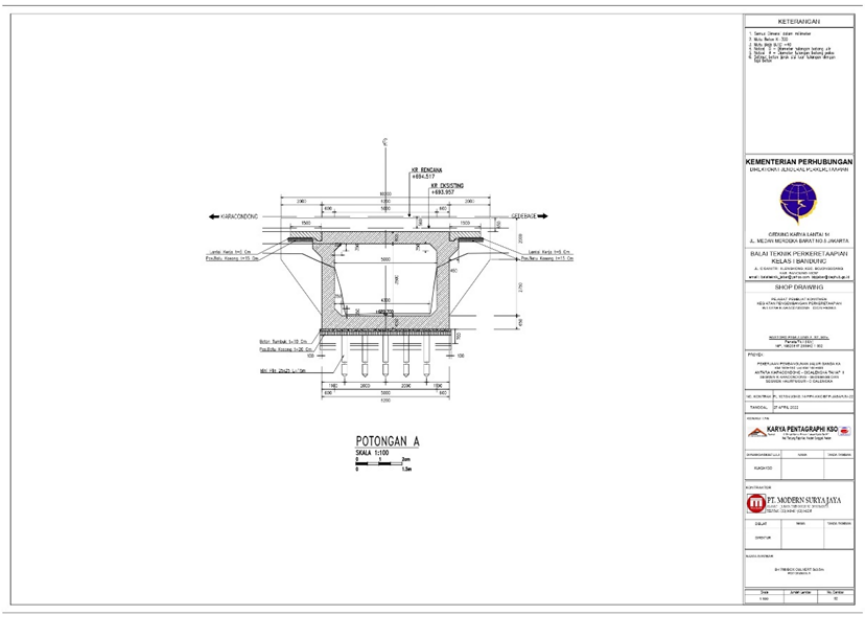


Gambar 3.1 Lokasi Pembangunan Jalur Ganda KA Kiaracondong-Cicalengka

Sumber: Kementerian Perhubungan, 2022

3.3.2. Data Proyek

Shopdrawing merupakan gambar rencana yang dibuat oleh kontraktor pelaksana dengan dimensi sedetail detailnya yang akan menjadi acuan pelaksanaan Pembangunan yang akan disetujui oleh konsultan dan owner proyek.



Gambar 3. 2 *Shopdrawing* BH 766 *Box Culvert*
Sumber: Kementerian Perhubungan, 2022

3.4. Metode Pengolahan Data

Penulis meninjau secara langsung pembangunan BH 766 pada km 163+550 dan melakukan pengukuran serta pengumpulan data yang diperlukan. Selanjutnya melakukan pengolahan data dengan tahap-tahap sebagai berikut:

1. Data primer dengan meninjau lokasi BH 766 pada km 163+550, serta melakukan wawancara kepada kontraktor dari PT. Modern Surya Jaya.
2. Data sekunder *shop drawing Box Culvert* BH pada km 163+550 diolah untuk menentukan desain jembatan darurat.
3. Data sekunder *profile code* pelat baja untuk diaplikasikan pada perhitungan kekuatan struktur jembatan darurat beserta analisis momen, lendutan, dan tegangan lentur jembatan.

3.5. Metode Analisis Data

Beberapa tahapan yang dilakukan penulis dalam proses analisis data adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan desain jembatan darurat dengan *Autocad 2018;*
2. Menghitung kekuatan struktur penampang melintang, penampang memanjang, dan konstruksi penyangga jembatan darurat baru secara manual dengan kontrol lendutan dan tegangan lentur serta daya dukung tiang pancang;
3. Menghitung momen maksimum, lendutan, dan tegangan lentur menggunakan *Software SAP2000* sebagai kontrol keamanan desain jembatan serta sebagai data pembanding;
4. Menentukan metode kerja pemasangan dan pembongkaran jembatan darurat pada BH 766 km 163+550.

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Desain Jembatan Darurat

BH 766 merupakan jembatan yang memiliki saluran drainase yang memotong jalan kereta api di km 163+550. BH ini akan dibangun serta dilakukan penambahan dimensi dari kondisi eksisting seiring dengan pembangunan *double track* pada titik lokasi tersebut. Dalam proses pembangunan, diperlukan perencanaan jembatan darurat pada pembangunan BH 766 pada km 163+550 menggunakan konstruksi *box culvert* yang dibuat secara *temporary* untuk menghubungkan jalur yang terpisah akibat galian pada pembangunan konstruksi *box culvert*, sekaligus memastikan agar sarana kereta api tetap dapat beroperasi melewati jalur tersebut dengan aman.

Gambar 4.1 Kondisi Eksisting BH 766
Sumber : Dokumentasi Lapangan

4.1.1 Material Profil Jembatan Darurat

Perhitungan beban jembatan darurat yang lama meliputi analisis komponen jembatan darurat dan perhitungan pembebanan sebagai berikut:

1. Data Jembatan Darurat

a. Gelagar Utama

1) Panjang gelagar utama = 11,8 m

2) Mutu baja = BJ 37
3) Kuat leleh baja *(fy)* = 240 MPa
4) Kuat putus baja *(fu)* = 370 MPa
5) Modulus elastisitas *(E)* = 200000 MPa
6) Dimensi Profil = *WF* 800x470x45x70
   a) A = 955,0 cm^2
   b) W = 749,675 kg/m
   c) H = 800 mm
   d) bf = 470 mm
   e) tf = 50 mm
   f) tw = 30 mm
   g) Ix = 1247486,8 cm^4
   h) ωx = Ix × (½ H)
      = 31187,2 cm^3

b. Pemikul 1 Melintang
1) Panjang gelagar memanjang = 5 m
2) Mutu baja = BJ 37
3) Kuat leleh baja *(fy)* = 240 MPa
4) Kuat putus baja *(fu)* = 370 MPa
5) Modulus elastisitas *(E)* = 200000 MPa
6) Dimensi Profil = *H-beam* 400x400x30x50
   a) A = 528,6 cm^2
   b) W = 415 kg/m
   c) H = 400 mm
   d) bf = 400 mm
   e) tf = 50 mm
   f) tw = 30 mm
   g) Ix = 187000 cm^4
   h) ωx = 9350 cm^3

c. Pemikul 2 Memanjang
1) Panjang gelagar memanjang = 1 m

2) Mutu baja = BJ 37
3) Kuat leleh baja *(fy)* = 240 MPa
4) Kuat putus baja *(fu)* = 370 MPa
5) Modulus elastisitas *(E)* = 200000 MPa
6) Dimensi Profil = *H-beam* 400x400x18x18
   a) A = 214,4 cm^2
   b) W = 168 kg/m
   c) H = 400 mm
   d) bf = 400 mm
   e) tf = 18 mm
   f) tw = 18 mm
   g) Ix = 59700 cm^4
   h) ωx = 2985 cm^3

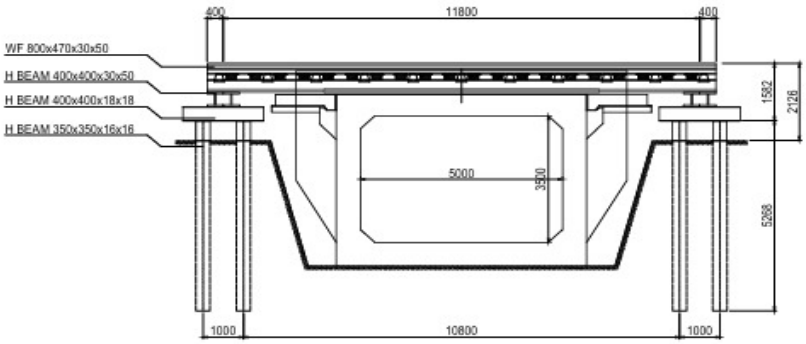
d. Konstruksi Penyangga

Konstruksi penyangga pada jembatan darurat BH 766 menggunakan konstruksi tiang pancang.

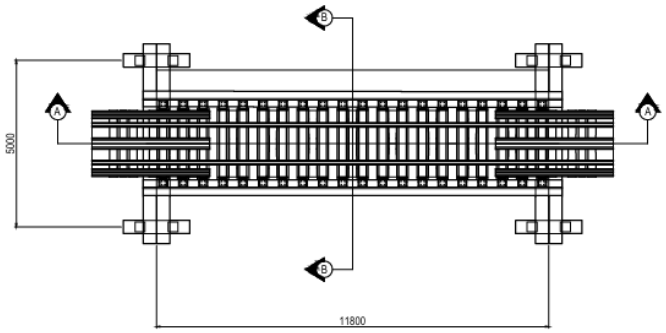
1) Panjang tiang pancang = 5,25 m
2) Mutu baja = BJ 37
3) Kuat leleh baja *(fy)* = 240 MPa
4) Kuat putus baja *(fu)* = 370 MPa
5) Modulus elastisitas *(E)* = 200000 MPa
6) Dimensi Profil = *H-beam* 350x350x16x16
   a) A = 166,6 cm^2
   b) W = 131 kg/m
   c) H = 350 mm
   d) bf = 350 mm
   e) tf = 16 mm
   f) tw = 16 mm
   g) Ix = 35300 cm^4
   h) ωx = 2050 cm^3

4.1.2 Desain Jembatan Darurat

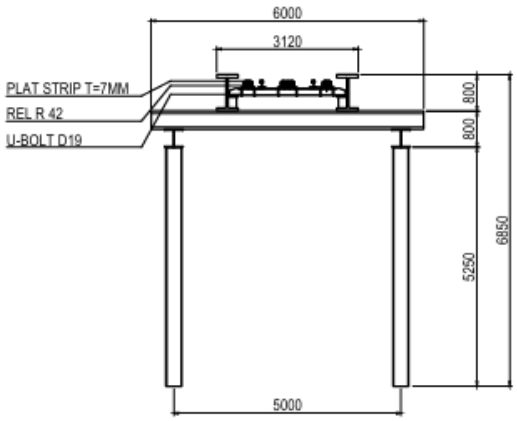
Desain jembatan darurat yang direncanakan pada pembangunan BH 766 memiliki dimensi panjang bentang 11,8 m dan lebar 5 m pada gelagar utama dan memiliki elevasi ketinggian jalan rel yang disesuaikan dengan rencana jalur baru, yaitu 694,517 m di atas permukaan tanah dengan desain sebagai berikut.



Gambar 4.2 Desain Jembatan Darurat BH 766 Tampak Depan
Sumber : Hasil Analisa



Gambar 4.3 Desain Jembatan Darurat BH 766 Tampak Atas
Sumber : Hasil Analisa



Gambar 4.4 Desain Jembatan Darurat BH 766 Tampak Samping
Sumber : Hasil Analisa

4.2 Perencanaan Struktur Jembatan Darurat BH 766

Jembatan darurat pada BH 766 dengan bentang 11,8 m perlu dilakukan perhitungan kontrol lendutan dan tegangan lentur agar dapat digunakan dengan aman menggunakan pembebanan kombinasi berdasarkan Peraturan Direktorat Jenderal Perkeretaapian tahun 2006 *(Departemen Perhubungan, 2006).*

4.2.1. Perhitungan Beban Jembatan Darurat

Perhitungan beban jembatan darurat yang lama meliputi analisis komponen jembatan darurat dan perhitungan pembebanan sebagai berikut:

1. Pembebanan Gelagar Utama

a. Beban Mati

Jenis beban mati yang terdapat pada jembatan darurat sebagai berikut:

Tabel 4.1 Beban Mati Tambahan Jembatan Darurat BH 766 Baru

No.	Jenis Beban	Berat	Volume (buah)	Berat per Meter (kg)
1.	Rel *R54*	54 kg/m	2	108
2.	Bantalan kayu	97 kg	2	194
3.	Bantalan beton	200 kg	1	200
4.	Paku	0,334 kg	16	5,34
5.	Terpon	0,5 kg	8	4
6.	Penambat *E-Clip*	0,75 kg	8	6
7.	Rel bendel	42 kg	3,729	156,610
8.	Pelat landas *Pandrol*	6 kg	4	24

Sumber : Hasil Analisa

Berat total sepur per meter = 697,954 kg/m

Berat pada 1 gelagar = 348,977 kg/m

= 0,35 t/m

Jenis Beban : Profil = 0,750 t/m

Sepur = 0,35 t/m

qd = 0,73 + 0,35 = 1,10 t/m

b. Beban Hidup

Pembebanan hidup jembatan darurat menggunakan skema pembebanan Rencana Muatan 1921 sesuai dengan PM Nomor 60 Tahun 2012 dengan 7 beban gandar. Masing-masing gandar memiliki beban sebesar 15 ton.

1) Beban di Tengah Jembatan

Pembebanan di tengah jembatan dengan 1 gelagar, sehingga beban yang digunakan merupakan setengah dari beban gandar. Perhitungan beban gandar pada 1 gelagar (P) di tengah jembatan sebagai beban hidup menggunakan persamaan dari Rumus 2.1, yaitu:

P_{tengah} = ½ x beban gandar

P_{tengah} = ½ x 15 t

P_{tengah} = 7,5 ton

2) Beban di Pinggir Jembatan

Pembebanan di pinggir jembatan dengan 1 gelagar, sehingga beban yang digunakan merupakan setengah dari beban gandar. Perhitungan beban gandar pada 1 gelagar (P) di pinggir jembatan sebagai beban hidup menggunakan persamaan dari Rumus 2.1, yaitu:

P_{ujung} = ½ x beban gandar

P_{ujung} = ½ x 15 t

P_{ujung} = 7,5 ton

c. Beban Kejut

Pembebanan pada beban kejut menggunakan jenis jembatan tanpa balas atau rel perletakan kayu berdasarkan persamaan pada Rumus 2.3 dengan nilai koefisien faktor beban kejut (i) adalah sebagai berikut:

$$i = 0{,}2 + \frac{25}{50 + L}$$

$$i = 0{,}2 + \frac{25}{50 + 11{,}8}$$

$$i = 0{,}605 \text{ ton}$$

Mencari beban kereta (*Pt*) berdasarkan beban gandar dan jarak antar ujung gandar sesuai dengan model muatan pada Rencana Muatan 1921 yang digunakan, yaitu:

$$Pt = \frac{\Sigma P}{\Sigma L}$$

$$Pt = \frac{105}{7{,}2}$$

Pt = 14,58 ton/m

Mencari nilai beban kejut (*k*) berdasarkan dengan mengalikan koefisien faktor beban kejut (*i*) dan beban kereta (*Pt*), yaitu:

$k = i \times Pt$

k = 0,605 x 14,58

k = 8,816 t

d. Beban Lateral

Berdasarkan PM Nomor 60 Tahun 2012, besaran beban lateral (*BL*) adalah sebesar 15% hingga 20% dari beban gandar dengan perhitungan sebagai berikut:

$BL = ½\ P$ x 20%

BL = ½ 15 x 20%

BL = 1,5 t

e. Beban Pengereman & Traksi

Berdasarkan PM Nomor 60 Tahun 2012, besaran beban pengereman dan traksi (Q_{rem}) adalah sebesar 25% dari beban kereta (*Pt*), serta bekerja ke arah longitudinal dengan perhitungan sebagai berikut:

$Q_{rem} = Pt$ x 25%

Q_{rem} = 14,58 x 25%

Q_{rem} = 3,65 ton/m

f. Beban Rel Panjang Longitudinal (LF)

Berdasarkan PM Nomor 60 Tahun 2012, beban rel panjang longitudinal memiliki besar 10 kN/m dan maksimum 2000 kN/m. Maka, beban rel panjang longitudinal (*LF*) adalah sebagai berikut:

LF = 10 kN/m

LF = 1 ton/m

g. Beban Angin

Beban angin terdiri dari beban angin tanpa kereta dan beban angin dengan kereta yang bekerja ke arah struktur dengan rincian sebagai berikut:

Beban angin tanpa kereta (QW_1) = 3 kN/m^2

Beban angin dengan kereta (QW_2) = 1,5 kN/m^2

Mencari beban angin total pada struktur tanpa kereta (W_1) dengan persamaan Rumus 2.6 adalah sebagai berikut:

W_1 = QW_1 x A

W_1 = 3 x (11,8 x 2,65)

W_1 = 93,8 kN

W_1 = 9,38 ton

Mencari beban angin total pada struktur dengan kereta (W_2) dengan persamaan Rumus 2.7 adalah sebagai berikut:

W_2 = QW_2 x A

W_2 = 1,5 x (11,8 x 2,65)

W_2 = 46,9 kN

W_2 = 4,69 ton

h. Beban Gempa

Perhitungan beban gempa berdasarkan SNI 2833:2016 dengan variabel data diambil dari situs Desain Spektra Indonesia milik Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum dengan meng-*input* titik lokasi Bandung. Lokasi ini digolongkan dalam zona gempa 3 dengan situs tanah sedang (SD), maka didapatkan data sebagai berikut:

Percepatan puncak di batuan dasar (PGA)

PGA= 0.5194 g

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

S_s = 1.1822 g

Respon spektra percepatan 1 detik di batuan dasar (S_1)

S_1 = 0.5101 g

Periode Panjang (TL)

TL = 6 s

T0 (s)	Ts (s)	Sds (g)	Sd1 (g)
0.08	0.38	0.71	0.27

Mencari nilai periode fundamental alami (T) beban gempa menggunakan persamaan pada Rumus 2.9 adalah sebagai berikut:

$T = C_T \text{ x } H^x$

$T = 0{,}0488 \text{ x } 2{,}16^{0{,}75}$

$T = 0{,}087$ s

Mencari koefisien percepatan puncak muka tanah (A_S) menggunakan persamaan pada Rumus 2.12 adalah sebagai berikut:

$A_S = F_{PGA} \text{ x } PGA$

$A_S = 1{,}0 \text{ x } 0{,}5194$

$A_S = 0{,}5194$

Untuk periode lebih kecil dari T_0, koefisien respon gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dengan persamaan Rumus 2.10 adalah sebagai berikut:

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

$$C_{sm} = (0{,}71 - 0{,}5194) \text{ x } \frac{0{,}087}{0{,}08} + 0{,}5194$$

$C_{sm} = 0{,}7266$

Maka didapatkan nilai beban gempa (EQ) menggunakan persamaan pada Rumus 2.8 dengan perhitungan sebagai berikut:

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R} \text{ x } W_t$$

$$EQ = \frac{0{,}7266}{0{,}8} \text{ x } 8643{,}5 \text{ kg}$$

$EQ = 7849{,}800$ kg

$EQ = 7{,}85$ ton

4.2.2. Perhitungan Momen Jembatan Darurat

1. Momen Gelagar Utama

Mencari nilai beban hidup (ΣP) dengan menjumlahkan beban gandar (P) dan beban kejut (k) yang terletak pada 1 gelagar adalah sebagai berikut:

$\Sigma P = P + ½\, k$

ΣP = 7,5 ton + ½ 8,816 ton

ΣP = 11,91 ton

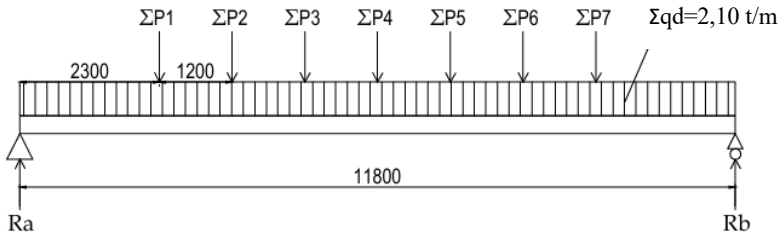
Mencari nilai total beban mati pada gelagar secara merata (Σqd) pada 1 gelagar dengan menjumlahkan berat gelagar (qd) dengan beban panjang rel longitudinal (LF) adalah sebagai berikut:

$\Sigma qd = qd + LF$

Σqd = 1,10 ton/m + 1 ton/m

Σqd = 2,10 ton/m

a. Momen di Tengah Jembatan



$\Sigma MA = 0$

$$Rb = \left\{ \frac{\Sigma P \text{ x } (L_{P1}+L_{P2}+L_{P3}+L_{P4}+L_{P5}+L_{P6}+L_{P7})}{\Sigma L} \right\} + \left\{ \frac{\Sigma qd \text{ x } \Sigma L \text{ x } ½\Sigma L}{\Sigma L} \right\}$$

$$Rb = \left\{ \frac{11{,}91 \text{ ton x } (2{,}3 \text{ m}+3{,}5 \text{ m}+4{,}7 \text{ m}+5{,}9 \text{ m}+7{,}1 \text{ m}+8{,}3 \text{ m}+9{,}5 \text{ m})}{11{,}8 \text{ m}} \right\} + \left\{ \frac{2{,}1 \text{ ton/m x } 11{,}8 \text{ m x } 5{,}9 \text{ m}}{11{,}8 \text{ m}} \right\}$$

$$Rb = \frac{638{,}085 \text{ ton.m}}{11{,}8 \text{ m}}$$

Rb = 54,060 ton

$\Sigma MB = 0$

$$Ra = \left\{ \frac{\Sigma P \text{ x } (L_{P7}+L_{P6}+L_{P5}+L_{P4}+L_{P3}+L_{P2}+L_{P1})}{\Sigma L} \right\} + \left\{ \frac{\Sigma qd \text{ x } \Sigma L \text{ x } ½\Sigma L}{\Sigma L} \right\}$$

$$Ra = \left\{ \frac{11{,}91 \text{ ton x } (2{,}3 \text{ m}+3{,}5 \text{ m}+4{,}7 \text{ m}+5{,}9 \text{ m}+7{,}1 \text{ m}+8{,}3 \text{ m}+9{,}5 \text{ m})}{11{,}8 \text{ m}} \right\} + \left\{ \frac{2{,}10 \text{ ton/m x } 11{,}8 \text{ m x } 5{,}9 \text{ m}}{11{,}8 \text{ m}} \right\}$$

$$Ra = \frac{630{,}085 \text{ ton.m}}{11{,}8 \text{ m}}$$

Ra = 54,060 ton

Mencari letak titik X momen maksimum gelagar berdasarkan persamaan pada Rumus 2.20, yaitu:

$Ra = Rb = ½ \text{ x } qd \text{ x } L$

$M_X = Ra \text{ x } X - qd \text{ x } X \text{ x } ½ \text{ x } X$

$M_X = ½ \text{ x } qd \text{ x } L \text{ x } X - qd \text{ x } X \text{ x } ½ \text{ x } X$

$\frac{M_X}{DM_x} = ½\, qd\, L\, X - ½\, qd\, X^2$

$0 = ½\, qd\, L - qd\, X$

$qd\, X = ½\, qd\, L$

$X = ½\, L \frac{qd}{qd}$

$X = ½\, L$

Mencari nilai momen maksimum (M_{maks}) menggunakan persamaan pada Rumus 2.19. Penentuan momen maksimum dengan menghitung momen pada masing-masing titik beban gandar yang berada di tengah bentang jembatan dengan perhitungan sebagai berikut:

$M_3 = (Ra \text{ x } L_{Ra,P3})-(P1 \text{ x } L_{P1,3})-(P2 \text{ x } L_{P2,3})-(½\, L_{P3} \text{ x } qd \text{ x } L_{P3})$

M_3 = (54,060 ton x 4,7 m)-(11,91 ton x 2,4 m)-(11,91 ton x 1,2 m) -(½ 4,7 m x 2,10 ton/m x 4,7 m)

M_3 = 188,034 ton.m

M_4 = (Ra x $L_{Ra,P4}$)-($P1$ x $L_{P1,4}$)-($P2$ x $L_{P2,4}$)-($P3$ x $L_{P3,4}$)-
(½ L_{P4} x qd x L_{P4})

M_4 = (54,060 ton x 5,9 m)-(11,91 ton x 3,6 m)-(11,91 ton x 2,4 m)
-(11,91 ton x 1,2 m)-(½ 5,9 m x 2,10 ton/m x 5,9 m)

M_4 = **196,690 ton.m**

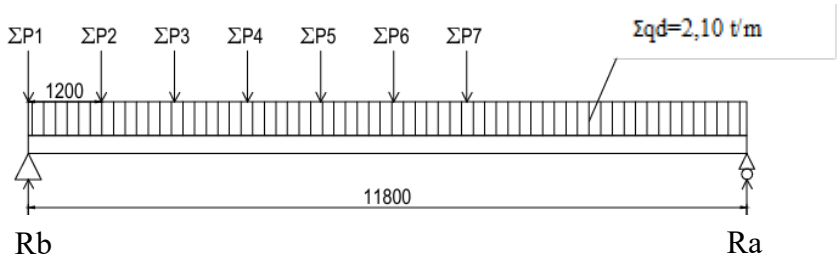
M_5 = (Ra x $L_{Ra,P5}$)-($P1$ x $L_{P1,5}$)-($P2$ x $L_{P2,5}$)-($P3$ x $L_{P3,5}$)-
($P4$ x $L_{P4,5}$)-(½ L_{P5} x qd x L_{P5})

M_5 = (54,060 ton x 7,1 m)-(11,91 ton x 4,8 m)-(11,91 ton x 3,6 m)
-(11,91 ton x 2,4 m)-(11,91 ton x 1,2 m)-
(½ 7,1 m x 2,10 ton/m x 7,1 m)

M_5 = 188,034 ton.m

$\boldsymbol{M_{maks}}$ **= 196,690 ton.m**

b. Momen di Pinggir Jembatan



$\Sigma MA = 0$

$$Rb = \left\{ \frac{\Sigma P \text{ x } (L_{P7}+L_{P6}+L_{P5}+L_{P4}+L_{P3}+L_{P2})}{\Sigma L} \right\} + \left\{ \frac{\Sigma qd \text{ x } \Sigma L \text{ x } ½\Sigma L}{\Sigma L} \right\}$$

$$Rb = \left\{ \frac{11{,}91 \text{ ton x } (7{,}2 \text{ m}+6 \text{ m}+4{,}8 \text{ m}+3{,}6 \text{ m}+2{,}4 \text{ m}+1{,}2 \text{ m})}{11{,}8 \text{ m}} \right\}$$

$$+ \left\{ \frac{2{,}10 \text{ ton/m x } 11{,}8 \text{ m x } 5{,}9 \text{ m}}{11{,}8 \text{ m}} \right\}$$

$$Rb = \frac{446{,}492 \text{ ton.m}}{11{,}8 \text{ m}}$$

Rb = 37,813 ton

$\Sigma MB = 0$

$$Ra = \left\{ \frac{\Sigma P \text{ x } (L_{P1}+L_{P2}+L_{P3}+L_{P4}+L_{P5}+L_{P6}+L_{P7})}{\Sigma L} \right\}$$

$$\left\{ \frac{\Sigma qd \text{ x } \Sigma L \text{ x } ½\Sigma L}{\Sigma L} \right\}$$

$$Ra = \left\{ \frac{11{,}91 \text{ ton x } (11{,}8 \text{ m}+10{,}6 \text{ m}+9{,}4 \text{ m}+8{,}2 \text{ m}+7 \text{ m}+5{,}8 \text{ m}+4{,}6 \text{ m})}{11{,}8 \text{ m}} \right\}$$

$$+ \left\{ \frac{2{,}10 \text{ ton/m x } 11{,}8 \text{ m x } 5{,}9 \text{ m}}{11{,}8 \text{ m}} \right\}$$

$$Ra = \frac{829{,}932 \text{ ton.m}}{11{,}8 \text{ m}}$$

Ra = 70,308 ton

Mencari letak titik X momen maksimum gelagar berdasarkan persamaan pada Rumus 2.20, yaitu:

$Ra = Rb = ½ \text{ x } qd \text{ x } L$

$M_X = Ra \text{ x } X - qd \text{ x } X \text{ x } ½ \text{ x } X$

$M_X = ½ \text{ x } qd \text{ x } L \text{ x } X - qd \text{ x } X \text{ x } ½ \text{ x } X$

$$\frac{M_X}{dM_X} = ½\, qd\, L\, X - ½\, qd\, X^2$$

$0 = ½\, qd\, L - qd\, X$

$qd\, X = ½\, qd\, L$

$$X = ½\, L \frac{qd}{qd}$$

$X = ½\, L$

Mencari nilai momen maksimum (M_{maks}) menggunakan persamaan pada Rumus 2.19. Penentuan momen maksimum dengan menghitung momen pada masing-masing titik beban gandar yang berada di ujung bentang jembatan dengan perhitungan sebagai berikut

$M_{P2} = (Ra \text{ x } L_{Ra,P2})-(\Sigma P1 \text{ x } L_{P1,2})-(½\, L_{P2} \text{ x } qd \text{ x } L_{P2})$

M_{P2} = (70,308 ton x 1,2 m)-(11,91 ton x 1,2 m)-
(½ 1,2 m x 2,10 ton/m x 1,2 m)

M_{P2} = 68,568 ton.m

M_{P4} = (Ra x $L_{Ra,P4}$)-($\Sigma P1$ x $L_{P1,4}$)-($\Sigma P2$ x $L_{P2,4}$)-($\Sigma P3$ x $L_{P3,4}$)-
(½ L_{P4} x qd x L_{P4})

M_{P4} = (70,308 ton x 3,6 m)-(11,91 ton x 3,6 m)-(11,91 ton x 2,4 m)-
(11,91 ton x 1,2 m)-(½ 3,6 m x 2,10 ton/m x 3,6 m)

M_{P4} = 153,770 ton.m

M_{P5} = (Ra x $L_{Ra,P5}$)-($\Sigma P1$ x $L_{P1,5}$)-($\Sigma P2$ x $L_{P2,5}$)-($\Sigma P3$ x $L_{P3,5}$)-
($\Sigma P4$ x $L_{P4,5}$)-(½ L_{P5} x qd x L_{P5})

M_{P5} = (70,308 ton x 4,8 m)-(11,91 ton x 4,8 m)-(11,91 ton x 3,6 m)
-(11,91 ton x 2,4 m)-(11,91 ton x 1,2 m)-
(½ 4,8 m x 2,10 ton/m x 4,8 m)

M_{P5} = **170,403 ton.m**

M_{P6} = (Ra x $L_{Ra,P6}$)-($\Sigma P1$ x $L_{P1,6}$)-($\Sigma P2$ x $L_{P2,6}$)-($\Sigma P3$ x $L_{P3,6}$)-
($\Sigma P4$ x $L_{P4,6}$)-($\Sigma P5$ x $L_{P5,6}$)-(½ L_6 x qd x L_6)

M_{P6} = (70,308 ton x 6 m)-(11,91 ton x 6 m)-(11,91 ton x 4,8 m)-
(11,91 ton x 3,6 m)-(11,91 ton x 2,4 m)- (11,91 ton x 1,2 m)
-(½ 6 m x 2,10 ton/m x 6 m)

M_{P6} = 169,725 ton.m

M_{P7} = (Ra x $L_{Ra,P7}$)-($\Sigma P1$ x $L_{P1,7}$)-($\Sigma P2$ x $L_{P2,7}$)-(ΣP3 x $L_{P3,7}$)-
($\Sigma P4$ x $L_{P4,7}$)-($\Sigma P5$ x $L_{P5,7}$)-($\Sigma P6$ x $L_{P6,7}$)-(½ L_7 x qd x L_7)

M_{P7} = (70,308 ton x 7,2 m)-(11,91 ton x 7,2 m)-(11,91 ton x 6 m)-
(11,91 ton x 4,8 m)-(11,91 ton x 3,6 m)-(11,91 ton x 2,4 m)
-(11,91 ton x 1,2 m)-(½ 7,2 m x 2,10 ton/m x 7,2 m)

M_{P7} = 151,735 ton.m

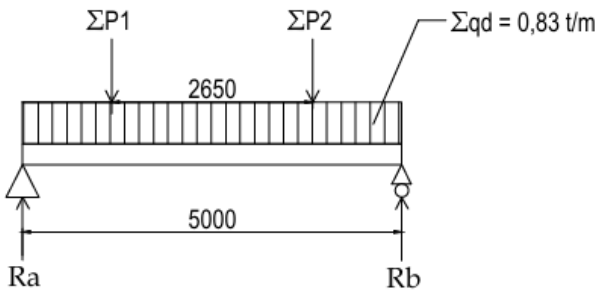
$\boldsymbol{M_{maks}}$ = **170,403 ton.m**

2. Pembebanan dan Momen Pemikul 1 Melintang

P = 70,308 ton

qd = 0,415 ton/m x 2

Σqd = 0,83 ton/m



$\Sigma MA = 0$

$$Rb = \left\{ \frac{P \text{ x } (L_{P1} + L_{P2})}{\Sigma L} \right\} + \left\{ \frac{qd \text{ x } \Sigma L \text{ x } ½\Sigma L}{\Sigma L} \right\}$$

$$Rb = \left\{ \frac{70{,}308 \text{ ton x } (1{,}175 \text{ m} + 3{,}825 \text{ m})}{5 \text{ m}} \right\} + \left\{ \frac{0{,}83 \text{ ton/m x } 5 \text{ m x } 2{,}5 \text{ m}}{5 \text{ m}} \right\}$$

$$Rb = \frac{361{,}915 \text{ ton.m}}{5 \text{ m}}$$

Rb = 72,382 ton

$\Sigma MB = 0$

$$Ra = \left\{ \frac{P \text{ x } (L_{P2} + L_{P1})}{\Sigma L} \right\} + \left\{ \frac{qd \text{ x } \Sigma L \text{ x } ½\Sigma L}{\Sigma L} \right\}$$

$$Ra = \left\{ \frac{70{,}308 \text{ ton x } (1{,}175 \text{ m} + 3{,}825 \text{ m})}{5 \text{ m}} \right\} + \left\{ \frac{0{,}83 \text{ ton/m x } 5 \text{ m x } 2{,}5 \text{ m}}{5 \text{ m}} \right\}$$

$$Ra = \frac{361{,}915 \text{ ton.m}}{5 \text{ m}}$$

Ra = 72,382 ton

Mencari letak titik X momen maksimum gelagar berdasarkan persamaan pada Rumus 2.20, yaitu:

$Ra = Rb = ½ \text{ x } qd \text{ x } L$

$M_X = Ra \text{ x } X - qd \text{ x } X \text{ x } ½ \text{ x } X$

$M_X = ½ \text{ x } qd \text{ x } L \text{ x } X - qd \text{ x } X \text{ x } ½ \text{ x } X$

$$\frac{M_X}{dM_X} = ½\, qd\, L\, X - ½\, qd\, X^2$$

$$0 = ½\, qd\, L - qd\, X$$

$$qd\, X = ½\, qd\, L$$

$$X = ½\, L \frac{qd}{qd}$$

$$X = ½\, L$$

Mencari nilai momen maksimum (M_{maks}) yang terletak pada setengah bentang atau titik C menggunakan persamaan pada Rumus 2.19 dengan perhitungan sebagai berikut:

M_C = (Ra x $L_{Ra,C}$)-($P1$ x $L_{P1,C}$)-(½ L_C x qd x L_C)

M_C = (72,382 ton x 2,5 m)-(70,308 ton x 1,325 m)-
(½ 2,5 m x 0,83 ton/m x 2,5 m)

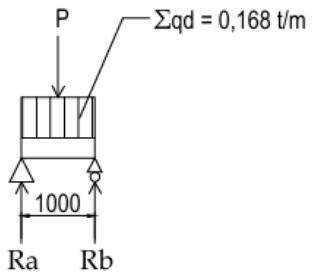
M_C = 85,205 ton.m

$\boldsymbol{M_{maks}}$ **= 85,205 ton.m**

3. Pembebanan dan Momen Pemikul 2 Memanjang

P = 72,382 ton

qd = 0,168 ton/m



$\Sigma MA = 0$

$$Rb = \left\{ \frac{P \text{ x } L_P}{\Sigma L} \right\} + \left\{ \frac{qd \text{ x } \Sigma L \text{ x } ½\Sigma L}{\Sigma L} \right\}$$

$$Rb = \left\{ \frac{72{,}382 \text{ ton x } 0{,}5 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right\} + \left\{ \frac{0{,}168 \text{ ton/m x } 1 \text{ m x } 0{,}5 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right\}$$

$$Rb = \frac{36{,}275 \text{ ton.m}}{1 \text{ m}}$$

Rb = 36,275 ton

$\Sigma MB = 0$

$$Ra = \left\{ \frac{P \text{ x } L_P}{\Sigma L} \right\} + \left\{ \frac{qd \text{ x } \Sigma L \text{ x } ½\Sigma L}{\Sigma L} \right\}$$

$$Ra = \left\{ \frac{72{,}382 \text{ ton x } 0{,}5 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right\} + \left\{ \frac{0{,}168 \text{ ton/m x } 1 \text{ m x } 0{,}5 \text{ m}}{1 \text{ m}} \right\}$$

$$Ra = \frac{36{,}275 \text{ ton.m}}{1 \text{ m}}$$

Ra = 36,275 ton

Mencari letak titik X momen maksimum gelagar berdasarkan persamaan pada Rumus 2.20, yaitu:

$Ra = Rb = ½ \text{ x } qd \text{ x } L$

$M_X = Ra \text{ x } X - qd \text{ x } X \text{ x } ½ \text{ x } X$

$M_X = ½ \text{ x } qd \text{ x } L \text{ x } X - qd \text{ x } X \text{ x } ½ \text{ x } X$

$\frac{M_X}{dM_X} = ½\, qd\, L\, X - ½\, qd\, X^2$

$0 = ½\, qd\, L - qd\, X$

$qd\, X = ½\, qd\, L$

$X = ½\, L \frac{qd}{qd}$

$X = ½\, L$

Mencari nilai momen maksimum (M_{maks}) yang terletak pada beban P menggunakan persamaan pada Rumus 2.19 dengan perhitungan sebagai berikut:

$M_P = (Ra \text{ x } L_P)\text{-}(½\, L_P \text{ x } qd \text{ x } L_P)$

M_P = (36,275 ton x 0,5 m)-(½ 0,5 m x 0,168 ton/m x 0,5 m)

M_P = 18,116 ton.m

$\boldsymbol{M_{maks}}$ **= 18,116 ton.m**

4.2.3. Perhitungan Lendutan dan Tegangan Lentur Jembatan Darurat

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, koefisien maksimum lendutan pada jembatan baja, serta tegangan lentur pada baja adalah sebagai berikut:

1. **Lendutan dan Tegangan Lentur pada Gelagar Utama**

a. Kontrol Lendutan

Lendutan ijin (f_{ijin}) pada gelagar utama dihitung menggunakan Rumus 2.16 berdasarkan koefisien lendutan maksimum pada jembatan baja sebagai berikut:

$$f_{ijin} = \frac{1}{700} \text{ x } L$$

$$f_{ijin} = \frac{1}{700} \text{ x } 1180 \text{ cm}$$

$$f_{ijin} = 1{,}69 \text{ cm}$$

Nilai lendutan jembatan (f) didapatkan dengan persamaan pada Rumus 2.15 yaitu:

$$f = \frac{5 \text{ x } M \text{ x } L^2}{48 \text{ x } E \text{ x } Ix}$$

$$f = \frac{5 \text{ x } 19669013 \text{ kg.cm x } (1200 \text{ cm})^2}{48 \text{ x } 2000000 \text{ kg/cm}^2 \text{ x } 1247486 \text{ cm}^4}$$

$$f = 1{,}143 \text{ cm}$$

Kontrol lendutan:

$$f_{ijin} > f$$

1,69 cm > 1,143 cm

Jadi, gelagar memiliki nilai lendutan lebih kecil daripada lendutan ijin, maka kontrol lendutan memenuhi.

b. Kontrol Tegangan Lentur

Tegangan lentur ijin ($\sigma ijin$) untuk Baja BJ 37 pada pemikul 1 melintang dihitung menggunakan Rumus 2.17 adalah sebagai berikut:

$$\sigma ijin = \frac{fy}{\gamma m}$$

$$\sigma ijin = \frac{240\ Mpa}{1{,}3}$$

$$\sigma ijin = 184{,}6\ Mpa$$

184,6 Mpa = $1{,}881 \text{ ton/cm}^2$

Nilai Tegangan lentur (σb) pada pemikul didapatkan dengan persamaan pada Rumus 2.18 yaitu

$$\sigma b = \frac{M}{\omega_x}$$

$$\sigma b = \frac{19669{,}013 \text{ ton.cm}}{31187{,}17 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma b = 0{,}631 \text{ ton/cm}^2$$

Kontrol tegangan lentur:

$\sigma b_{ijin} > \sigma b$

1,881 ton/cm^2 > 0,631 ton/cm^2

Jadi, gelagar memiliki nilai tegangan lentur lebih kecil daripada tegangan ijin, maka kontrol tegangan lentur memenuhi.

2. Lendutan dan Tegangan pada Pemikul 1 Melintang

a. Kontrol Lendutan

Lendutan ijin (f_{ijin}) pada pemikul 1 melintang dihitung menggunakan Rumus 2.16 adalah sebagai berikut:

$$f_{ijin} = \frac{1}{700} \text{ x } L$$

$$f_{ijin} = \frac{1}{700} \text{ x } 500 \text{ cm}$$

$$f_{ijin} = 0{,}71 \text{ cm}$$

Nilai lendutan (f) pada pemikul didapatkan dengan persamaan pada Rumus 2.15 yaitu

$$f = \frac{5 \text{ x } M \text{ x } L^2}{48 \text{ x } E \text{ x } Ix}$$

$$f = \frac{5 \text{ x } 8520516 \text{ kg.cm x } (500 \text{ cm})^2}{48 \text{ x } 2000000 \text{ kg/cm}^2 \text{ x } 187000 \text{ cm}^4}$$

$$f = 0{,}593 \text{ cm}$$

Kontrol lendutan:

$f_{ijin} > f$

0,71 cm > 0,593 cm

Jadi, pemikul 1 melintang memiliki nilai lendutan lebih kecil daripada lendutan ijin, maka kontrol lendutan memenuhi.

b. Kontrol Tegangan Lentur

Tegangan lentur ijin ($\sigma ijin$) untuk Baja BJ 37 pada pemikul 1 melintang dihitung menggunakan Rumus 2.17 adalah sebagai berikut:

$$\sigma ijin = \frac{fy}{\gamma m}$$

$$\sigma ijin = \frac{240\ Mpa}{1{,}3}$$

$$\sigma ijin = 184{,}6\ Mpa$$

184,6 Mpa = 1,881 ton/cm^2

Nilai Tegangan lentur (σb) pada pemikul didapatkan dengan persamaan pada Rumus 2.18 yaitu

$$\sigma b = \frac{M}{\omega_x}$$

$$\sigma b = \frac{8520{,}515 \text{ ton.cm}}{9350 \text{ cm}^3}$$

σb = 0,911 ton/cm^2

Kontrol tegangan lentur:

σ > σb

1,881 ton/cm^2 > 0,911 ton/cm^2

Jadi, pemikul 1 melintang memiliki nilai tegangan lentur lebih kecil daripada tegangan ijin, maka kontrol tegangan lentur memenuhi.

3. Lendutan dan Tegangan pada Pemikul 2 Memanjang

a. Kontrol Lendutan

Lendutan ijin (f_{ijin}) pada pemikul 2 memanjang dihitung menggunakan Rumus 2.16 adalah sebagai berikut:

$$f_{ijin} = \frac{1}{700} \text{ x } L$$

$$f_{ijin} = \frac{1}{700} \text{ x } 100 \text{ cm}$$

f_{ijin} = 0,14 cm

Nilai lendutan (f) pada pemikul didapatkan dengan persamaan pada Rumus 2.15 yaitu

$$f = \frac{5 \text{ x } M \text{ x } L^2}{48 \text{ x } E \text{ x } Ix}$$

$$f = \frac{5 \text{ x } 1811665 \text{ kg.cm x } (100 \text{ cm})^2}{48 \text{ x } 2000000 \text{ kg/cm}^2 \text{ x } 59700 \text{ cm}^4}$$

f = 0,0158 cm

Kontrol lendutan:

$f_{ijin} > f$

0,14 cm > 0,016 cm

Jadi, pemikul 2 memanjang memiliki nilai lendutan lebih kecil daripada lendutan ijin, maka kontrol lendutan memenuhi.

b. Kontrol Tegangan Lentur

Tegangan lentur ijin ($\sigma ijin$) untuk Baja BJ 37 pada pemikul 1 melintang dihitung menggunakan Rumus 2.17 adalah sebagai berikut:

$$\sigma ijin = \frac{fy}{\gamma m}$$

$$\sigma ijin = \frac{240\ Mpa}{1{,}3}$$

$\sigma ijin = 184{,}6\ Mpa$

184,6 Mpa = $1{,}881\ \text{ton/cm}^2$

Nilai Tegangan lentur (σb) pada pemikul didapatkan dengan persamaan pada Rumus 2.18 yaitu

$$\sigma b = \frac{M}{\omega_x}$$

$$\sigma b = \frac{1811{,}665 \text{ ton.cm}}{2985 \text{ cm}^3}$$

σb = 0,606 ton/cm^2

Kontrol tegangan lentur:

$\sigma b_{ijin} > \sigma b$

1,881 ton/cm^2 > 0,606 ton/cm^2

Jadi, pemikul 2 memanjang memiliki nilai tegangan lentur lebih kecil daripada tegangan ijin, maka kontrol tegangan lentur memenuhi.

4.2.4. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

Konstruksi penyangga jembatan darurat lama menggunakan konstruksi tiang pancang *H-beam* 350x350x16x16 dengan panjang 5,25 m. Perhitungan kekuatan konstruksi tiang pancang menggunakan rumus daya dukung tiang pancang berdasarkan data sondir (dapat dilihat di daftar lampiran 6) pada kedalaman 4 m yang diperoleh di lokasi sebagai berikut:

q_{cb} = 259 ton/m^2

q_{ca} = 158 ton/m^2

fs = 10 t/m^2

Pb = 26,2 ton

Ps = 26,04 ton

Ap = 0,01667 m^2

Cs = 1,885 m

Mencari nilai daya dukung ijin tiang pancang (Q_{ijin}) menggunakan persamaan *Schmertmann & Nottingham* pada Rumus 2.25 dengan perhitungan sebagai berikut:

$$Q_{ijin} = \frac{Ap\ x\ (qcb+qca)}{2} + Cs\ x\ Df\ x\ fs$$

$$Q_{ijin} = \frac{0,01667\ x\ (158+259)}{2} + (\ 1,885\ x\ 4\ x\ 10\ )$$

Q_{ijin} = 3,474 ton + 75,400 ton

Q_{ijin} = 78,87361 ton

Kontrol daya dukung:

Q_{ijin} > Beban reaksi terbesar yang dipikul

Tabel 4.2 Nilai Daya Dukung Tanah

Jenis Beban	Perhitungan Manual Ra=Rb (ton)	Perhitungan *Software* Ra=Rb (ton)	Perkuatan daya dukung tanah ijin (ton)	Keterangan
Beban P Tengah	36,275	36,28	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 1	39,171	39,18	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 2	39,171	39,18	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 3	27,378	27,38	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 4	4,362	4,37	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 5	6,283	6,28	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 6	3,333	3,33	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 7	3,333	3,33	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 8	22,604	22,61	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 9	3,333	3,33	78,873	**MEMENUHI**
Kombinasi 10	22,604	22,61	78,873	**MEMENUHI**

Sumber : Hasil Analisa

Jadi, konstruksi tiang pancang memiliki nilai daya dukung lebih besar daripada beban reaksi yang dipikul, maka kontrol daya dukung tiang pancang memenuhi.

4.2.5. Perbandingan Nilai Momen Maksimum, Lendutan, dan Tegangan Lentur pada Perhitungan Manual dengan *Software*

1. Kombinasi pembebanan

Menentukan nilai momen maksimum, lendutan, dan tegangan sesuai dengan Kombinasi pembebanan pada struktur jembatan kereta api mengacu pada Peraturan Direktorat Jenderal Perkeretaapian. Perhitungan konstruksi jembatan dihitung dari hasil kombinasi pembebanan yang terbesar. Beban yang akan dihitung adalah beban yang menimbulkan reaksi atas dan bawah atau yang bekerja searah sumbu Z dikarenakan jembatan darurat ini didesain dengan perhitungan statis sesuai dengan ketentuan RM 1921 untuk dinas Kereta Api. Kombinasi pembebanan tersebut dibagi menjadi 2 (dua), dimana beban tersebut menjadi Beban Hidup (P) dan Beban Mati merata (qd). Jika beban mati merata tidak ada koefisien dari kombinasi pembebanan maka yang dimasukan adalah berat dari profil gelagar tersebut. Berikut merupakan perhitungan kombinasi pembebanan;

a. Kombinasi Pembebanan 1

P = 1,1L + 1,1I

= 13,099

qd = 1D + 1Lr

= 2,099

b. Kombinasi Pembebanan 2

P = 1,1L + 1,1I

= 13,099

qd = 1D + 1Lr

= 2,099

c. Kombinasi Pembebanan 3

P = 1,1L

= 8,250

qd = 1D + 1Lr

= 2,099

d. Kombinasi Pembebanan 4

P = tidak ada

qd = 1D

= 1,099

e. Kombinasi Pembebanan 5

P = tidak ada

qd = 1Lr + profil gelagar

= 1,750

f. Kombinasi Pembebanan 6

P = tidak ada

qd = berat profil gelagar

= 0,750

g. Kombinasi Pembebanan 7

P = tidak ada

qd = berat profile gelagar

= 0,750

h. Kombinasi Pembebanan 8

P = 1L

= 7,500

qd = 1D

= 1,099

i. Kombinasi Pembebanan 9

P = tidak ada

qd = berat profile gelagar

= 0,750

j. Kombinasi Pembebanan 10

P = 1L

= 7,500

qd = 1D

= 1,099

2. Momen Maksimum

Berikut merupakan perbandingan nilai momen maksimum berdasarkan perhitungan manual dan *software*.

a. Gelagar Utama

Hasil momen maksimum pada gelagar utama yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan manual dan *software* memiliki nilai yang sama.

Tabel 4.3 Perbandingan Momen Maksimum Gelagar Utama

Jenis Beban	**Perhitungan Manual (ton)**	**Perhitungan *Software* (ton)**
Beban P Tengah	196,690	196,707
Beban P Ujung	170,403	170,533
Kombinasi 1	212,706	212,724
Kombinasi 2	212,706	212,724
Kombinasi 3	147,490	147,507
Kombinasi 4	19,122	19,140
Kombinasi 5	30,453	30,453
Kombinasi 6	13,048	13,048
Kombinasi 7	13,048	13,048

Kombinasi 8	119,997	120,015
Kombinasi 9	13,048	13,048
Kombinasi 10	119,997	120,015

Sumber : Hasil Analisa

b. Pemikul 1 Melintang

Hasil momen maksimum pada pemikul 1 melintang yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan manual dan *software* memiliki nilai yang sama.

Tabel 4.4 Perbandingan Momen Maksimum Pemikul 1 Melintang

Jenis Beban	**Perhitungan Manual (ton)**	**Perhitungan *Software* (ton)**
Beban P Ujung	85,205	85,208
Kombinasi 1	92,011	92,023
Kombinasi 2	92,011	92,023
Kombinasi 3	64,297	64,305
Kombinasi 4	10,210	10,220
Kombinasi 5	14,723	14,720
Kombinasi 6	7,791	7,787
Kombinasi 7	7,791	7,787
Kombinasi 8	53,078	53,084
Kombinasi 9	7,791	7,787
Kombinasi 10	53,078	53,084

Sumber : Hasil Analisa

c. Pemikul 2 Memanjang

Hasil momen maksimum pada pemikul 2 memanjang yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan manual dan *Software* memiliki nilai yang sama.

Tabel 4.5 Perbandingan Momen Maksimum Pemikul 2 Memanjang

Jenis Beban	**Perhitungan Manual (ton)**	**Perhitungan *Software* (ton)**
Beban P Ujung	18,117	18,119
Kombinasi 1	19,565	19,569
Kombinasi 2	19,565	19,569
Kombinasi 3	13,668	13,671
Kombinasi 4	2,160	2,164
Kombinasi 5	3,121	3,121

Kombinasi 6	1,646	1,646
Kombinasi 7	1,646	1,646
Kombinasi 8	11,281	11,284
Kombinasi 9	1,646	1,646
Kombinasi 10	11,281	11,284

Sumber : Hasil Analisa

3. Lendutan

Berikut merupakan perbandingan nilai lendutan berdasarkan perhitungan manual dan *software*.

a. Gelagar Utama

Hasil lendutan pada gelagar utama yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan manual dan *software* memiliki selisih nilai yang sedikit dan seluruh model pembebanan memenuhi ijin lendutan.

Tabel 4.6 Perbandingan Lendutan Gelagar Utama

Jenis Beban	**Perhitungan Manual (cm)**	**Perhitungan *Software* (cm)**	**Lendutan Ijin (cm)**	**Keterangan**
Beban P Tengah	1,143	1,460	1,69	**MEMENUHI**
Beban P Ujung	0,991	1,247	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 1	1,237	1,578	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 2	1,237	1,578	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 3	0,857	1,096	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 4	0,111	0,145	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 5	0,177	0,230	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 6	0,076	0,098	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 7	0,076	0,098	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 8	0,698	0,890	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 9	0,076	0,098	1,69	**MEMENUHI**
Kombinasi 10	0,698	0,890	1,69	**MEMENUHI**

Sumber : Hasil Analisa

b. Pemikul 1 Melintang

Hasil lendutan pada pemikul 1 melintang yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan manual dan *Software* memiliki selisih nilai yang sedikit dan seluruh model pembebanan memenuhi ijin lendutan.

Tabel 4.7 Perbandingan Lendutan Pemikul 1 Melintang

Jenis Beban	**Perhitungan Manual (cm)**	**Perhitungan *Software* (cm)**	**Lendutan Ijin (cm)**	**Keterangan**
Beban P Ujung	0,593	1,017	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 1	0,641	1,098	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 2	0,641	1,098	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 3	0,448	0,766	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 4	0,071	0,119	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 5	0,103	0,173	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 6	0,054	0,090	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 7	0,054	0,090	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 8	0,370	0,632	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 9	0,054	0,090	1,43	**MEMENUHI**
Kombinasi 10	0,370	0,632	1,43	**MEMENUHI**

Sumber : Hasil Analisa

c. Pemikul 2 Memanjang

Hasil lendutan pada pemikul 2 memanjang yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan manual dan *software* memiliki selisih nilai yang sedikit dan seluruh model pembebanan memenuhi ijin lendutan.

Tabel 4.8 Perbandingan Lendutan Pemikul 2 Memanjang

Jenis Beban	**Perhitungan Manual (cm)**	**Perhitungan *Software* (cm)**	**Lendutan Ijin (cm)**	**Keterangan**
Beban P Ujung	0,016	0,045	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 1	0,017	0,048	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 2	0,017	0,048	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 3	0,012	0,034	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 4	0,002	0,005	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 5	0,003	0,008	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 6	0,001	0,004	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 7	0,001	0,004	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 8	0,010	0,028	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 9	0,001	0,004	0,14	**MEMENUHI**
Kombinasi 10	0,010	0,028	0,14	**MEMENUHI**

Sumber : Hasil Analisa

4. Tegangan Lentur

Berikut merupakan perbandingan nilai tegangan lentur berdasarkan perhitungan manual maupun *software*.

a. Gelagar Utama

Hasil tegangan lentur pada gelagar utama yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan manual dan *software* memiliki nilai yang sama dan seluruh model pembebanan memenuhi ijin tegangan lentur.

Tabel 4.9 Perbandingan Tegangan Lentur Gelagar Utama

Jenis Beban	**Perhitungan Manual (ton/cm^2)**	**Perhitungan *Software* (ton/cm^2)**	**Tegangan Ijin (ton/cm^2)**	**Keterangan**
Beban P Tengah	0,631	0,631	1,881	**MEMENUHI**
Beban P Ujung	0,546	0,547	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 1	0,682	0,682	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 2	0,682	0,682	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 3	0,473	0,473	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 4	0,061	0,061	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 5	0,098	0,098	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 6	0,042	0,042	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 7	0,042	0,042	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 8	0,385	0,385	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 9	0,042	0,042	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 10	0,385	0,385	1,881	**MEMENUHI**

Sumber : Hasil Analisa

b. Pemikul 1 Melintang

Hasil tegangan lentur pada pemikul 1 melintang yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan manual dan *software* memiliki nilai yang sama dan seluruh model pembebanan memenuhi ijin tegangan lentur.

Tabel 4.10 Perbandingan Tegangan Lentur Pemikul 1 Melintang

Jenis Beban	**Perhitungan Manual (ton/cm^2)**	**Perhitungan *Software* (ton/cm^2)**	**Tegangan Ijin (ton/cm^2)**	**Keterangan**
Beban P Ujung	0,911	0,911	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 1	0,984	0,984	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 2	0,984	0,984	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 3	0,688	0,688	1,881	**MEMENUHI**

Kombinasi 4	0,109	0,109	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 5	0,157	0,157	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 6	0,083	0,083	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 7	0,083	0,083	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 8	0,568	0,568	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 9	0,083	0,083	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 10	0,568	0,568	1,881	**MEMENUHI**

Sumber : Hasil Analisa

c. Pemikul 2 Memanjang

Hasil tegangan lentur pada pemikul 2 memanjang yang didapatkan dengan menggunakan perhitungan manual dan *Software* memiliki nilai yang sama dan seluruh model pembebanan memenuhi ijin tegangan lentur.

Tabel 4.11 Perbandingan Tegangan Lentur Pemikul 2 Memanjang

Jenis Beban	**Perhitungan Manual (ton/cm^2)**	**Perhitungan *Software* (ton/cm^2)**	**Tegangan Ijin (ton/cm^2)**	**Keterangan**
Beban P Ujung	0,607	0,607	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 1	0,655	0,656	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 2	0,655	0,656	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 3	0,458	0,458	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 4	0,072	0,072	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 5	0,105	0,105	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 6	0,055	0,055	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 7	0,055	0,055	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 8	0,378	0,378	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 9	0,055	0,055	1,881	**MEMENUHI**
Kombinasi 10	0,378	0,378	1,881	**MEMENUHI**

Sumber : Hasil Analisa

4.3. Metode Kerja Pemasangan dan Pembongkaran Jembatan Darurat

Berdasarkan *(Suwandi, 2021)*, beserta observasi yang telah dilakukan di lapangan, metode kerja pemasangan dan pembongkaran jembatan darurat pada pembangunan *underpass* dapat dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

4.3.1. Pemasangan Jembatan Darurat

Pemasangan jembatan darurat dilakukan dengan metode kerja sebagai berikut:

1. Alat
    a. *Crane* = 1 unit
    b. *Excavator* = 1 unit
    c. Mesin las = 1 unit
    d. Genset = 1 unit
    e. Alat ukur = 1 set
    f. *Bar cutting* = 1 unit
    g. Alat las = 1 unit
    h. Palu = 4 unit
2. Tenaga Kerja
    a. Operator alat berat = 2 orang
    b. *Train watcher* = 2 orang
    c. Pengawas = 1 orang
    d. Mandor = 1 orang
    e. Pekerja = 15 orang
3. Material
    a. Baja *WF* 800x470x45x70
    b. Baja *H-beam* 400x400x30x50
    c. Baja *H beam* 400x400x18x18
    d. Baja *H-beam* 350x350x16x16
    e. Bantalan kayu
    f. Penambat
    g. Paku tarpon
4. Kelengkapan
    a. *Handie talkie* dan stasiun *rig*
    b. Bendera semboyan
    c. Alat pelindung diri (APD) lengkap
    d. Peluit
    e. Lampu senter

5. Metode Pelaksanaan
   a. Pengukuran posisi titik pancang dengan alat ukur *waterpass* sesuai titik koordinat rencana, dilanjutkan dengan pematokan titik tiang pancang.
   b. *Setting* beberapa alat-alat pancang (meliputi mesin *power winch* lengkap, *box* pancang, dan tali labrang) yang akan digunakan untuk pemancangan tiang *H-beam* 350x350x16x16.
   c. Pancang *H-beam* 350x350x16x16 sesuai dengan titik koordinat rencana hingga mencapai kedalaman rencana, yaitu kedalaman ujung tiang mencapai elevasi sedalam 5,25 m.
   d. Pasang siku *L* 70x70x7 untuk *bracing* tiang pancang *H-beam* 350x350x16x16 dengan cara dilas untuk mengikat struktur tiang pancang *H-beam* 350x350x16x16.
   e. Peninggian elevasi rel sesuai dengan tinggi rencana *track* baru dengan pengerjaan badan jalan berupa timbunan.
   f. Setelah dilakukan peninggian elevasi jalan rel sesuai tinggi rencana as *track*, dilakukan pemasangan konstruksi rel bendel *3-5-3* sepanjang 2,5 hingga 3 m pada masing-masing sisi ujung jembatan sebagai konstruksi penguat saat dilakukan penyetelan pemikul.
   g. Gali titik pada area pancangan dengan *excavator* untuk dilakukan pemasangan konstruksi pemikul.
   h. Pasang *H-beam* 400x400x18x18 sebagai pemikul memanjang di atas pancangan tiang pancang *H-beam* 350x350x16x16 dengan cara dilas pada masing-masing tumpuan.
   i. Pasang *H-beam* 400x400x30x50 sebagai pemikul melintang di atas *cross H-beam* 400x400x18x18 dan dilas.
   j. Pasang gelagar utama *WF* 800x470x45x70 di atas *cross H-beam* 400x400x30x50 dengan cara dilas. Pada ujung gelagar dilas dan dipasang siku rel untuk mencegah gelagar bergerak secara horizontal.

k. Pasang bantalan kayu dengan jarak 60 cm dan lepas sebagian bantalan beton pada *track*. Bantalan kayu dikaitkan dengan gelagar utama *WF* 800x470x45x70 dengan paku dengan cara dilas pada titik lubang yang terdapat pada *WF* 800x470x45x70.

l. Pasang penambat pada rel dan bantalan kayu.

m. Kemudian setelah pekerjaan penyanggaan *track existing* selesai, dilanjutkan pada pekerjaan *box culvert* dengan penyiapan material tanah urug untuk pekerjaan urugan tanah.

n. Celah yang terdapat pada konstruksi penyanggaan ke arah luar jembatan darurat dapat dilakukan timbunan atau perletakan karung yang berisi material balas.

4.3.2. Pembongkaran Jembatan Darurat

Pemasangan jembatan darurat dilakukan dengan metode kerja sebagai berikut:

1. Alat
   a. *Crane* = 1 unit
   b. *Excavator* = 1 unit
   c. Genset = 1 unit
   d. Alat ukur = 1 set
   e. *Bar cutting* = 1 unit
   f. Palu = 4 unit
   g. *HTT* = 2 unit
2. Tenaga Kerja
   a. Operator alat berat = 2 orang
   b. *Train watcher* = 2 orang
   c. Pengawas = 1 orang
   d. Mandor = 1 orang
   e. Pekerja = 15 orang
3. Material
   a. Baja *WF* 800x470x45x70
   b. Baja *H-beam* 400x400x30x50

c. Baja *H beam* 400x400x18x18
d. Baja *H-beam* 350x350x16x16
e. Bantalan kayu
f. Penambat
g. Paku tirpon

4. Kelengkapan
   a. *Handie talkie* dan stasiun *rig*
   b. Bendera semboyan
   c. Alat pelindung diri (APD) lengkap
   d. Peluit
   e. Lampu senter
5. Metode Pelaksanaan
   a. Menyiapkan alat yang akan digunakan selama proses pembongkaran jembatan darurat.
   b. Setelah dilakukan penghamparan dan pemadatan balas di atas konstruksi *box culvert* yang sudah jadi, lepas pengait rel bendel pada sisi luar jembatan darurat menggunakan palu.
   c. Lepas pengait paku pada bantalan kayu yang tersambung pada gelagar utama *WF* 800x470x45x70 menggunakan alat *bar cutting.*
   d. Angkat gelagar utama *WF* 800x470x45x70 dari konstruksi jembatan darurat menggunakan *crane* dibantu dengan *excavator.* Dilakukan penahanan bantalan dan rel menggunakan dongkrak untuk menjaga elevasi jalan rel selama gelagar dilakukan pembongkaran.
   e. Dilakukan pekerjaan pengangkatan *WF* 800x470x45x70 dan penahanan bantalan menggunakan dongkrak pada sisi rel yang lainnya.
   f. Lepas penambat yang terkait pada bantalan kayu dan rel menggunakan palu.
   g. Ganti bantalan kayu dengan bantalan beton dengan menggeser bantalan kayu ke arah luar sisi jalan rel dan dilakukan penggeseran bantalan beton untuk dipasang ke arah as *track.*

h. Atur jarak bantalan sejauh 60 cm pada setiap bantalan serta elevasi bantalan menggunakan *waterpass.*
i. Pasang penambat antara bantalan beton dan rel.
j. Hampar balas sepanjang *track* yang ditumpu oleh gelagar sebelumnya serta dilakukan pengerjaan pemadatan balas menggunakan *HTT.*
k. Lepas *H-beam* 400x400x30x50 sebagai pemikul melintang dengan *bar cutting*. Lalu dorong pemikul melintang menggunakan *excavator* serta diangkat menggunakan *crane.*
l. Lepas *H-beam* 400x400x18x18 sebagai pemikul memanjang dengan *bar cutting.*
m. Cabut pancangan *H-beam* 350x350x16x16 dengan alat pancang (meliputi mesin *power winch* lengkap, *box* pancang, dan tali labrang) beserta bantuan alat berat seperti *crane.*
n. Timbun dan padatkan titik pancangan dengan tanah urug serta balas. Lalu balas dipadatkan menggunakan *HTT.*
o. Mengukur elevasi jalan rel menggunakan *waterpass* untuk memastikan jalan rel telah memiliki elevasi yang sesuai.

4.4. Kesimpulan Hasil Analisa

Berdasarkan perhitungan manual yang telah dilakukan dan dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan *software*, diperoleh bahwa ketiga parameter utama yaitu nilai momen, lendutan, dan tegangan lentur menunjukkan hasil yang hampir sama atau memiliki perbedaan yang sangat kecil. Kedekatan hasil ini membuktikan bahwa baik perhitungan manual maupun analisis dengan *software* memberikan tingkat akurasi yang konsisten. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan yang dilakukan telah memenuhi kriteria teknis serta persyaratan perencanaan yang ditetapkan, sehingga rancangan dapat dinyatakan layak secara struktural.

BAB V
PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada pembahasan sebelumnya, maka kesimpulan yang didapatkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan pemodelan desain jembatan darurat dengan penambahan bentang gelagar utama 11,8 m; profil gelagar utama WF 800x470x45x70; profil pemikul 1 melintang H-beam 400x400x30x50 panjang 5 m; profil pemikul 2 memanjang *H-beam* 400x400x18x18 panjang 1 m; profil tiang pancang H-beam 350x350x16x16 panjang 5,25 m. Besaran kekuatan struktur jembatan darurat baru, seperti gelagar utama, pemikul melintang, dan pemikul memanjang **telah memenuhi persyaratan lendutan dan tegangan lentur ijin** secara perhitungan manual dengan kontrol perhitungan melalui *software*.
2. Perhitungan daya dukung tiang pancang menggunakan *H-beam* 350x350x16x16 dengan panjang keseluruhan *H-Beam* untuk tiang pancang adalah 5,25 meter dengan kedalaman tiang pancang 4 meter dari permukaan tanah, dapat disimpulkan bahwa semua hasil perhitungan kombinasi pembebanan telah memenuhi persyaratan perkuatan daya dukung tanah ijin yaitu dibawah 78,873 ton **(Q"ijin > Beban reaksi yang dipikul).**
3. Metode kerja dalam pemasangan dan pembongkaran jembatan dikerjakan oleh 21 orang dengan bantuan alat berat, seperti *excavator* dan *crane.* Pemasangan jembatan darurat diawali dengan pengukuran titik tiang pancang sesuai rencana dan diakhiri dengan pemasangan penambat rel pada bantalan kayu. Pembongkaran jembatan darurat diawali dengan persiapan material di sekitar lokasi dan diakhiri dengan pengukuran elevasi jalan rel. Proses pemasangan dan pembongkaran jembatan darurat dilakukan menggunakan APD lengkap dengan memperhatikan K3.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang penulis dapatkan, terdapat beberapa saran yang dapat dikembangkan dari penelitian ini, antara lain:

1. Menyertakan analisis stabilitas perkuatan tanah.
2. Menyertakan analisis kontrol kekompakan baja dan tegangan geser.
3. Menggunakan perhitungan pembebanan dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

B. Supriyadi, & A. Muntohar. (2007). *Jembatan*.

Badan Standardisasi Nasional. (2005). *RSNI T-03-2005 Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*.

Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI 1726:2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. www.bsn.go.id

Badan Standardisasi Nasional Indonesia. (2016). SNI 2833:2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*, 1–70.

Balasubramanian, A., & Balasubramanian, P. A. (2017). *Bridges and Their Types Geochemical Modelling of Groundwater for Prevention of Incrustation in the Water Supply Systems of Salem, Tamil Nadu, India*. *5*, 18. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18109.46566

Chen, W.-Fah., & Duan, Lian. (2003). *Bridge engineering: Superstructure Design*. CRC Press: Washington DC.

Departemen Perhubungan. (2006). *Standar Teknis Kereta Api Indonesia untuk Struktur Jembatan Baja*.

Direktorat Jenderal Perkeretaapian. (2011). *Rencana Induk Perkeretaapian Nasional 2030*.

Kementerian Perhubungan. (2012). *Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Kementerian Perhubungan: Jakarta.

Lin, W., & Yoda, T. (2017a). Bridge Engineering. In *Bridge Engineering*. Butterworth-Heinemann: United Kingdom.

Lin, Weiwei., & Yoda, Teruhiko. (2017b). *Bridge Engineering: Classifications, Design Loading, and Analysis Methods*. Butterworth-Heinemann: United Kingdom.

Loa Wikarya Darmawan, I. (1993). *Komstruksi Baja I*. Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum: Jakarta.

Muspitasari, T., Sulistyowati, I., & Kumara, W. (2019). Evaluasi Peraturan Pembebanan Gandar Kereta Api di Pulau Jawa Terhadap Kondisi Aktual. *Jurnal Teknik Sipil*, *14*(3), 182–187.

Nur Sholeh, M. (2021). *Analisa Struktur SAP2000 v22*. https://www.researchgate.net/publication/349053272

Pala'biran, O. A., Windah, R. S., & Pandaleke, R. (2019). Perhitungan Lendutan Balok Taper Kantilever dengan Menggunakan SAP2000. *Jurnal Sipil Statik*, *7*(8), 1039–1048.

PT Kereta Api Indonesia. (2017). *PD 10D JILID 1*.

Riyo Ardi Yansyah, Subuh Tugiono, & Dyah Indriana Kusumastuti. (2015). *ANALISA HIDROLOGI DAN HIDROLIKA SALURAN DRAINASE BOX CULVERT DI JALAN ANTASARI BANDAR LAMPUNG MENGGUNAKAN PROGRAM HEC-RAS*.

Supriyadi, B. (1997). *Analisis Struktur Jembatan*. Biro Penerbit KMTS FT UGM: Yogyakarta.

Suwandi. (2021). *Perawatan Jembatan Kereta Api*. Deepublish: Yogyakarta.

Tampubolon, S. (2021). *Struktur Baja 1*. 1–165.

Lampiran 1 Dokumentasi Pengerjaan Proyek

Pengukuran Dimensi BH 766 Eksisting

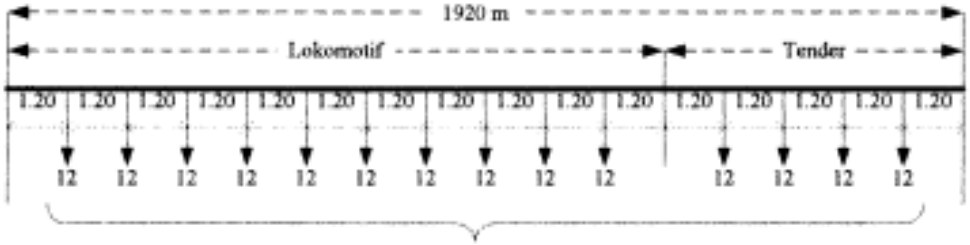
Kondisi Drainase di Sekitar Lokasi BH 766

Lampiran 2 Pembebanan Rencana Muatan 1921

RENCANA MUATAN 1921

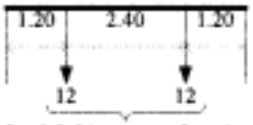
MUATAN GERAK

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



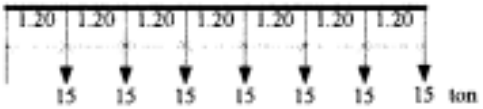
Jumlah Berat 168 ton atau 8,75 ton/m

Bila dengan kereta / gerobakyang banyaknya tidak tertentu, serupa demikian:

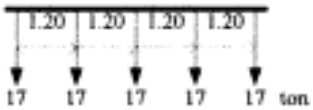


Jumlah 24 ton atau 5 ton/m

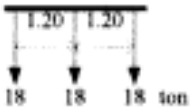
Susunan kereta itu selalu dibikin sehingga bagi bagian yang harus dihitung kekuatannya paling berbahaya.
Jika ada 6 atau 7 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 15 ton.



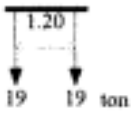
Jika hanya ada 5 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 17 ton.



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



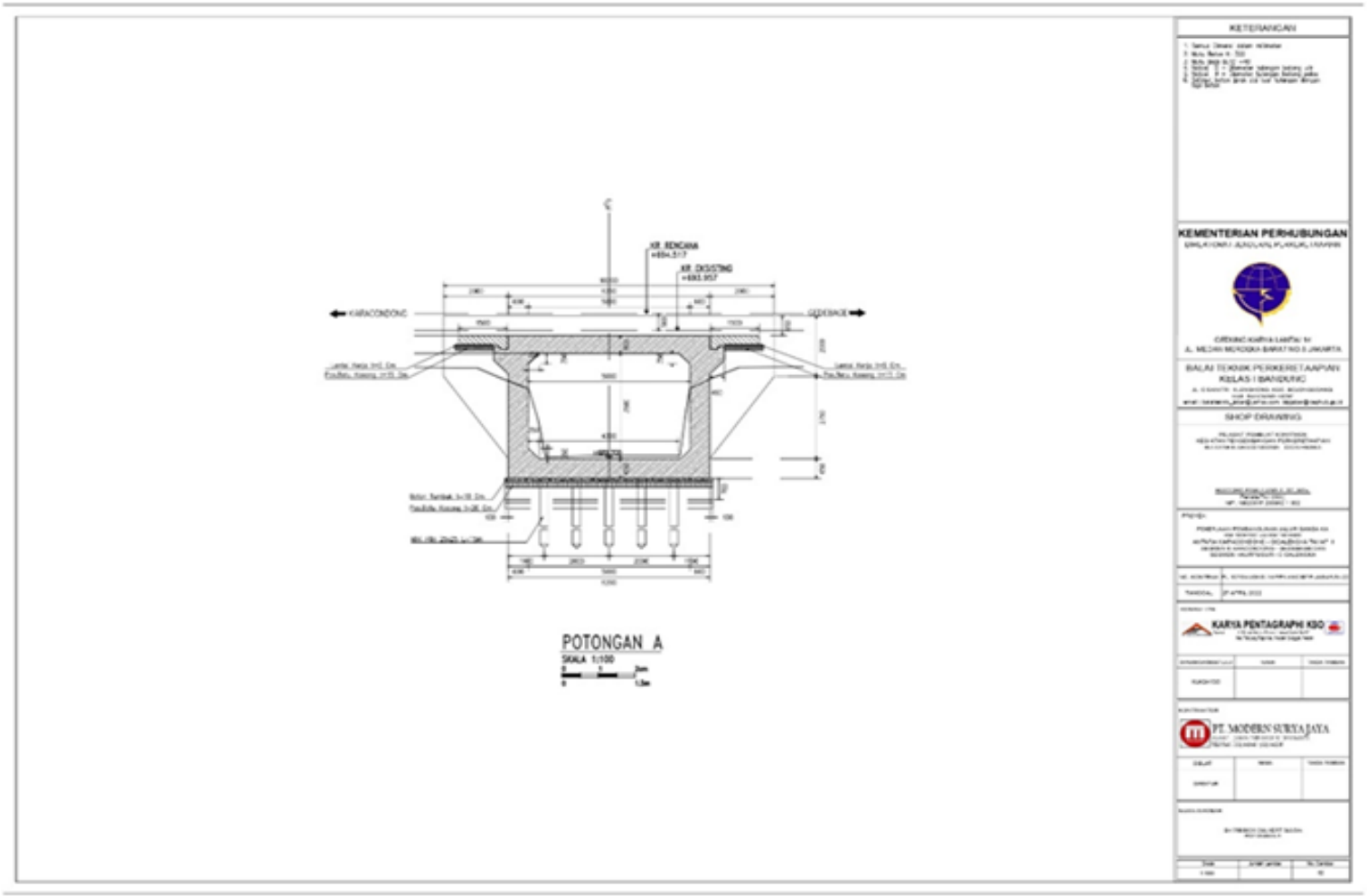
Jika hanya ada 2 gandar yang dapat tempat dalam hitungannya, maka beratnya muatan gandar harus ditambah sampai 19 ton.



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

Dari rencana-rencana muatan tersebut, selalu yang dipilih itu rencana yang pendapatannya paling berbahaya bagi yang dihitungnya.

Lampiran 3 *Shop Drawing* Pekerjaan *Box Culvert* BH 766



Lampiran 4 *Profil Code* PT. Modern Surya Jaya

Profile Code	Section Index	Weight (W)	Depth of Section (d)	Flange Width (b_f)	Thickness		Corner Radius r	Sectional Area (Ag)	Moment of Inertia		Radius of Gyration		Elastic Modulus of Section		Plastic Modulus of Section	
					Web (t_w)	Flange (t_f)			Ix	Iy	ix	iy	Sx	Sy	Zx	Zy
	mm	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm^2	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3
		W	d	bf	tw	tf	r	Ag	Ix	Iy	ix	iy	Sx	Sy	Zx	Zy
71	450 x 225 x 12 x 19	107	450	225	12	19	19	136,35	46726	3612	18,5	5,15	2077	321	2352	496
72	450 x 300 x 10 x 15	106	434	299	10	15	24	135	46800	6690	18,6	7,04	2160	448	2287	681
73	450 x 300 x 11 x 18	124	440	300	11	18	24	157,4	56100	8110	18,9	7,18	2550	541	2728	822
74	500 x 200 x 9 x 14	79,5	496	199	9	14	20	101,3	41900	1840	20,3	4,27	1690	185	1836	287
75	500 x 200 x 10 x 16	89,7	500	200	10	16	20	114,2	47800	2140	20,5	4,33	1910	214	2096	332
76	500 x 200 x 11 x 19	103	506	201	11	19	20	131,3	56500	2580	20,7	4,43	2230	257	2462	398
77	500 x 300 x 11 x 15	114	482	300	11	15	26	145,5	60400	6760	20,4	6,82	2500	451	2663	689
78	500 x 300 x 11 x 18	128	488	300	11	18	26	163,5	71000	8110	20,8	7,04	2910	541	3100	824
79	580 x 470 x 19 x 40	382	580	470	19	40	28	486	348111	1980	24,74	6,85	12003,8	601	11340	4463
79	600 x 200 x 10 x 15	94,6	596	199	10	15	22	120,5	68700	1980	23,9	4,05	2310	199	2535	311
80	600 x 200 x 11 x 17	106	600	200	11	17	22	134,4	77600	2280	24	4,12	2590	228	2863	357
81	600 x 200 x 12 x 20	120	606	201	12	20	22	152,5	90400	2720	24,3	4,22	2980	271	3317	424
82	600 x 200 x 13 x 23	134	612	202	13	23	22	107,7	103000	3180	24,6	4,31	3380	314	3778	493
83	600 x 300 x 12 x 17	137	582	300	12	17	28	174,5	103000	7670	24,3	6,63	3530	511	3782	785
84	600 x 300 x 12 x 20	151	588	300	12	20	28	192,5	118000	9020	24,8	6,85	4020	601	4309	920
85	600 x 300 x 14 x 23	175	594	302	14	23	28	222,4	137000	10600	24,9	6,9	4620	701	5017	1076
86	700 x 300 x 13 x 20	166	692	300	13	20	28	211,5	172000	9020	28,6	6,53	4980	602	5414	928
87	700 x 300 x 13 x 24	185	700	300	13	24	28	235,5	201000	10800	29,3	6,78	5760	722	6249	1108
88	700 x 300 x 15 x 28	215	708	302	15	28	28	273,6	237000	12900	29,4	6,86	6700	853	7344	1314
90	800 x 300 x 14 x 22	191	792	300	14	22	28	243,4	254000	9930	32,3	6,39	6410	662	7040	1027
91	800 x 300 x 14 x 26	210	800	300	14	26	28	267,4	292000	11700	33	6,62	7290	782	7995	1207
92	800 x 300 x 16 x 30	241	808	302	16	30	28	307,6	339000	13800	33,2	6,7	8400	915	9287	1416
89	800 x 470 x 45 x 70	749,675	800	470	45	70	28	955	1247486	121628	32,1	11,27	31187,2	5175	28918	8066
93	900 x 300 x 15 x 23	213	890	299	15	23	28	270,9	345000	10300	35,7	6,16	7760	688	8634	1076
94	900 x 300 x 16 x 28	243	900	300	16	28	28	309,8	411000	12600	36,4	6,39	9140	843	10174	1314
95	900 x 450 x 16 x 38	373,9	900	450	16	38	28	476,34	710311	57741	38,6	11,01	15785	2566	17456	3900
96	900 x 300 x 18 x 34	286	912	302	18	34	28	364	498000	15700	37	6,56	10900	1040	12221	1619

Lampiran 5 Data Sondir Km. 163+675

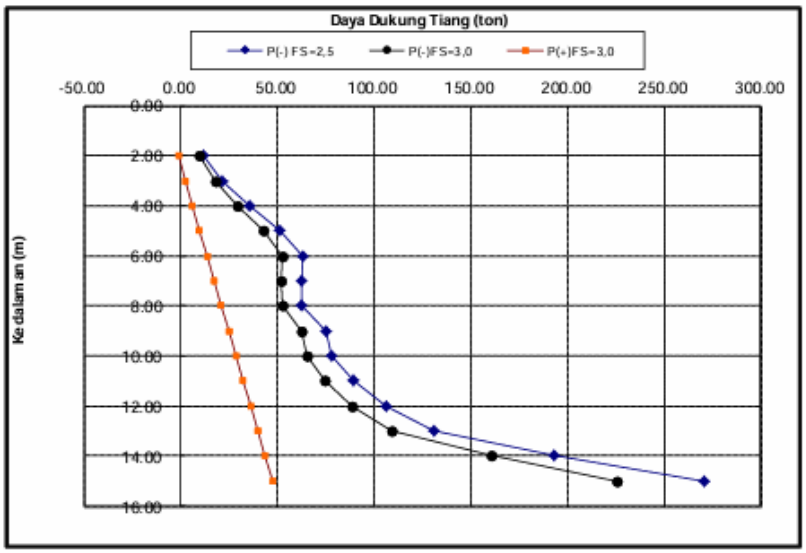
PT. CALISTA PERKASA MULIA	**BEARING CAPACITY ANALYSIS - PILE FOUNDATIONS**

PROJECT	:	**PEMBANGUNAN JALUR GANDA KA KM 163+150 S/D 164+500 ANTARA KIARACONDONG - CICALENGKA TAHAP II SEGMEN KIARACONDONG-GEDEBAGE DAN SEGMEN HAURPUGUR-CICALENGKA**
LOCATION	:	**KM. 163 + 675**

BEARING CAPACITY ANALYSIS - SPUN PILE FOUNDATIONS

P.ult	=	**Pb + Ps**
P.ult	=	**Ab.(qcb + qca)/2 + Cs.Df.fs** ---> ***metode Schmertmann & Nottingham***
P.all	=	**P.ult/FS**
P.ult	=	ultimate pile capacity
P.all	=	allowable pile capacity
FS	=	safety factor
Ab	=	area of pile tip
Cs	=	perimeter of pile section
Df	=	depth of pile foundation
qcb	=	average cone resistance in the zone of approx 4 D below pile tip 2.4 m
qca	=	average cone resistance in the zone of approx 8 D above pile tip 4.8 m
fs	=	average friction resistance in the zone of pile shaft = (qca / 14) < 10 t/m2

SONDIR = **S.1** Ab = 0.283 m2
Pile diameter = **0.60 m** Cs = 1.885 m

Depth of pile tip m	qcb t/m2	qca t/m2	fs t/m2	Pb ton	Ps ton	Pult ton	P.all (-) P(-) FS=2,5 ton	P.all (-) P(-)FS=3,0 ton	P.all (+) P(+)FS=3,0 ton
2.00	151	85	6.07	33.42	-4.58	28.85	11.54	9.62	-0.92
3.00	187	116	8.30	42.88	11.06	53.94	21.58	17.98	2.21
4.00	259	158	10.00	58.96	29.91	88.87	35.55	29.62	5.98
5.00	341	214	10.00	78.50	48.76	127.26	50.90	42.42	9.75
6.00	367	272	10.00	90.29	67.61	157.90	63.16	52.63	13.52
7.00	196	295	10.00	69.37	86.46	155.83	62.33	51.94	17.29
8.00	131	235	10.00	51.80	105.31	157.11	62.84	52.37	21.06
9.00	151	295	10.00	63.11	124.16	187.27	74.91	62.42	24.83
10.00	209	165	10.00	52.81	143.01	195.82	78.33	65.27	28.60
11.00	277	155	10.00	61.09	161.86	222.95	89.18	74.32	32.37
12.00	391	210	10.00	85.02	180.71	265.73	106.29	88.58	36.14
13.00	599	300	10.00	127.03	199.56	326.59	130.64	108.86	39.91
14.00	1370	500	10.00	264.37	218.41	482.77	193.11	160.92	43.68
15.00	2023	1090	10.00	440.02	237.26	677.28	270.91	225.76	47.45

GRAFIK DAYA DUKUNG IJIN TIANG vs KEDALAMAN TIANG