

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS PENGGUNAAN REL PADA PROYEK PENINGKATAN JALUR KERETA API LINTAS KISARAN - RANTAU PRAPAT SEGMENT KISARAN – MAMBANG MUDA (Studi Kasus)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**EKO WIDI WURYANTO**

**2107210212P**



# **UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2023**

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

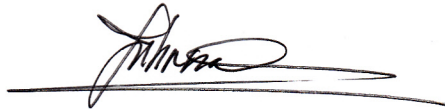
Nama : Eko Widi Wuryanto  
NPM : 2107210212P  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Rel Pada Proyek Peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran - Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda (Studi Kasus)

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA

PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 16 Maret 2023

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Eko Widi Wuryanto  
NPM : 2107210212P  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Analisis Penggunaan Rel Pada Proyek Peningkatan Jalur  
Kereta Api Lintas Kisaran - Rantau Prapat Segmen Kisaran  
– Mambang Muda (Studi Kasus)  
Bidang Ilmu : Transportasi

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

Medan, 16 Maret 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

Dosen Pembanding I



Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD

Dosen Penguji II



Rizki Efrida, S.T, M.T

Ketua Prodi Teknik Sipil



Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Eko Widi Wuryanto  
Tempat/Tanggal Lahir :  
NPM : 2107210212P  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Analisis Penggunaan Rel Pada Proyek Peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran - Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda (Studi Kasus) “

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

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

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

Medan, 16 Maret 2023  
Saya yang menyatakan,



Eko Widi Wuryanto

## ABSTRAK

### ANALISIS PENGGUNAAN REL PADA PROYEK PENINGKATAN JALUR KERETA API LINTAS KISARAN - RANTAU PRAPAT SEGMENT KISARAN – MAMBANG MUDA

Eko Widi Wuryanto

2107210212P

Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

Untuk mewujudkan kondisi prasarana jalan rel yang baik dan handal, maka perlu dilakukan perawatan dengan baik dan benar secara rutin agar tetap dapat dilalui kereta api dengan aman, nyaman sesuai dengan kecepatan dan tekanan gandar yang telah ditentukan, sehingga dengan kondisi prasarana yang baik dan handal diharapkan dapat terwujudnya peningkatan keselamatan dan keamanan perkeretaapian. Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Rantau Prapat merupakan bagian dari Trans Sumatera Railways yang telah dibangun sejak tahun 1937 dan terus ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Kondisi eksisting jalan rel dengan kelas jalan III menggunakan tipe R42 dan memiliki kecepatan 70 km/jam. Dengan meningkatkan Track Quality Index (TQI) Jalur Kereta Api dari Kelas III menjadi kelas I berikut dengan penggantian rel tipe R.42 menjadi R.54 dan mengganti bantalan rel yang digunakan sepanjang Jalur Kereta Api. Maka dari itu, penelitian ini akan menganalisis penggantian R.42 menjadi R.54 pada proyek Peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran - Rantau Parapat Segment Kisaran Mambang – Muda. Dalam hal ini, menganalisis kedua tipe rel tersebut ditinjau dari karakteristik beban serta tegangan yang terjadi. Setelah melalui proses perhitungan, maka dapat diketahui bahwa nilai tegangan sebesar  $\sigma = 1.466,616 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{izin} = 1.325 \text{ kg/cm}^2$ . Dan nilai dari tegangan yang terjadi di dasar rel sebesar  $S_{base} = 1.065,056 \text{ kg/cm}^2 < S_{base \text{ izin}} = 1042,3 \text{ kg/cm}^2$ . Oleh karena itu tipe rel R42 tidak dapat digunakan untuk kelas jalan I. Setelah dilakukannya peningkatan terhadap jalur kereta api menggunakan R54, nilai tegangan yang dihasilkan adalah sebesar tegangan sebesar  $\sigma = 930,127 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{izin} = 1.325 \text{ kg/cm}^2$ . Dan nilai dari tegangan yang terjadi di dasar rel sebesar  $S_{base} = 987,455 \text{ kg/cm}^2 < S_{base \text{ izin}} = 1042,3 \text{ kg/cm}^2$ . Tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan ijin baja.

Kata Kunci: Kereta Api, Beban, Tegangan.

## **ABSTRACT**

### ***ANALYSIS OF THE USE OF RAIL IN THE PROJECT TO IMPROVE THE CROSS-KISARAN RAILWAY - RANTAU PRAPAT KISARAN SEGMENT – MAMBANG MUDA***

Eko Widi Wuryanto  
2107210212P

Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

*To realize good and reliable rail road infrastructure conditions, it is necessary to carry out proper and correct maintenance on a regular basis so that trains can still pass safely, comfortably according to the predetermined speed and axle pressure, so that with good and reliable infrastructure conditions it is expected can realize an increase in the safety and security of railways. The Cross Range Railroad - Rantau Prapat is part of the Trans Sumatra Railways which has been built since 1937 and continues to be improved according to the needs of the community. The existing condition of the railroad with class III uses the R42 type and has a speed of 70 km/hour. By increasing the Railroad Track Quality Index (TQI) from Class III to Class I along with replacing the R.42 rail to R.54 and replacing the rail sleepers used along the Railway Route. Therefore, this research will analyze the replacement of R.42 to R.54 in the Cross-Railway Improvement Project - Rantau Parapat Mambang - Muda Range Segment. In this case, analyzing the two types of rails in terms of the load characteristics and the stress that occurs. After going through the calculation process, it can be seen that the stress value is  $\sigma = 1,466.616 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{permit}} = 1,325 \text{ kg/cm}^2$ . And the value of the stress that occurs at the base of the rail is  $S_{\text{base}} = 1,065.056 \text{ kg/cm}^2 < S_{\text{base permit}} = 1042.3 \text{ kg/cm}^2$ . Therefore, the R42 rail type cannot be used for road class I. After the improvement of the railroad track using R54, the resulting stress value is  $\sigma = 930.127 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{permit}} = 1,325 \text{ kg/cm}^2$ . And the value of the stress that occurs at the base of the rail is  $S_{\text{base}} = 987.455 \text{ kg/cm}^2 < S_{\text{base permit}} = 1042.3 \text{ kg/cm}^2$ . The stress that occurs must not exceed the allowable stress of the steel.*

*Keywords: Train, Load, Voltage.*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.*

Alhamdulillahirabil'alamin, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Penggunaan Rel Pada Proyek Peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran - Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda (Studi Kasus)” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD selaku Dosen Pembimbing I yang telah yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida, ST., M.T selaku Dosen Pembimbing II sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Saya menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan.

Akhir kata saya mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Tugas Akhir bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

*Wassalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.*

Medan, 16 Maret 2023



Eko Widi Wuryanto



## DAFTAR ISI

LEMBAR PESETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii

### BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4

### BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Rel Kereta Api	5
2.1.1 Rel	10
2.1.1.1 Persyaratan Umum Rel	11
2.1.1.2 Tipe dan Karakteristik Rel	13
2.1.1.3 Jenis Rel	14
2.1.2 Penambat Rel	15
2.1.2.1 Pertimbangan dalam Penggunaan Penambat	15
2.1.2.2 Jenis Penambat Rel	16
2.1.3 Bantalan	20
2.1.4 Balas	20
2.1.5 Sub Balas	22
2.1.6 Tanah Dasar	24

2.2	Geometrik Jalan Rel	26
2.2.1	Lengkung Horizontal	26
2.2.2	Lengkung Vertikal	29
2.2.3	Kelandaian	29
2.3	Kriteria Struktur Jalan Rel	30
2.3.1	Kekuatan ( <i>Stiffnes</i> )	30
2.3.2	Elastisitas ( <i>Elastic/ Resilence</i> )	30
2.3.3	Ketahanan Terhadap Deformasi Tetap	30
2.3.4	Stabilitas	30
2.3.5	Kemudahan untuk pengaturan dan pemeliharaan	31
2.4	Penelitian Terdahulu	31
2.4.1	Analisis Kelayakan Konstruksi Bagian Atas Jalan Rel Dalam Kegiatan Revitalisasi Jalur Kereta Api Lubuk Alung- Kayu Tanam.	31
2.4.2	Analisis Perbandingan Rel Tipe R33 Dengan Tipe R54 Dan Pengaruh Terhadap Kinerja Kereta	32
2.4.3	Evaluasi Kerusakan Jalan Rel Lintas Sepanjang Boharan Km 24+167 – Km 33+867	33

### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Lokasi Penelitian	34
3.2	Pengumpulan Data	34
3.3	Diagram Alir Penelitian	35
3.4	Gambaran Umum Proyek	36
3.5	Tipe dan Spesifikasi Rel	37
3.6	Analisis Data	39

### BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Kondisi Eksisting Jalan Rel	41
4.2	Analisis Perhitungan	42
4.2.1	Kondisi Eksisting	45
4.2.2	Setelah Peningkatan	48

4.3.3 Perbandingan Tipe Rel	50
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kecepatan Maksimum sesuai kelas jalan rel	7
Tabel 2.2	Daya Angkut Lintas Yang Diijinkan Untuk Lebar Sepur 1067 mm	8
Tabel 2.3	Daya angkut lintas yang diijinkan untuk lebar sepur 1067 mm	8
Tabel 2.4	Klasifikasi jalan berdasarkan landai penentu maksimum	9
Tabel 2.5	Tipe Rel Pada Jalan Rel	13
Tabel 2.6	Karakteristik Rel	14
Tabel 2.7	Panjang Minimum Rel Panjang	15
Tabel 2.8	Penggunaan alat penambat elastik sesuai kelas jalan	18
Tabel 2.9	Kemiringan permukaan bawah kepala rel dan permukaan atas kaki rel	19
Tabel 2.10	Spesifikasi Tebal Balas Dari Klasifikasi Jalan Rel Indonesia Untuk Sepur Sempit	21
Tabel 2.11	Spesifikasi Tebal Balas Dari Klasifikasi Jalan Rel Indonesia Untuk Sepur Lebar	21
Tabel 2.12	Persyaratan Gradasi Untuk Material Balas	22
Tabel 2.13	Persyaratan gradasi untuk material sub-balas`	23
Tabel 2.14	Ukuran – ukuran pada lapisan balas	24
Tabel 2.15	Jari Jari Minimum Lengkung Horizontal	26
Tabel 2.16	Jari-jari Minimum lengkung Vertikal	29
Tabel 2.17	landaian penentu	29
Tabel 3.1	Dimensi Penampang Rel	37
Tabel 4.1	Data Perbandingan Kondisi Eksisting dan Peningkatan	50
Tabel 4.2	Tabel Analisis Tegangan yang terjadi pada rel	50
Tabel 4.3	Tabel Analisis Tegangan yang terjadi dibawah rel	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh Potongsn Jalan Rel pada Struktur Galian dan Timbunan	5
Gambar 2.2	Ukuran Lebar Sepur Pada Struktur Jalan Rel	6
Gambar 2.3	Beberapa Ukuran Lebar Sepur di Dunia	7
Gambar 2.4	Jalur Tunggal Trase Jalan Rel pada Jalur Lurus	10
Gambar 2.5	Jalur Ganda Trase Jalan Rel Pada Jalur Lurus	10
Gambar 2.6	Bagian - bagian Rel	12
Gambar 2.7	Kerusakan Pada Ujung Rel, Hoggeg Rail	13
Gambar 2.8	Mur, Baut, Tipon dan Paku Rel	17
Gambar 2.9	Penambat Kaku Pada Bantalan Baja Menggunakan Pelat	18
Gambar 2.10	Pemasangan Pelat Penyambung	18
Gambar 2.11	Pelat penyambung untuk R.42, R.50, R.54	19
Gambar 2.12	Pelat penyambung untuk R.60	20
Gambar 2.13	Potongan Melintang pada Jalan Lurus	23
Gambar 2.14	<i>Potongan Melintang Pada Jalan Tikungan</i>	24
Gambar 2.15	Badan Jalan Rel Pada Tanah Asli	25
Gambar 2.16	Badan Jalan Rel Pada Timbunan	26
Gambar 2.17	Badan Jalan Rel Pada Tanah Galian	26
Gambar 3.1	Lokasi Proyek	34
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3.3	Karakteristik Penampang Rel	38
Gambar 3.4	Spesifikasi Rel R42	38
Gambar 3.5	Spesifikasi Rel R54	39
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Antara Tipe Rel dan Analisis Tegangan	52

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kereta api saat ini merupakan sarana transportasi yang sangat diminati oleh masyarakat. Jika dibandingkan dengan sarana transportasi lain, kereta api dirasakan lebih ekonomis, tertib dan aman. Dengan semakin banyaknya pengguna moda transportasi ini maka perlu adanya peningkatan pelayanan dalam perkeretaapian, di Indonesia jalan kereta api masih menggunakan satu jalur sehingga jadwal perjalanannya sering terhambat karena terjadi simpangan antara dua rangkaian kereta api oleh karena itu perlu adanya pembangunan prasarana yang mengarah pada pengembangan perkeretaapian.

Berdasarkan Peraturan Menteri (PM) Perhubungan Nomor 31 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Pemeriksaan Perkeretaapian setiap pemeriksaan, penyelenggara prasarana perkeretaapian wajib mengetahui agar kereta api tersebut laik operasi dan Peraturan Menteri (PM) Perhubungan Nomor 32 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Perkeretaapian setiap penyelenggara wajib melakukan pemeriksaan terhadap prasarana yang dioperasikan untuk mengetahui kondisi dan fungsi prasarana perkeretaapian. Perawatan atau perbaikan jalan rel dapat dilakukan untuk menjaga sebuah kondisi jalan rel yang sesuai dengan standar pengoperasian, untuk melayani perkeretaapian dapat dilakukan dengan sesuai kelas jalan rel yang telah ditetapkan berdasarkan Peraturan Menteri (PM) Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.

Untuk mewujudkan kondisi prasarana jalan rel yang baik dan handal, maka perlu dilakukan perawatan dengan baik dan benar secara rutin agar tetap dapat dilalui kereta api dengan aman, nyaman sesuai dengan kecepatan dan tekanan gandar yang telah ditentukan, sehingga dengan kondisi prasarana yang baik dan handal diharapkan dapat terwujudnya peningkatan keselamatan dan keamanan perkeretaapian.

Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Rantau Prapat merupakan bagian dari *Trans Sumatera Railways* yang telah dibangun sejak tahun 1937 dan terus ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Jalur eksisting menggunakan tipe rel R.42 dan merupakan jalur kereta api Kelas III dengan kecepatan 70 km/jam. Pada tahun 2020, terdapat 62 kali kejadian rel putus di sepanjang jalur kereta api. Terdapat pula gogosan atau longsoran yang terjadi pada dinding tebing di salah satu titik jalur kereta api. Hal ini cukup penting untuk ditindaklanjuti karena berpengaruh atas keselamatan pada saat kereta api sedang beroperasi.

Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan peningkatan jalur kereta api Lintas Kisaran – Rantau Prapat. Dengan meningkatkan *Track Quality Index* (TQI) Jalur Kereta Api dari Kelas III menjadi kelas I berikut dengan penggantian rel tipe R.42 menjadi R.54 dan mengganti bantalan rel yang digunakan sepanjang Jalur Kereta Api. Penelitian ini akan menganalisis ketahanan tipe rel terhadap beban yang diberikan. Serta penggantian R.42 menjadi R.54 pada proyek Peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran - Rantau Parapat Segmen Kisaran Mambang – Muda.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang disajikan, maka rumusan masalah yang akan dikaji adalah:

1. Bagaimana Evaluasi kondisi eksisting jalan rel yang masih menggunakan R.42 pada Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda.
2. Bagaimana analisis kelayakan Rel R.54 yang digunakan pada pekerjaan peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda.
3. Bagaimana perbandingan kondisi eksisting dan saat ini (setelah peningkatan) pada Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengevaluasi kondisi eksisting jalan rel yang masih menggunakan Rel R.42 pada Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda.
2. Untuk menganalisis kelayakan Rel R.54 yang digunakan pada pekerjaan peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda.
3. Untuk mengetahui perbandingan kondisi eksisting dan saat ini (setelah peningkatan) pada Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda.

### **1.4 Batasan Masalah**

Dengan keterbatasan waktu yang dimiliki dan mempertimbangkan luasnya faktor-faktor yang berpengaruh, maka dalam studi kasus ini digunakan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Tipe rel kereta api yang dibahas dalam penelitian ini adalah R.42 dan R.54.
2. Menganalisis kedua tipe rel tersebut ditinjau dari karakteristik beban, serta tegangan yang terjadi.
3. Dalam struktur jalan rel, penelitian ini hanya membahas mengenai tipe rel dan spesifikasinya.
4. Melakukan analisis perhitungan atas kondisi eksisting dan setelah dilakukan peningkatan jalur kereta api.
5. Dalam penelitian ini, tidak meninjau pada saat kondisi gempa.
6. Dalam pembahasan tugas akhir ini tidak meninjau perencanaan biaya.
7. Data yang digunakan didapatkan langsung dari Balai Teknik Perkeretaapian Kelas I Medan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari hasil perhitungan menghasilkan penyebab terjadinya kerusakan pada rel kondisi eksisting sehingga harus dilakukan pekerjaan peningkatan jalur kereta api



serta mendapatkan analisa kelayakan rel R.54 yang digunakan. Hasil penelitian ini juga dapat memberikan manfaat dan acuan bagi penelitian selanjutnya.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Untuk memperjelas tahapan yang dilakukan dalam tugas akhir ini, di dalam penulisannya dikelompokkan ke dalam 5 (lima) bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini meliputi pengambilan teori dari beberapa sumber bacaan dan narasumber yang mendukung analisa permasalahan yang berkaitan dengan tugas akhir ini.

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang pendeskripsian dan langkah langkah yang akan dilakukan. Cara memperoleh data-data yang relevan dengan studi kasus yang berisikan objek, alat-alat, tahapan dan kebutuhan data.

### **BAB 4 ANALISA DATA**

Bab ini membahas tentang proses pengolahan data, penyajian data dan hasil data.

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan logis berdasarkan analisis data, temuan dan bukti yang disajikan sebelumnya yang menjadi dasar untuk menyusun suatu saran sebagai suatu usulan.

## BAB 2

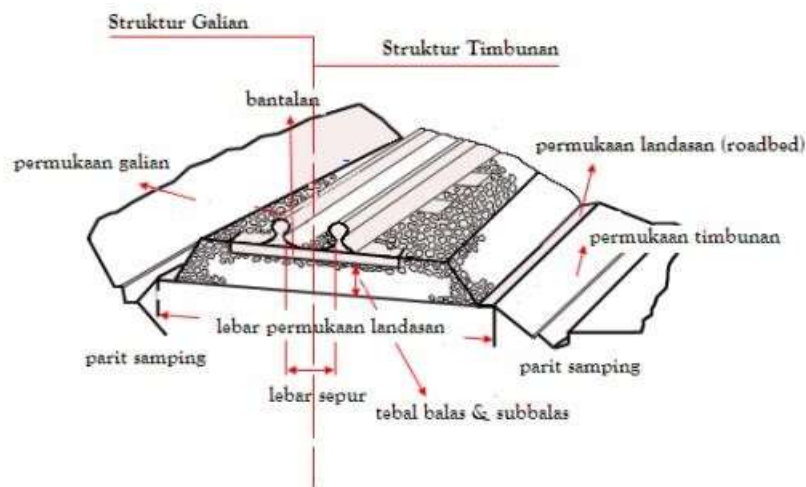
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Struktur Rel Kreta Api

Sesuai dengan tipe konstruksinya, jalan rel dapat dibagi dalam dua bentuk konstruksi, yaitu :

1. Jalan rel dalam konstruksi timbunan,
2. Jalan rel dalam konstruksi galian.

Jalan rel dalam konstruksi timbunan biasanya terdapat pada daerah (medan) yang cenderung datar, sedangkan jalan rel pada konstruksi galian umumnya terdapat pada medan pegunungan. Gambar 2.3 menunjukkan contoh potongan konstruksi jalan rel pada daerah galian (potongan di sebelah kiri) dan konstruksi pada daerah timbunan (potongan di sebelah kanan).

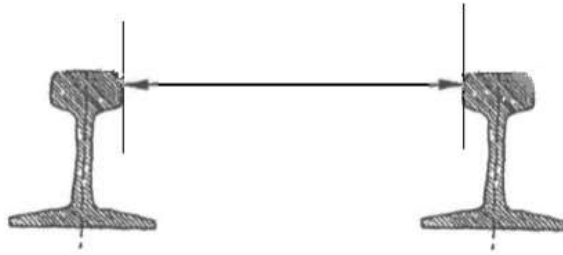


Gambar 2. 1 : Contoh Potongsn Jalan Rel pada Struktur Galian dan Timbunan

Secara umum jalan rel di Indonesia dibedakan menurut beberapa klasifikasi antara lain sebagai berikut :

1. Klasifikasi jalan rel menurut lebar sepur

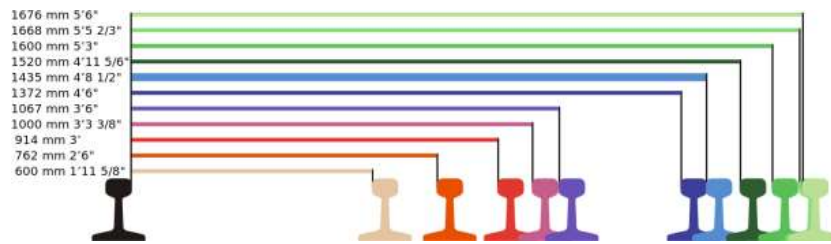
Lebar sepur merupakan jarak terkecil di antara kedua sisi kepala rel (bagian dalam) diukur pada daerah 0 – 14 mm di bawah permukaan teratas kepala rel (Gambar 2.4).



Gambar 2. 2 : Ukuran Lebar Sepur Pada Struktur Jalan Rel

Rosyidi (2015), menyebutkan ada tiga jenis ukuran lebar sepur di dunia itu sebagai berikut :

- a. Sepur Standar (standard gauge). Sepur standar juga disebut Stephenson gauge merupakan ukuran internasional untuk lebar sepur normal (normal gauge) yang banyak digunakan sebagai ukuran sepur di dunia. Sekurangnya 60% jalan rel di dunia menggunakan lebar sepur normal ini. Lebar sepur normal adalah 1,435 mm 4 ft 8½ in yang digunakan di US, Kanada dan Inggris, selain itu juga digunakan pada beberapa negaranegara Eropa, Turki, Iran dan Jepang. Malaysia juga telah menggunakan sepur standar ini untuk KLIA Express, angkutan kereta api sepanjang 57 km yang menghubungkan Kuala Lumpur dan Kuala Lumpur International Airport, Sepang. (Gambar 3.5)
- b. Sepur lebar (broad gauge), lebar sepur > 1435 mm, digunakan pada negara Finlandia, Rusia (1524 mm), Spanyol, Pakistan, Portugal dan India (1676 mm) . (Gambar 3.5).
- c. Sepur Sempit (narrow gauge), lebar sepur < 1435 mm, sebagian besar digunakan di negara Indonesia, Amerika Latin, Jepang, Afrika Selatan (1067 mm), Malaysia, Birma, Thailand dan Kamboja (1000 mm/3 ft 3 3/8 in atau dikenal dengan metre gauge). (Gambar 2.5)



Gambar 2. 3 : Beberapa Ukuran Lebar Sepur di Dunia

## 2. Klasifikasi jalan rel menurut kecepatan maksimum

Menurut Utomo (2009), sebelum menjelaskan kecepatan maksimum, perlu dijelaskan bahwa dalam transportasi kereta api dikenal adanya empat kecepatan, sebagai berikut :

- a. Kecepatan perancangan (design speed), yaitu kecepatan yang digunakan dalam perancangan struktur jalan rel dan perancangan geometrik jalan.
- b. Kecepatan maksimum (maximum speed), yaitu kecepatan tertinggi yang diijinkan dalam operasi suatu rangkaian kereta api pada suatu lintas.
- c. Kecepatan operasi (operational speed), ialah kecepatan rerata kereta api pada petak jalan tertentu.
- d. Kecepatan komersial (Commercial speed), merupakan kecepatan yang dijual kepada konsumen. Kecepatan komersial ini diperoleh dengan cara membagi jarak tempuh dengan kecepatan (V) maksimum kereta api yang diijinkan dengan kelas jalan rel, ialah seperti yang dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2. 1 : Kecepatan Maksimum sesuai kelas jalan rel

Kelas Jalan	Kecepatan Maksimum (km/jam)
I	120
II	110
III	100
IV	90
V	80

### 3. Klasifikasi jalan rel menurut daya lintas kereta api

Sesuai dengan peraturan di Indonesia, daya lintas kereta api yang (diukur dalam juta ton/tahun) dapat dibagi dalam dua kelompok kelas jalan yaitu untuk lebar sepur 1067 mm (Tabel 2.2) dan 1435 mm (Tabel 2.3).

Tabel 2. 2 : Daya Angkut Lintas Yang Diiijinkan Untuk Lebar Sepur 1453 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut lintas (106 x Ton/Tahun)
I	> 20
II	10 - 20
III	5 - 10
IV	2,5 - 5
V	< 25

Tabel 2. 3 : Daya angkut lintas yang diijinkan untuk lebar sepur 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut lintas (106 x Ton/Tahun)
I	> 20
II	10 - 20
III	5 - 10
IV	< 25

### 4. Klasifikasi jalan rel menurut kelandaian

Kelandaian jalan atau tanjakan merupakan parameter penting dalam perencanaan geometrik jalan. Kelandaian jalan dipengaruhi oleh kondisi topografi medan. Meskipun demikian, rangkaian pergerakan kereta api memiliki keterbatasan untuk bergerak pada kondisi medan curam atau kelandaian yang tinggi. Berikut, pengelompokan lintas jalan rel berdasarkan kelandaian jalan :

- a. Lintas Datar : kelandaian 0 sampai dengan 10 ‰
- b. Lintas Pegunungan : kelandaian 10 sampai dengan 40‰
- c. Lintas dengan rel gigi : kelandaian 40 sampai dengan 80 ‰
- d. Kelandaian di emplasemen : kelandaian 0 sampai dengan 1,5 ‰

Dalam Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012, klasifikasi jalan rel menurut kelandaian jalan ditentukan berdasarkan persyaratan landai penentu, persyaratan landai curam dan persyaratan landai emplasemen. Landai penentu adalah suatu kelandaian (pendakian) yang terbesar yang ada pada suatu lintas lurus. Persyaratan landai penentu harus memenuhi persyaratan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.4

Tabel 2. 4 : Klasifikasi jalan berdasarkan landai penentu maksimum

Kelas Jalan	Landai Penentu Maksimum
I	10%
II	10%
III	20%
IV	25%
V	25%

Dalam kondisi tertentu, kelandaian lintas lurus dapat melebihi landai penentu. Meskipun demikian, nilai kelaikan kelandaian yang melebihi landai curam perlu dihitung secara cermat. Apabila di suatu kelandaian terdapat lengkung atau terowongan, maka kelandaian di lengkung atau terowongan itu harus dikurangi sehingga jumlah tahanannya tetap. (Tim Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT), 2021)

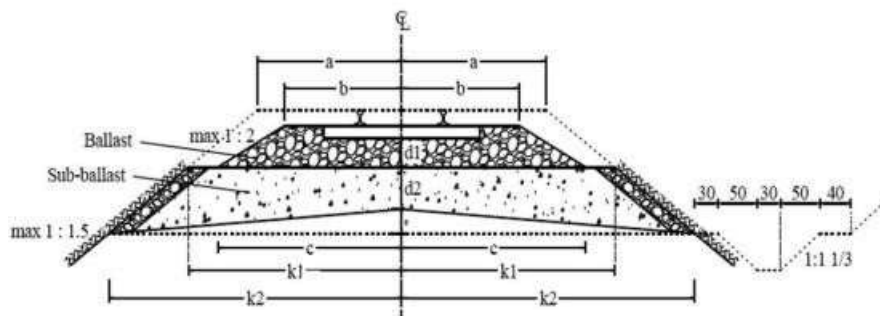
#### 5. Klasifikasi jalan rel menurut beban gandar

Beban gandar merupakan beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar. Klasifikasi jalan rel menurut beban gandar maksimum dibedakan berdasarkan lebar sepurnya, sebagai berikut :

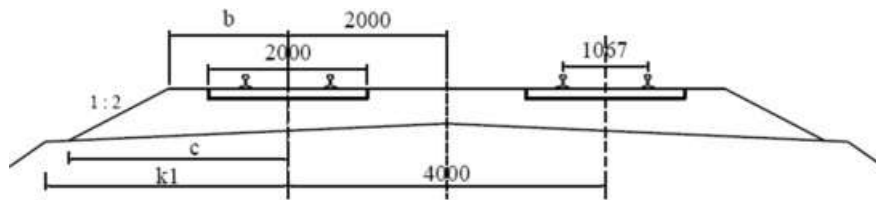
- a. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 18 ton.
- b. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1435 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 22,5 ton.

6. Klasifikasi jalan rel menurut jumlah jalur

- a. Jalur tunggal : Jumlah jalur di lintas bebas hanya satu, dan diperuntukkan untuk melayani arus lalu lintas angkutan jalan rel dari dua arah (Gambar 2.6).
- b. Jalur tunggal : Jumlah jalur di lintas bebas hanya satu, dan diperuntukkan untuk melayani arus lalu lintas angkutan jalan rel dari dua arah (Gambar 2.6).



Gambar 2. 4 : Jalur Tunggal Trase Jalan Rel pada Jalur Lurus



Gambar 2. 5 : Jalur Ganda Trase Jalan Rel Pada Jalur Lurus

Komponen struktur jalan rel secara umum dijelaskan sebagai berikut :

**2.1.1 Rel**

Rel merupakan struktur balok menerus yang diletakkan di atas tumpuan bantalan yang berfungsi sebagai penuntun dan mengarahkan pergerakan roda kereta api. Rel juga disiapkan memiliki kemampuan untuk menerima secara langsung dan menyalurkan beban kereta api kepada bantalan tanpa menimbulkan defeksi yang berarti pada bagian balok rel di antara tumpuan bantalan. (Wahab & Afriyani, 2017)

Rel juga berfungsi sebagai struktur pengikat dalam pembentukan struktur jalan rel yang kokoh. Bentuk dan geometrik rel perlu dirancang sedemikian sehingga

dapat berfungsi sebagai penahan gaya akibat pergerakan dan beban kereta api. Pertimbangan yang diperlukan dalam membuat geometrik jalan rel adalah :

1. Permukaan rel harus dirancang memiliki permukaan yang cukup lebar untuk membuat tegangan kontak di antara rel dan roda sekecil mungkin.
2. Kepala rel harus cukup tebal untuk memberikan umur manfaat yang panjang.
3. Badan rel harus cukup tebal untuk menjaga dari pengaruh korosi dan mampu menahan tegangan lentur serta tegangan horisontal.
4. Dasar rel harus cukup lebar untuk dapat mengecilkan distribusi tegangan ke bantalan baik melalui pelat andas maupun tidak.
5. Dasar rel juga harus tebal untuk tetap kaku dan menjaga bagian yang hilang akibat korosi.
6. Momen inersia harus cukup tinggi, sehingga tinggi rel diusahakan tinggi dan mencukupi tanpa bahaya tekuk.
7. Tegangan horisontal diusahakan dapat direduksi oleh kepala dan dasar rel dengan perencanaan geometriknya yang cukup lebar.
8. Stabilitas horisontal dipengaruhi oleh perbandingan lebar dan tinggi rel yang mencukupi.
9. Titik pusat sebaiknya di tengah rel.
10. Geometrik badan rel harus sesuai dengan pelat sambung.
11. Jari-jari kepala rel harus cukup besar untuk mereduksi tegangan kontak.

#### **2.1.1.1 Persyaratan umum rel**

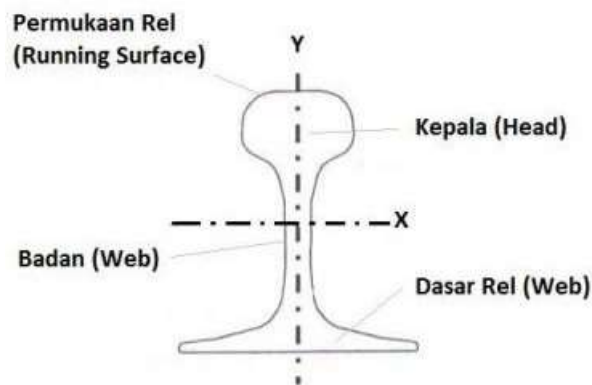
##### **a. Berat Optimum**

Rel dirancang dengan berat tertentu yang terdiri dari bagian-bagian rel yang terintegrasi dan dibentuk dari distribusi bahan metalurgi yang efektif. Masing-masing bagian rel didisain untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik dan optimal. Bagian-bagian rel tersebut adalah (Gambar 2.8).

1. Kepala rel (head), ukuran kepala rel termasuk didalamnya permukaan rel harus direncanakan sedemikian sehingga memiliki daya tahan terhadap keausan selama waktu pelayanan rel yang direncanakan.



2. Badan rel (web), badan rel ditentukan dengan tebal yang memadai untuk dapat menahan beban dan momen akibat pergerakan kereta api dan mempunyai daya tahan terhadap korosi.
3. Kaki rel (foot), kaki rel harus dirancang selebar yang mungkin sehingga kedudukan rel menjadi stabil terhadap dorongan maupun puntiran akibat pergerakan kereta api, dan mampu mendistribusikan beban yang diterima kepada bantalan dengan baik. Tebal kaki rel juga perlu dirancang untuk memperhitungkan kehilangan materi akibat korosi dan stabilitas rel.



Gambar 2. 6 : Bagian - bagian Rel

b. Kekakuan

Kekakuan atau stiffness dapat diukur melalui momen inersia rel. Disain rel yang ekonomis dan efektif mensyaratkan nilai momen inersia maksimum per berat unit rel yang konsisten dengan kekakuan rel dalam berbagai arah.

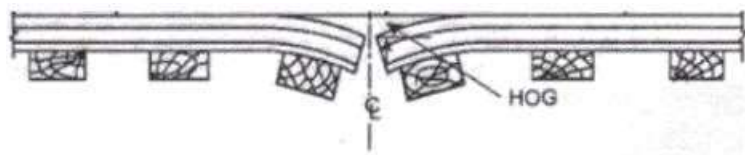
c. Kekuatan

Kekuatan (strength) rel dapat ditentukan dari modulus potongan rel (section modulus). Modulus section pada rel maupun lempeng baja (fishplate) ditentukan sedemikian sehingga mampu menahan tegangan yang terjadi akibat beban kendaraan kereta api. Disain rel yang efisien mensyaratkan rasio tertinggi yang mungkin antara modulus section lempeng baja sambungan terhadap rel. (Sipil, 2020)

d. Durabilitas

Beberapa faktor terkait durabilitas yang mempunyai kaitannya dengan ketahanan secara langsung maupun tidak langsung dalam disain rel dan yang mempengaruhi umur manfaat rel diantaranya :

1. Keausan (Wear)
2. Kerusakan ujung rel (rail end better)
3. Kerusakan hanged-rail (hogging)



Gambar 2. 7 : Kerusakan Pada Ujung Rel, Hogged Rail

**2.1.1.2 Tipe dan Karakteristik rel**

Menurut Utomo (2009), tipe rel yang digunakan untuk jalan pada dasarnya adalah sesuai dengan kelas jalan relnya, dapat dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2. 5 : Tipe Rel Pada Jalan Rel

Kelas Jalan	Tipe Rel
I	R 60/ R 54
II	R 54 / R 50
III	R 54 / R 50 / R 42
IV	R 54 / R 50 / R 42
V	R 42

Tabel 2. 6 : Karakteristik Rel

Karakteristik Rel		Tipe Rel			
Karakteristik	Notasi dan Satuan	R 42	R 50	R 54	R 60
Tinggi rel	H (mm)	138	153	159	172
Lebar kaki	B (mm)	110	127	140	150
Lebar kepala	C (mm)	68.5	65	70	150
Tebal badan	D (mm)	13.5	15	16	16.5
Tinggi kepala	E (mm)	40.5	49	49.4	51
Tinggi kaki	F (mm)	23.5	30	30.2	31.5
Jarak tepi bawah kaki rel ke garis horisontal dari pusat kelengkungan badan rel	G (mm)	72	76	74.97	80.95
Jari - jari kelengkungan badan rel	R (mm)	320	500	508	120
Luas Penampang	A (cm <sup>2</sup> )	54.26	64.2	69.34	76.86
Berat Rel	W (kg/m)	42.59	50.4	54.43	60.34
Momen Inersia terhadap sumbu X	I <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	1369	1960	2346	3055
Jarak tepi bawah kaki rel ke garis netral	Y <sub>b</sub> (mm)	68.5	71.6	76.2	80.95

### 2.1.1.3 Jenis Rel

Menurut (Mias, Fadlun; Rosyidi, Sri Atmaja P; Muntohar, 2019) menjelaskan bahwa jenis rel yang dimaksud di sini ialah jenis rel menurut panjangnya. Terdapat tiga jenis rel menurut panjangnya, yaitu :

1. Rel Standar Rel satandar mempunyai panjang 25 meter. Pada waktu yang lalu, panjang rel standar ialah 17 meter, tetapi sekarang PT Kereta Api (persero) menggunakan panjang 25 meter untuk rel standar.
2. Rel Pendek Rel pendek dibuat dari beberapa rel standar yang disambung dengan las dan dikerjakan di tempat pengerjaan (balai yasa/depot dan sejenisnya). Rel pendek ini maksimumnya 100 meter. Batasan panjang rel tersebut adalah berdasarkan pada kemudahan pengangkutan ke lapangan dan pengangkatan di lapangan.
3. Rel Panjang Rel panjang dibuat dari beberapa rel pendek yang disambung dengan las di lapangan, dikenal pula sebagai Continuous Welded Rail (CWR). Panjang minimum rel panjang tergantung pada jenis bantalan yang digunakan dan tipe rel, seperti tercantum pada tabel 2.7

Tabel 2. 7 : Panjang Minimum Rel Panjang

Jenis Bantalan	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
Bantalan Beton	325	375	400	450
Bantalan Kayu	200	225	250	275

### 2.1.2 Penambat Rel

Penambat rel merupakan suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sedemikian sehingga kedudukan rel menjadi kokoh dan kuat. Kedudukan rel dapat bergeser diakibatkan oleh pergerakan dinamis roda kereta yang bergerak di atas rel. Pergerakan dinamis roda dapat mengakibatkan gaya lateral yang besar terhadap rel. Oleh karena itu, kekuatan penambat sangat diperlukan untuk mengurangi secara signifikan gaya lateral ini. (Rosyidi, 2015)

#### 2.1.2.1 Pertimbangan dalam Penggunaan Penambat

1. Faktor – faktor penggunaan penambat

Penggunaan jenis penambat ditentukan oleh pertimbangan beberapa faktor diantaranya :

- a. Besarnya gaya jepit (clamping force).
- b. Besarnya nilai rangkak (creep resistance).

- c. Kemudahan dalam perawatan penambat.
- d. Pengalaman pemakaian, terkait dengan catatan teknis pemakaian.
- e. Pemakaian kembali (re-use).
- f. Umur penambat.
- g. Harga penambat.

## 2. Persyaratan teknis penambat

- a. Gaya jepit harus kuat menjamin gaya tahan rel pada bantalan lebih besar daripada gaya tahan rangkai bantalan pada stabilitas dasar balas.
- b. Gaya jepit penambat dapat bertahan lama, meskipun alat jepit tidak dapat dihindarkan dari adanya kelonggaran dan keausan pada pelat andas maupun anker akibat dari menahan getaran yang berterusan.
- c. Frekuensi getaran alami (natural frequency) penambat pada dasarnya harus lebih besar dari frekuensi getaran alami rel supaya dapat mencegah setiap kehilangan kontak antara penambat dengan rel selama lalu lintas melalui jalan rel.
- d. Bahan material penambat harus mempunyai kualitas yang baik agar dapat mempertahankan kekenyalan penambat dalam jangka waktu lama setelah pekerjaan pemasangan maupun pembongkaran.
- e. Teknologi pemasangan rel dan penambat sebaiknya dilakukan secara cepat baik secara mekanik sederhana maupun manual.
- f. Penyetelan penambat sebaiknya dilakukan secara cepat dan mudah (kemudahan dalam pekerjaan), serta diusahakan dapat dilakukan oleh petugas selain teknisi.
- g. Penambat cukup mampu dan kuat sebagai penggabungan susunan isolasi listrik dan mudah diganti bila terjadi kerusakan.
- h. Penambat mempunyai alas karet yang dapat mencegah rangkai rel, meredam tegangan vertikal yang bekerja ke bawah dan melindungi permukaan bantalan serta mempunyai tahanan daya tahan listrik yang cukup untuk pemisahan rel dari bantalan. Alas karet baik yang dibuat dari karet alam dan karet sintesis harus beralur dengan motif alur lurus maupun

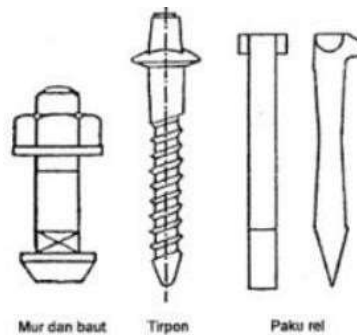
bergelombang, dengan nilai modulus elastisitas karet berkisar antara 110 hingga 140 kg/cm<sup>2</sup> .

### 2.1.2.2 Jenis Penambat Rel

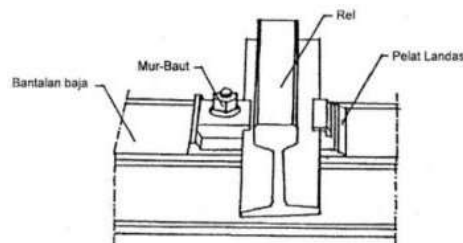
Sesuai dengan kemampuan elastisitas yang dapat diberikan oleh penambat rel terdapat dua jenis penambat rel, yaitu :

#### 1. Penambat kaku

Penambat kaku terdiri atas paku rel, tarpon (tirefond) atau mur dan baut, dengan atau tanpa plat landas.



Gambar 2. 8 : Mur, Baut, Tirpon dan Paku Rel



Gambar 2. 9 : Penambat Kaku Pada Bantalan Baja Menggunakan Pelat

#### 2. Penambat Elastis

Penambat elastis digunakan karena mempunyai kemampuan mengurangi pengaruh getaran pada rel terhadap bantalan, memberikan kuat jepit (clamping force) yang tinggi dan mampu memberikan perlawanan terhadap rangkak (creep resistance). Terdapat dua macam penambat elastis, yaitu :

- a. Penambat elastis tunggal terdiri atas plat landas, plat atau batang jepit elastis, tarpon, mur dan baut. Dimana, kekuatan jepitnya terletak pada batang batang jepit elastis.
- b. Penambat elastis ganda terdiri atas plat landas, pela atau batang jepit, alas rel, tarpon, mur dan baut. Kekuatan jepit penambat elastis terletak pada batang elastis dan biasanya digunakan pada bantalan beton, tidak menggunakan pelat landas melainkan alas karet (rubber pad) yang akan memberikan elastis tambahan sehingga mampu mencegah merangkaknya sel dan melindungi permukaan beton.

Dalam Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986, penggunaan penambat elastis dibagi menurut kelas jalan (kecepatan maksimum), sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.8

Tabel 2. 8 : Penggunaan alat penambat elastik sesuai kelas jalan

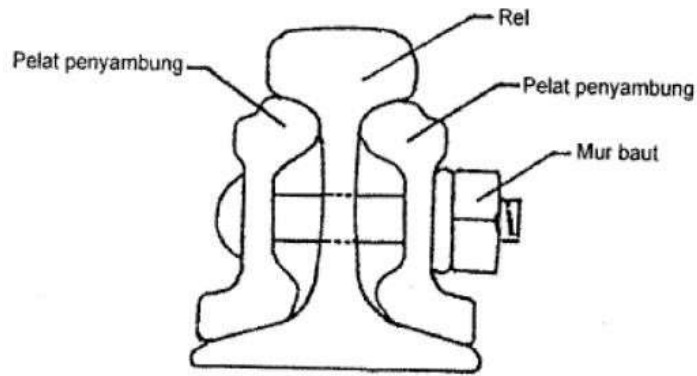
Kelas Jalan	Jenis Alat Penambat
I	Elastik Ganda
II	Elastik Ganda
III	Elastik Ganda
IV	Elastik Tunggal
V	Elastik Tunggal

### 3. Pelat sambung, mur dan baut

Berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api disebutkan bahwa penyambung rel dengan pelat sambung harus digunakan apabila tidak diperkenankan melakukan pengelasan terhadap sambungan rel terdiri dari :

- a. Dua pelat sambung kiri dan kanan.
- b. Enam baut dan mur, ring pegas atau cincin pegas dari baja, dipasang hanya empat baut untuk menjaga pemanasan rel akibat cuaca.

Pada sambungan rel, digunakan sepasang pelat penyambung yang mempunyai panjang dan ukuran yang sama.



Gambar 2. 10 : Pemasangan Pelat Penyambung

Untuk mendapatkan luas bidang singgung yang maksimum antara pelat penyambung dengan penyambung dengan permukaan bawah kepala rel dan permukaan atas kaki rel maka :

- a. Kemiringan permukaan bawah kepala rel harus sama dengan kemiringan bidang singgung bagian atas pelat penyambung.
- b. Kemiringan permukaan atas kaki rel harus sama dengan kemiringan bidang singgung bagian bawah pelat.

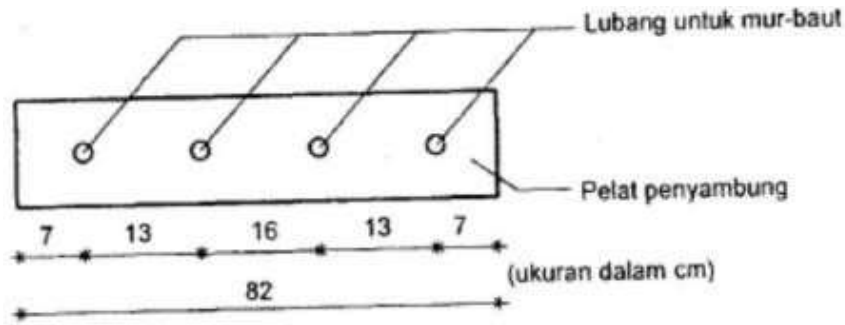
Tabel 2. 9 : Kemiringan permukaan bawah kepala rel dan permukaan atas kaki rel

Tipe Rel	Kemiringan permukaan bawah kepala rel	Kemiringan permukaan atas kaki rel
R 42	1 : 4	1 : 4
R 50	1 : 2,75	1 : 2,75
R 54	1 : 2,75	1 : 2,75
R 60	1 : 2,75	2 : 2,75

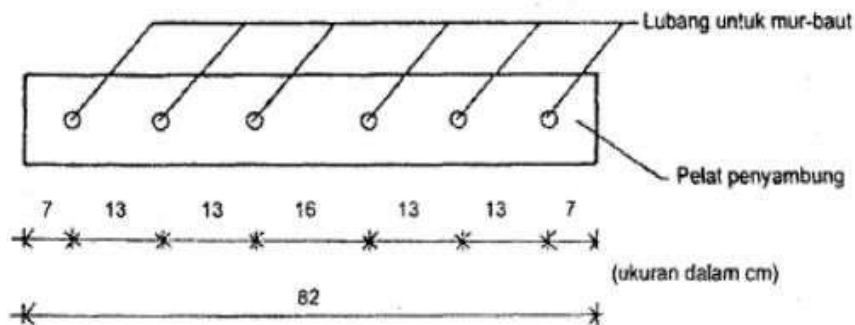
Di Indonesia sekarang ini digunakan dua ukuran standar pelat penyambung, yaitu :

- a. Pelat penyambung untuk R.42, R.50, R.54
- b. Pelat penyambung untuk R.60





Gambar 2. 11 : Pelat penyambung untuk R.42, R.50, R.54



Gambar 2. 12 : Pelat penyambung untuk R.60

### 2.1.3 Bantalan

Bantalan jalan rel mempunyai fungsi sebagai berikut (Triwinanto, 2017) :

1. Mendukung rel meneruskan beban dari rel ke balas dengan bidang sebaran beban lebih luas sehingga memperkecil tekanan yang dipikul balas,
2. Mengikat/memegang rel (dengan penambat rel) sehingga gerakan rel arah horisontal tegak lurus sumbu sepur ataupun arah membujur searah sumbu sepur dapat ditahan, sehingga jarak antara rel dan kemiringan kedudukan rel dapat dipertahankan,
3. Memberikan stabilitas kedudukan sepur di dalam balas.
4. Menghindarkan kontak langsung antara rel dengan air tanah.

### 2.1.4 Balas

Lapisan balas merupakan lapisan di atas tanah dasar yang berfungsi untuk menahan konstruksi bantalan sekaligus mampu meneruskan beban dari bantalan menuju ke tanah dasar dengan pola distribusi beban yang lebih merata. (Rosyidi, 2015).

Ukuran lapisan balas yang digunakan di Indonesia, mengacu pada klasifikasi Jalan Rel Indonesia, ditetapkan untuk lebar sepur sempit dan standar sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 2.10 dan Tabel 2.11

Tabel 2. 10 : Spesifikasi Tebal Balas Dari Klasifikasi Jalan Rel Indonesia Untuk Sepur Sempit

<b>Kelas Jalan</b>	<b>Kecepatan Maksimum (km/jam)</b>	<b>Tebal Balas Atas (cm)</b>	<b>Lebar Bahu Balas (cm)</b>
I	120	30	60
II	110	30	50
III	100	30	40
IV	90	25	40
V	80	25	35

Tabel 2. 11 : Spesifikasi Tebal Balas Dari Klasifikasi Jalan Rel Indonesia Untuk Sepur Lebar

<b>Kelas Jalan</b>	<b>Kecepatan Maksimum (km/jam)</b>	<b>Tebal Balas Atas (cm)</b>	<b>Lebar Bahu Balas (cm)</b>
I	120	30	60
II	110	30	50
III	100	30	40
IV	90	25	40

a. Persyaratan material untuk lapisan balas

Beberapa persyaratan teknis harus dipenuhi oleh material yang akan digunakan untuk lapisan balas. PD.No.10 tahun 1986 mensyaratkan bahwa material balas sebagai berikut :

1. Material balas terdiri atas batuan pecah (crushed stones) yang keras dan tahan lama, serta bersudut (angular).

2. Beberapa substansi yang merugikan tidak diperbolehkan ada dalam material balas yang melebihi jumlah tertentu, diantaranya :
  - a. Material lunak dan mudah pecah harus  $< 3 \%$ ,
  - b. Material yang lolos saringan No.200 (0,075 mm)  $< 1 \%$ ,
  - c. Gumpalan - gumpalan lempung  $< 0,5 \%$ .
3. Nilai keausan material pada pengujian Abrasi Mesin Los Angeles  $< 40 \%$ .
4. Berat padat material per meter minimal 1400 kg.
5. Partikel yang tipis dan panjang (=partikel yang mempunyai panjang sama atau lebih dari lima kali ketebalan rata-rata), diharuskan kurang dari 5 %.
6. Gradasi yang diperbolehkan sebagaimana Tabel 2.12.

Tabel 2. 12 : Persyaratan Gradasi Untuk Material Balas

Ukuran Nominal	Persen Lolos Saringan									
	3"	2 1/2"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	5/8"	No. 4	No. 8
2 1/2" - 3/4"	100	90 - 100	25 - 60	25 - 60	-	0 - 10	0 - 5	-	-	-
2" - 1"	-	100	95 - 100	35 - 70	0 - 15	-	0 - 5	-	-	-
1 1/2" - 3/4"	-	-	100	90 - 100	20 - 15	0 - 15	-	0 - 5	-	-

### 2.1.5 Sub Balast

Pada dasarnya material lapisan pondasi bawah tidak memerlukan kualitas yang sangat baik seperti halnya lapisan pondasi atas. Lapisan subballast terdiri dari kerikil halus, kerikil sedang atau pasir kasar. Lapisan pondasi bawah ini berfungsi juga sebagai lapisan pengisi antara tanah dasar dan lapisan pondasi atas dan disyaratkan mampu mengalirkan air dengan baik. (Utomo, 2009).

- a. Persyaratan material untuk lapisan sub-balas

Lapisan su-balas utamanya digunakan untuk pembangunan jalan rel baru. Kualitas material balas lebih rendah dari material granular bergradasi baik dan padat atau lebih rendah dari material balas. Material yang biasa digunakan untuk konstruksi sub-balas merupakan material yang biasa juga digunakan

untuk konstruksi base dan sub-base jalan raya. Material tersebut merupakan komninsi dari batuan pecah, kerikil alam atau kerikil pecah, pasir alam atau fabrikasi, dan slag pecah. (Rosyidi, 2015).

Berdasarkan Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 bahwa persyaratan material untuk sub-balas sebagai berikut :

1. Material sub-balas dapat berupa campuran krikil gravel) atau kumpulan agregat pecah dan pasir).
2. Material sub-balas tidak boleh memiliki kandungan material organik lebih dari 5%.
3. Untuk material sub-balas yang merupakan kumpulan agregat pecah dan pasir, maka harus rnengandung sekurangkurangnya 30% agregat pecah.
4. Lapisan sub-balas harus dipadatkan sampai mencapai 100% berat kering (  $\gamma_d$  ) menurut percobaan ASTM D 698.
5. Persyaratan gradasi sub-balas mengikuti tabel 2.13.

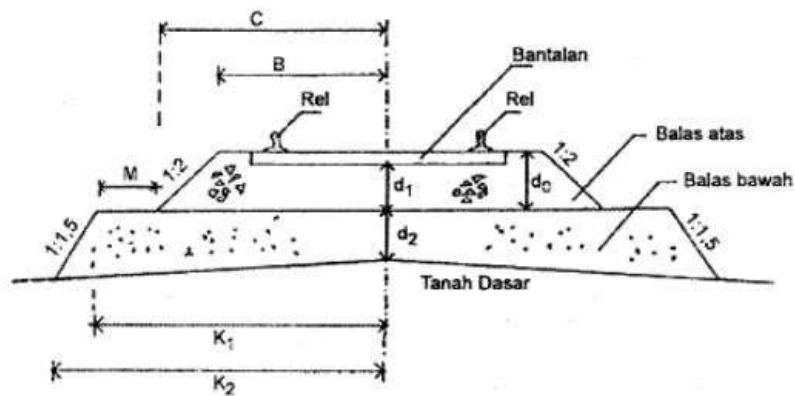
Tabel 2. 13 : Persyaratan gradasi untuk material sub-balas

Standar Saringan ASTM	Persentase Lolos Saringan (%)
2 1/2"	100
3/4"	55 - 100
No. 4	25 - 95
No. 40	5 - 35
No. 200	0 - 10

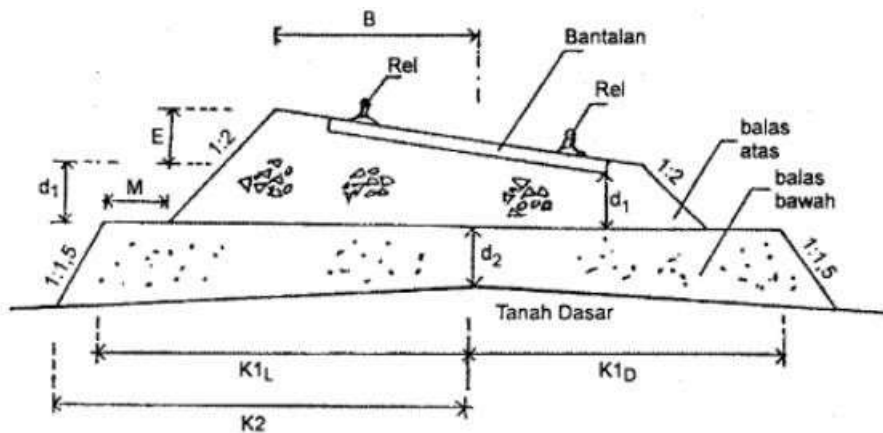
b. Bentuk dan Dimensi Lapisan Subbalas

Terdapat dua bentuk dan dimensi potongan melintang lapisan balas (balas atas atau bawah), yaitu :

1. Potongan melintang pada jalan lurus. (Gambar 2.15)
2. Potongan melintang ada jalan lengkung/tikungan. (Gambar 2.16)



Gambar 2. 13 : Potongan Melintang pada Jalan Lurus



Gambar 2. 14 : Potongan Melintang Pada Jalan Tikungan

Dengan mengetahui bentuk potongan melintang jalan rel serta menggunakan persyaratan balas, ketebalan lapisan balas yang diperlukan sesuai dengan kelas jalan rel tersaji dalam Tabel 2.14

Tabel 2. 14 : Ukuran – ukuran pada lapisan balas

	Kelas Jalan Rel				
	I	II	III	IV	V
D1 (cm)	30	30	30	25	25
B (cm)	150	150	140	140	135
C (cm)	235	235	225	215	210
K1 (cm)	265 - 315	265 - 315	240 - 270	240 - 250	240 - 250
D2 (cm)	15 - 50	15 - 50	15 - 35	15 - 35	15 - 35
E (cm)	25	25	22	20	20
K2 (cm)	375	375	325	300	300

### 2.1.6 Tanah Dasar

Lapisan subgrade merupakan lapisan yang memiliki fungsi sebagai penerima beban akhir dari kendaraan kereta api, sehingga lapisan ini perlu dirancang dan dipersiapkan untuk mampu menerima beban secara optimum tanpa terjadi adanya deformasi tetap.

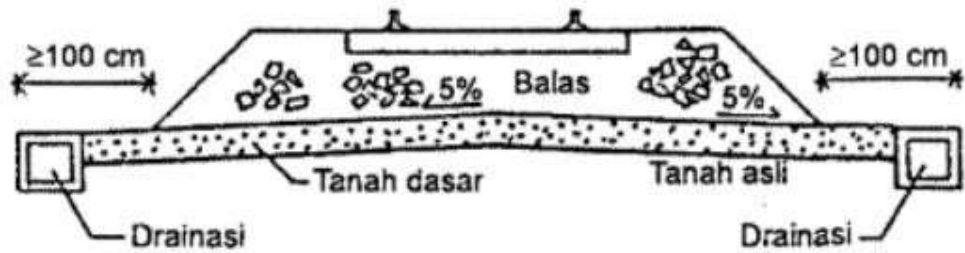
Dengan susunan struktur jalan rel yang telah digambarkan seberapapun besarnya beban gandar kereta api dan seperti apapun penyebaran dan penerusan bebannya, beban dimaksud akan didukung oleh bagian paling bawah struktur jalan rel, yaitu tanah dasar (subgrade) dan badan jalan rel. (Utomo, 2009) Adapun fungsi dari tanah dasar (subgrade) jalan rel adalah sebagai berikut :

- a. Mendukung beban yang diteruskan oleh balas kepada tanah dasar,
- b. Meneruskan beban ke lapisan bawahnya, yaitu badan jalan rel dan
- c. Memberikan landasan yang rata pada kedudukan /ketinggian /elevasi di tempat balas akan diletakkan.

Sesuai dengan fungsinya, dari sudut pandang teknik tanah dasar harus mampu menopang beban di atasnya yang harus ditopang oleh tanah dasar ialah berat lapisan balas, sedangkan tegangan yang terjadi padanya ialah tegangan yang terjadi akibat dari gaya yang diteruskan oleh bantalan kepada balas yang kemudian diteruskan dan didistribusikan oleh balas kepada lapisan tanah dasar.

Oleh karena itu, tanah dasar harus mempunyai kuat dukung yang cukup. Menurut ketentuan yang digunakan oleh PT. Kereta Api (persero, kuat dukung tanah dasar (yang dalam hal ini CBR) minimum ialah sebesar 8%. Tanah dasar yang harus memenuhi syarat minimum CBR 8% tersebut ialah tanah dasar setebal minimum 30 cm.

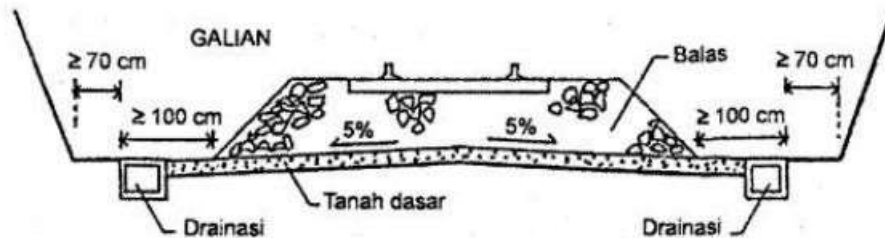
Letak tanah dasar dapat dilihat pada gambar yang menjelaskan pula tentang badan jalan, yaitu Gambar 3.21 Hingga 3.23. tanah dasar harus mempunyai kemiringan kearah luar sebesar 5%, dan harus mencapai kepadatan 100% kepadatan kering maksimum



Gambar 2. 15 : Badan Jalan Rel Pada Tanah Asli



Gambar 2. 16 : Badan Jalan Rel Pada Timbunan



Gambar 2. 17 : Badan Jalan Rel Pada Tanah Galian

## 2.2. Geometrik Jalan Rel

Geometrik jalan rel direncanakan berdasarkan kecepatan rencana dan beban kereta yang melewatinya dengan mempertimbangkan faktor keamanan, kenyamanan, dan ekonomi. (Azis et al., 2016)

### 2.2.1 Lengkung Horizontal

Geometrik jalan rel direncanakan berdasarkan kecepatan rencana dan beban kereta yang melewatinya dengan mempertimbangkan faktor keamanan, kenyamanan, dan ekonomi.

Tabel 2. 15 : Jari Jari Minimum Lengkung Horizontal

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari - jari minimum lengkung lingkaran tanpa lengkung peralihan	Jari - jari minimum lengkung lingkaran yang diijinkan dengan lengkung peralihan (m)
120	2370	780
110	1990	660
100	1650	550
90	1330	440
80	1050	350
70	810	270
60	600	200

**a. Lengkung Peralihan**

Lengkung peralihan adalah lengkung yang jari-jarinya berubah secara beraturan.

Panjang minimum dari lengkung peralihan ditetapkan dengan rumus berikut.

$$Lh=0.01 \times h \times V$$

Dimana :

Lh = Panjang minimum lengkung peralihan (m)

H = Peninggian relative antara dua bagian yang dihubungi (m)

V = kecepatan rencana untuk lengkung peralihan (km/jam)

**b. Sudut Spiral**

Sudut spiral adalah sudut yang dibentuk pada titik SC dan CS.

$$S = \frac{90 Lh}{R}$$

Dimana:

LH = Panjang lengkung peralihan (m)

R = jari – jari lengkung horizontal (m)

**c. Panjang Busur lingkaran**

Panjang busur lingkaran adalah panjang lengkung titik SC dan CS.



$$Lc = \frac{(\Delta - 2s)R}{180}$$

Dimana:

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

s = Sudut Spiral yang dibentuk

$\Delta$  = Sudut tikungan

**d. Panjang proyeksi titik P**

Titik P adalah panjang proyeksi antara garis bantu PI tegak lurus terhadap pusat lingkaran.

$$P = \frac{Lh^2}{6R} - R(1 - \cos s)$$

Dimana:

LH = Panjang lengkung peralihan (m)

R = jari – jari lengkung horizontal (m)

s = sudut spiral yang dibentuk

**e. Panjang k**

K adalah panjang proyeksi datar antara titik TS dengan SC.

$$k = Lh - \frac{Lh^3}{40R^2} - R \sin s$$

Dimana:

Lh = panjang lengkung peralihan (m)

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

s = sudut spiral yang dibentuk

**f. Panjang Ts**

Panjang Ts adalah panjang dari titik TS ke titik PI.

$$TS = (R + P) \operatorname{tg} \left( \frac{1}{2} \Delta \right) + k$$

Dimana:

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

P = panjang proyeksi garis bantu PI (m)

k = panjang antara titik TS dengan SC (m)

$\Delta$  = sudut tikungan

**g. Panjang titik E**

Panjang titik E adalah titik yang menghubungkan PI ke pusat lingkaran.

$$E = \frac{(r+p)}{\cos(\frac{1}{2}\Delta)} - R$$

Dimana:

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

P = panjang proyeksi garis bantu PI (m)

$\Delta$  = sudut tikungan

**h. Panjang Xs dan Ys**

Merupakan koordinat peralihan dari circle ke spiral.

$$Y_s = \frac{Lh^2}{6R}$$

$$X_s = \frac{hV}{144}$$

Dimana:

R = jari-jari lengkung horizontal (m)

Lh = panjang peralihan (m)

h = peninggian rel (m)

### 2.2.2 Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel tersebut. Perencanaan alinyemen vertikal berhubungan dengan besarnya volume galian dan timbunan. Oleh karena itu perencanaan lengkung vertikal ini akan berpengaruh pada biaya konstruksi.

Tabel 2. 16 : Jari-jari Minimum lengkung Vertikal

<b>Kecepatan Rencana (km/jam)</b>	<b>Jari - jari Minimum (m)</b>
Lebih besar dari 100	8000
sampai 100	6000

### 2.2.3 Kelandaian

Dalam kelandaian untuk jalan kereta api, terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi, yaitu persyaratan landai penentu, persyaratan landai curam, dan persyaratan landai emplasemen. Landai penentu adalah kelandaian terbesar yang terdapat pada lintasan lurus. Kelandaian maksimum pada emplasemen adalah sebesar 1,5% . Besarnya landai penentu untuk masing-masing kelas jalan rel, dapat dilihat pada Tabel 2.17

Tabel 2. 17 : landaian penentu

<b>Kelas Jalan Rel</b>	<b>Landai Penentu Maksimum</b>
1	10%
2	10%
3	20%
4	25%
5	25%

### 2.3. Kriteria Struktur Jalan Rel

Rosyidi (2015), menyebutkan bahwa struktur jalan rel mempunyai beberapa kriteria antara lain sebagai berikut :

#### 2.3.1 Kekakuan (*Stiffness*)

Kriteria struktur jalan rel yang kaku difungsikan untuk mempertahankan struktur dari terjadinya deformasi vertikal yang permanen. Deformasi vertikal diakibatkan oleh distribusi beban lalu lintas kereta api yang juga dapat digunakan untuk menilai umur, kekuatan dan kualitas jalan rel.

#### 2.3.2 Elastisitas (*Elastic/Resilence*)

Kriteria elastisitas diperlukan untuk menciptakan kenyamanan dalam perjalanan kereta api, menjaga terjadinya patah atau kerusakan berat pada as roda disebabkan oleh pergerakan beban kereta yang cukup besar di atas struktur jalan rel, meredam adanya kejutan akibat pengereman dan pengurangan kecepatan, benturan atau impact yang terjadi antara roda dan rel serta getaran vertikal yang bersifat menerus.

### **2.3.3 Ketahanan terhadap deformasi tetap**

Deformasi vertikal yang berlebihan akan cenderung menjadi deformasi tetap sehingga geometrik jalan rel (ketidakrataan vertikal, horisontal dan puntir) menjadi tidak baik, yang pada akhirnya kenyamanan dan keamanan terganggu. Karakteristik sarana yang khusus dalam angkutan kereta api menimbulkan keterbatasan-keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam struktur jalan rel.

### **2.3.4 Stabilitas**

Jalan rel yang stabil dapat mempertahankan struktur jalan pada posisi yang tetap/semula (vertikal dan horisontal) setelah pembebanan terjadi. Untuk ini diperlukan balas dengan mutu dan kepadatan yang baik, bantalan dengan penambat yang selalu terikat dan drainasi yang baik. Selain itu, tubuh badan jalan rel perlu didisain dengan baik. Tubuh jalan rel meliputi seluruh struktur jalan kereta api ditambah dengan bangunan-bangunan pelengkap yang diperlukan sepanjang jalan kereta api rencana. Perencanaan tubuh jalan ini didasarkan pada kondisi medan (topografi), struktur geologi, karakteristik hidrologi, sifat-sifat fisik dan mekanik tanah.

### **2.3.5 Kemudahan untuk pengaturan dan pemeliharaan (*Adjustability*)**

Jalan harus memiliki sifat dan kemudahan dalam pengawasan, pengaturan dan pemeliharaan sehingga dapat dikembalikan ke posisi geometrik dan struktur jalan rel yang benar jika terjadi perubahan geometri akibat beban yang berjalan. Pekerjaan pengawasan, pengaturan dan pemeliharaan dilakukan oleh operator dan pemerintah. Pekerjaan ini dilakukan untuk memastikan perjalanan kereta api dapat berjalan dengan aman dan nyaman. Audit keselamatan terhadap kesiapan struktur jalan rel untuk dioperasikan seterusnya menjadi isu penting dalam transportasi perkeretaapian. Fasilitas pendukung untuk pengawasan, pengaturan dan pemeliharaan perlu diperhitungkan sebaik mungkin khususnya untuk trase jalan yang terletak di daerah terpencil dan minimnya akses transportasi pendukung lainnya serta trase yang melewati wilayah yang berisiko (misalnya kawasan banjir, tanah bergerak dan longsor).

## **2.4. Penelitian Terdahulu**

### **2.4.1 Analisis Kelayakan Konstruksi Bagian Atas Jalan Rel Dalam Kegiatan Revitalisasi Jalur Kereta Api Lubuk Alung-Kayu Tanam (KM 39,699-KM 60,038) (Wahab & Afriyani, 2017)**

Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap kelayakan konstruksi jalan rel kereta api Lubuk Alung Kayu Tanam mengingat jalur ini telah lama tidak digunakan dan adanya peningkatan konstruksi jalan kereta api pada rute tersebut dari kelas II menjadi kelas 1. Teknik analisis data menggunakan standar perencanaan jalan rel di Indonesia yang lebih dikenal dengan Peraturan Dinas (PD) Nomor 10 tahun 1986.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rel eksisting (tipe R33) tidak layak digunakan untuk konstruksi jalan rel kelas 1 dengan beban gandar 18 ton karena kemampuan bantalan eksisting (bantalan baja) untuk menahan beban yang terdistribusi dari rel (Qb) lebih kecil dari pada beban yang terdistribusi dari rel (Qr) sehingga akibatnya bantalan baja tidak mampu menahan beban yang terdistribusi dari rel. Rel (tipe R54) dapat digunakan untuk konstruksi jalan rel kelas 1 dengan beban gandar 18 ton. Bantalan beton prategang (mutu K-500) dapat digunakan, karena kemampuan beton prategang untuk menahan beban rel lebih besar dari beban rel yang terdistribusi ( $Q_b > Q_r$ ). Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa peningkatan konstruksi jalan rel dalam bentuk kegiatan revitalisasi jalur kereta api Lubuk Alung-Kayu Tanam layak dilakukan.

### **2.4.2 Analisis Perbandingan Rel Tipe R33 Dengan Tipe R54 Dan Pengaruh Terhadap Kinerja Kereta (Studi Kasus Jalur Rel Kereta Medan – Binjai) (Husein, 2022)**

Jalur perlintasan sebidang kereta merupakan perpotongan sebidang antara jalur rel kereta yang dipergunakan untuk melintasnya kereta dengan jalur yang dipergunakan untuk lalu lintas kendaraan jalan raya. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan tipe rel R33 dengan R54 serta pengaruhnya terhadap kinerja kereta pada jalur perlintasan tepatnya di Medan - Binjai. Dalam penelitian ini, beberapa analisa telah dilakukan, antara lain analisa diameter rel tipe R33 dengan R54. Metode penelitian dilakukan secara kuantitatif melalui

pengamatan ukuran diameter dilakukan dengan cara mengambil data di lapangan, perusahaan, serta beberapa referensi dari literatur yang ada dan dilanjutkan dengan menganalisis perhitungan pembebanan dengan beban gandar sebesar 18 ton.

Dari gaya vertikal yang bekerja pada masing - masing rel berbeda, diantaranya terjadinya transformasi gaya statik ke gaya dinamik dengan persamaan TALBOT. Pada rel tipe R33 gaya dinamik sebesar 12.465,47 kg/ cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada R54 lebih besar yakni 16.940,30 kg/ cm<sup>2</sup>. Analisis perhitungan kemudian dilanjutkan dengan analisis faktor reduksi, momen maksimum, dan tegangan ijin rel pada konfigurasi lokomotif BB dan CC pada rel tipe R33 dan R54. Hasil dari tegangan ijin pada tiap rel memenuhi persyaratan dalam peraturan yang ada, akan tetapi dengan batas kecepatan yang berbeda yaitu untuk rel tipe R33 sebesar 70 km/ jam dan R54 120 km/ jam.

#### **2.4.3 Evaluasi Kerusakan Jalan Rel Lintas Sepanjang Boharan Km 24+167 – Km 33+867 (Sukra, 2021)**

Berdasarkan Peraturan Menteri (PM) Perhubungan Nomor 31 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Pemeriksaan Perkeretaapian setiap pemeriksaan, penyelenggara prasarana perkeretaapian wajib mengetahui agar kereta api tersebut laik operasi dan Peraturan Menteri (PM) Perhubungan Nomor 32 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Perkeretaapian setiap penyelenggara wajib melakukan pemeriksaan terhadap prasarana yang dioperasikan untuk mengetahui kondisi dan fungsi prasarana perkeretaapian.

Kesimpulan yang dapat diambil setelah melakukan analisis adalah sebagai berikut: 1. Penyebab kerusakan komponen jalan rel lintas Sepanjang-Boharan yaitu kurangnya volume balas, kurangnya kepadatan balas, tanah pada jalan lembek atau lemah. Dampak dari kerusakan komponen jalan rel yaitu akan mempengaruhi pertinggian jalan rel dan lebar jalan rel, mengurangi peredaman getaran pada rel dan akan mempengaruhi kehandalan jalan rel. 2. Untuk penggunaan jenis rel R.33 dan R.42 pada lintas Sepanjang-Boharan tidak sesuai dengan standar klasifikasi kelas jalan rel. 3. Kebutuhan komponen jalan rel pada lintas Sepanjang-Boharan dibutuhkan jumlah bantalan sebanyak 108 buah, penambat sebanyak 618 buah dan jumlah balas 9.328,22 m<sup>3</sup>.

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

Proyek Peningkatan Jalan KA Lintas Kisaran – Rantauprapat Tahap I Segmen Kisaran – Mambangmuda Berlokasi di Kabupaten Asahan dan Kabupaten Labuhan Batu Utara, Provinsi Sumatera Utara. Proyek ini merupakan salah satu kegiatan dari Balai Teknik Perkeretaapian Kelas I Medan.



Gambar 3. 1 : Lokasi Proyek

#### 3.2 Pengumpulan Data

Melakukan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk penyusunan penelitian ini. Adapun teknik pengumpulan data adalah sebagai berikut :

##### 3.3.1 Data Primer

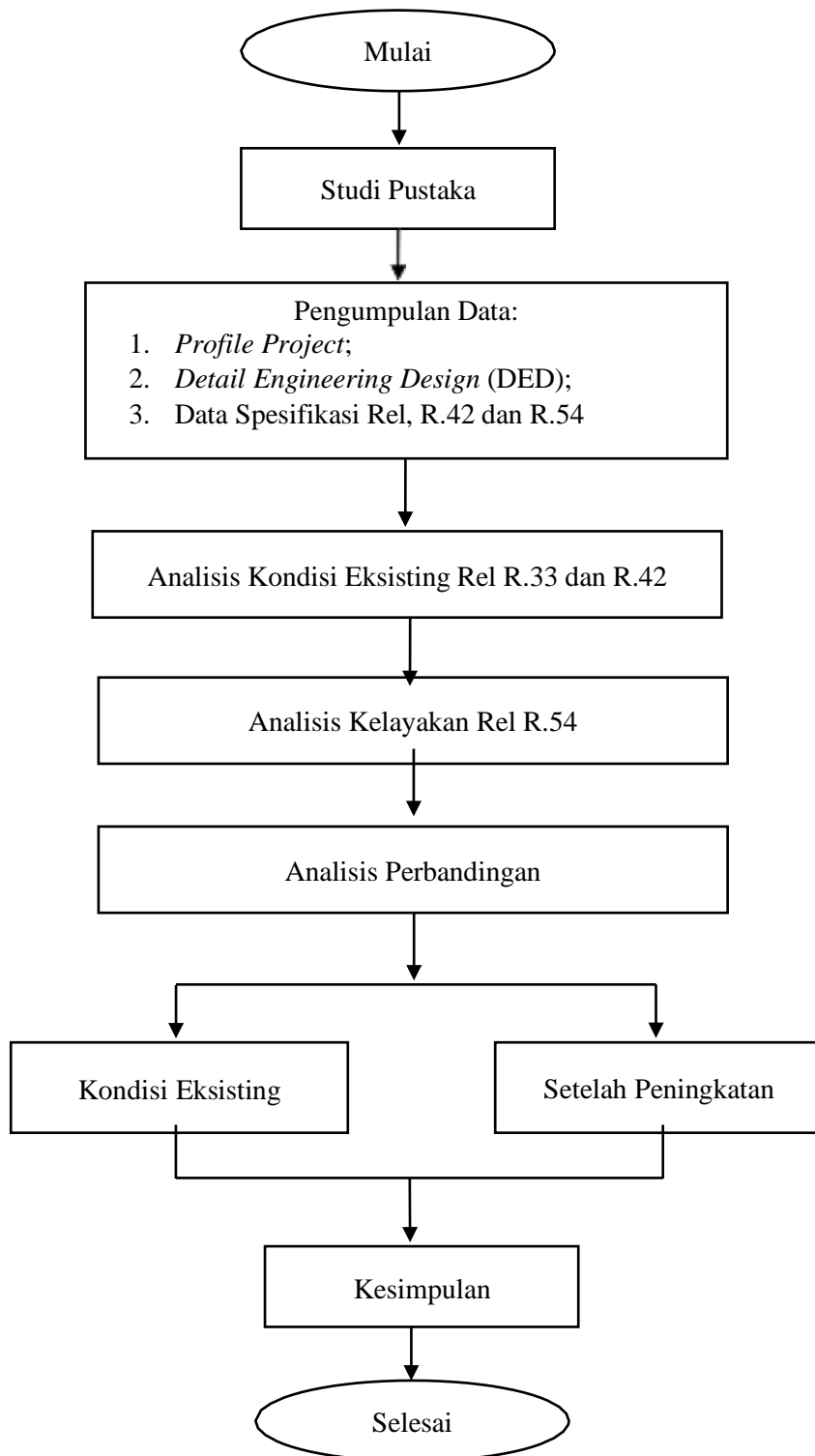
Data yang di dapat langsung dari Balai Teknik Perkeretaapian Kelas I Medan berupa informasi proyek, gambar teknis pekerjaan dan progres pekerjaan yang dilaksanakan.

##### 3.3.2 Data Sekunder

Adapun data sekunder yang dimaksud adalah sebagai berikut :

- a. Dasar Perencanaan Jalan Rel;
- b. Spesifikasi Teknis;
- c. Data Lokomotif Kereta Api;

### 3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 : Diagram alir penelitian



### 3.4 Gambaran Umum Proyek

Proyek Peningkatan Jalan KA lintas Kisaran – Rantau Prapat melewati 3 kabupaten yaitu Kabupaten Asahan, Kabupaten Labuhan Batu Utara dan Kabupaten Labuhan Batu. Pada proyek Segmen Kisaran – Mambang Muda ini hanya melaewati 2 kabupaten yakni Asahan dan Labuhan Batu Utara dikerjakan oleh Balai Teknik Kelas I Medan dengan panjang lintas yang dibangun adalah 51 km. Pada Lintas Kisaran – Mambang Muda Terdapat 6 Stasiun Pada Kabupaten Asahan terdapat Stasiun Kisaran, Stasiun Hengelo, Stasiun Teluk Dalam, Stasiun Pulu Raja, dan Stasiun Aekloba. Pada Kabupaten Labuhan Batu Utara terdapat Stasiun Mambang Muda.

Pada proyek peningkatan jalan di lintas Kisaran – Rantauprapat Segmen Kisaran - Mambang Muda mempunyai latar belakang kondisi jalur kereta api yang masih menggunakan R.42 dan adanya daerah rawan tubuh baan gogos dan longsor dinding tebing. Terdapat 9 Paket Pekerjaan Pada Proyek Peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Mambang Muda, terbagi atas tiga pokok pekerjaan yaitu penggantian bantalan beton dan rel R. 42 menjadi bantalan beton R.54 serta pekerjaan pengamanan tubuh baan dan penanganan gogosan banjir.

Adapun lingkup pekerjaan dari proyek peningkatan Jalan KA yaitu:

1. Penggantian rel R.42 menjadi R.54.
2. Penggantian Wesel.
3. Penggantian Bantalan dan penambat dari tipe D-clip menjadi E-Clip.
4. Penambahan sepur efektif pada emplasemen .
5. Peningkatan Keselamatan.
6. Pekerjaan Pengamanan Tubuh Baan.
7. Penanganan Gogosan Banjir.

Tujuan dari peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran – Rantauprapat Segmen Kisaran Mambang Muda diantaranya:

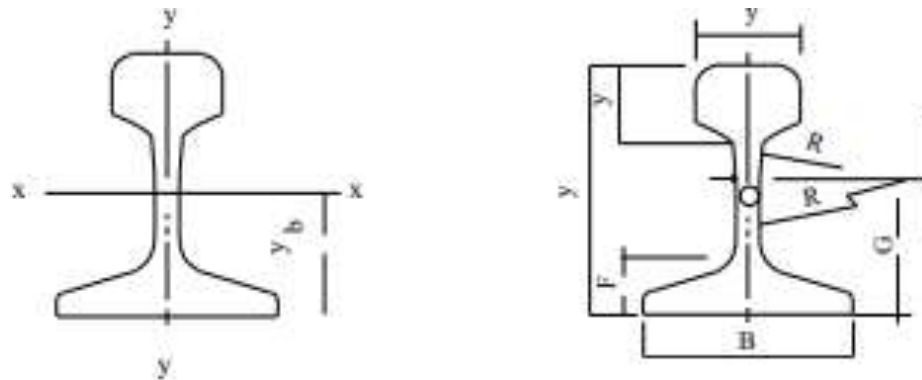
1. Peningkatan *Track Quality Indeks* (TQI) Kereta Api.
2. Meningkatkan Kecepatan KA yang semula 70 km/jam menjadi 90 km/jam.
3. Menawakan waktu tempuh lebih singkat kepada jasa angkutan barang khususnya CPO dari Labuhan Batu.

### 3.5 Tipe dan Spesifikasi Rel

- a. Rel harus memenuhi persyaratan berikut :
2. Minimum perpanjangan (elongation) 10%
  3. Kekuatan tarik (tensile strength) minimum 1175 N/mm<sup>2</sup>
  4. Kekerasan kepala rel tidak boleh kurang dari 320 BHN
- b. Penampang rel harus memenuhi ketentuan dimensi rel seperti pada tabel dan gambar berikut :

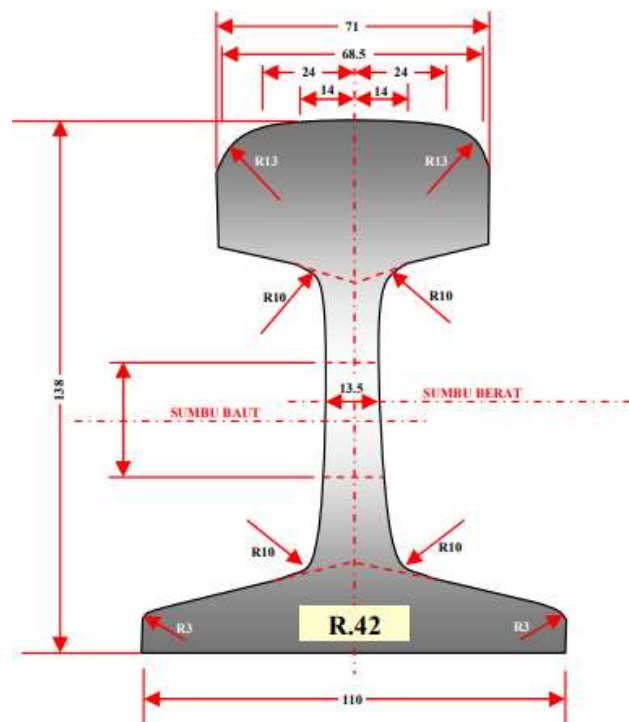
Tabel 3. 1 : Dimensi Penampang Rel

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138	153	159	172
B (mm)	110	127	140	150
C (mm)	68.5	65	70	150
D (mm)	13.5	15	16	16.5
E (mm)	40.5	49	49.4	51
F (mm)	23.5	30	30.2	31.5
G (mm)	72	76	74.97	80.95
R (mm)	320	500	508	120
A (cm <sup>2</sup> )	54.26	64.2	69.34	76.86
W (kg/m)	42.59	50.4	54.43	60.34
I <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	1369	1960	2346	3055
Y <sub>b</sub> (mm)	68.5	71.6	76.2	80.95
A = Luas Penampang				
W = berat rel permeter				
I <sub>x</sub> = momen Inersia terhadap sumbu x				
Y <sub>b</sub> = jarak tepi bawah rel ke geris netral				

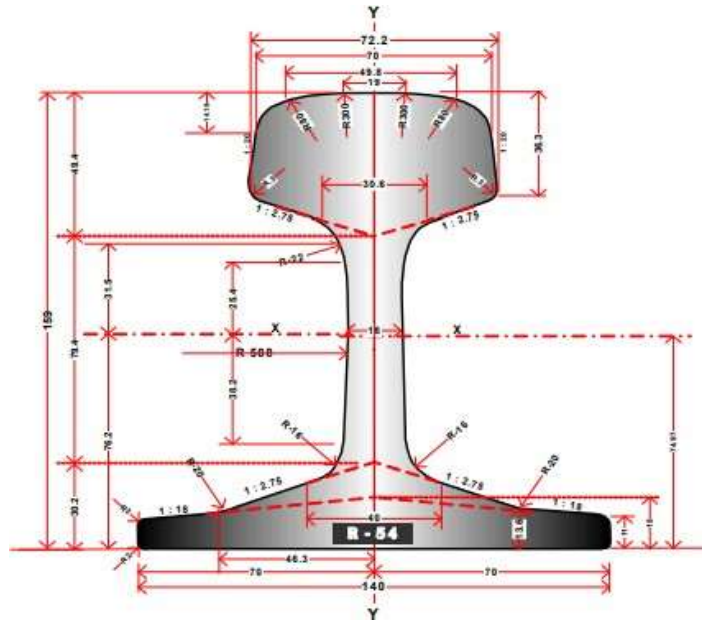


Gambar 3. 3 : Karakteristik Penampang Rel

Batang rel terbuat dari besi ataupun baja bertekanan tinggi, dan juga mengandung karbon, mangan, dan silikon. Batang rel khusus dibuat agar dapat menahan beban berat (axle load) dari rangkaian Kereta Api yang berjalan di atasnya.. Rel yang dibahas dalam penelitian ini adalah Rel R.42 dan R.54. Desain seperti pada Gambar 3.5



Gambar 3. 4 : Spesifikasi Rel R42



Gambar 3. 5 : Spesifikasi Rel R54

### 3.6 Analisis Data

Persamaan berikut digunakan untuk menentukan kekuatan suatu rel dalam menahan beban yang akan dilaluinya adalah sebagai berikut :

a. Perhitungan Beban pada Boogie ( $P_b$ ) =  $\frac{1}{2} \times W$  lokomotif ( 3.1 )

b. Perhitungan Beban pada Gandar ( $P_g$ ) =  $\frac{1}{2} \times P_b$  ( 3.2 )

c. Perhitungan Beban pada Roda (  $P_s$ ) =  $\frac{1}{2} \times P_g$  ( 3.3 )

d. Perhitungan Beban Dinamis ( $P_d$ ) =  $P_s (1 + 0.01 \frac{v_{maks}}{1.609}) - 5$  ( 3.4 )

e. Perhitungan Faktor Reduksi (dumping factor),  $\lambda = \sqrt{\frac{K}{4EIx}}$  ( 3.5 )

Dimana :

$K$  = Modulus Elastisitas Jalan Rel ( $kg/cm^2$ )

$E$  = Modulus Elastisitas Baja Penyusun Jalan Rel ( $kg/cm^2$ )

$I_x$  = Momen Inersia Rel ( $cm^4$ )

f. Perhitungan Momen Maksimum ( $M_m$ )  $\frac{-P_d}{4\lambda}$  ( 3.6 )

Dimana :

$P_d$  = Beban Dinamis (kg)

$\lambda$  = Faktor Reduksi Rel ( $cm^{-1}$ )

g. Perhitungan Tegangan yang terjadi ( $\delta$ ) =  $\frac{M_1 Y}{I_x}$  ( 3.7 )

Dimana :

$M_1$  = Momen akibat superposisi beberapa gandar (0.85 x Mm) (kg.cm)

$Y$  = Jarak tepi bawah rel ke garis tengah (cm).

## **BAB 4**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Kondisi Eksisting Jalan Rel**

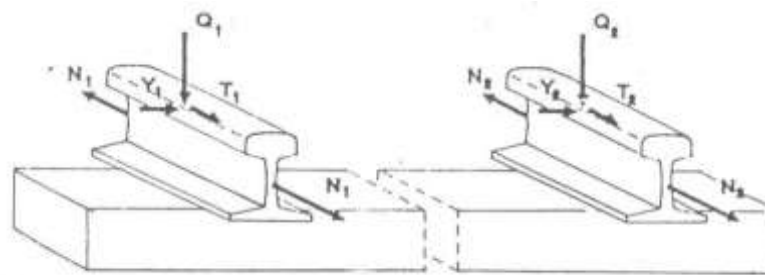
Rel disiapkan memiliki kemampuan untuk menerima secara langsung dan menyalurkan beban kereta api kepada bantalan tanpa menimbulkan defleksi yang berarti pada bagian balok rel di antara tumpuan bantalan. Oleh karena itu, prinsip desain rel adalah menentukan dimensi rel yang sesuai, mempunyai berat yang optimum, memenuhi persyaratan kekakuan, kekuatan dan durabilitas. Pada kondisi eksisting jalur kereta api lintas Kisaran – Rantauprapat Segmen Kisaran Mambang Muda diklasifikasi kan menjadi kelas jalan III dengan kecepatan maksimum  $V_{maks} = 100$  km/jam.

Tipe rel yang digunakan yaitu R42 memiliki berat ( $W$ ) = 42,59 kg/m, menggunakan penambat D-Clip dan Bantalan Beton dapat menahan beban yang diberikan oleh kereta api yang berjalan. Jenis lokomotif yang digunakan adalah CC-201 dengan berat 84 Ton dan beban gandar 14 ton. Kemampuan rel R42 dalam menerima beban secara langsung hanya digunakan pada kecepatan 70 km/jam. Namun pada fakta dilapangan, terjadi beberapa kejadian rel putus disebabkan kinerja rel sudah tidak dapat menerima beban yang diberikan oleh kereta api.

Menurut Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 dalam pasal 3 dijelaskan bahwa penyelenggaraan perkeretaapian bertujuan untuk memperlancar perpindahan orang dan/atau barang secara masal dengan selamat, aman, nyaman, cepat dan lancar, tepat, tertib dan teratur, sefisien, serta menunjang pemerataan, pertumbuhan, stabilitas, pendorong dan penggerak pembangunan nasional. Demi mewujudkan moda transportasi yang aman dan nyaman serta menangani kejadian rel putus tersebut, maka dilakukan pekerjaan peningkatan jalur kereta api dengan meningkatkan kelas jalan menjadi kelas I.

## 4.2 Analisis Perhitungan

Pembebanan dan pergerakan kereta api di atas struktur jalan rel menimbulkan berbagai gaya pada rel. Gaya-gaya tersebut diantaranya gaya vertikal, gaya transversal (lateral) dan gaya longitudinal. Secara umum, gaya-gaya yang bekerja pada rel dijelaskan dalam gambar 4.1. Perhitungan beban dan gaya ini perlu dipahami secara benar untuk dapat merencanakan dimensi, tipe dan desain rel, bantalan dan seterusnya pola distribusinya berfungsi untuk merencanakan tebal lapisan balas dan subbalas



Gambar 4.1 : Gaya yang bekerja pada rel

Perhitungan gaya vertikal yang dihasilkan beban gandar oleh lokomotif, kereta dan gerbong merupakan beban statik, sedangkan pada kenyataannya, beban yang terjadi pada struktur jalan rel merupakan beban dinamis yang dipengaruhi oleh faktor aerodinamik (hambatan udara dan beban angin), kondisi geometrik dan kecepatan pergerakan rangkaian kereta api. Persamaan TALBOT (1918) memberikan transformasi gaya berupa pengkali faktor dinamis sebagai berikut :

$$Ip = 1 + 0,01 \left( \frac{V}{1,609} - 5 \right) \quad (4.1)$$

Ket :

$I_p$  = Faktor Dinamis

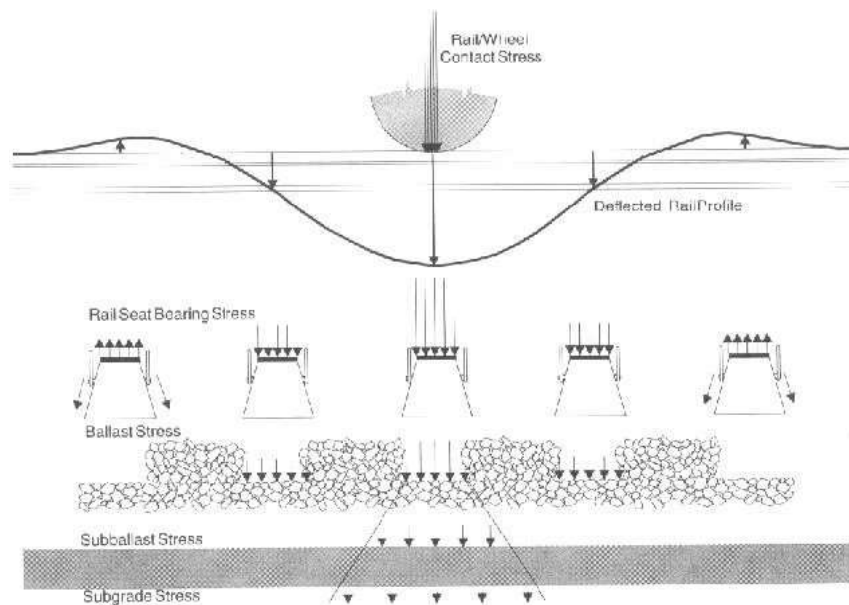
$V$  = Kecepatan rencana (km/jam)

Pola distribusi gaya vertikal beban kereta api dapat dijelaskan secara umum sebagai berikut :

1. Beban dinamik diantara interaksi roda kereta api dan rel merupakan fungsi dari karakteristik jalur, kendaraan dan kereta, kondisi operasi dan lingkungan. Gaya yang dibebankan pada jalur oleh pergerakan kereta api merupakan kombinasi

beban statik dan komponen dinamik yang diberikan kepada beban statik. Beban dinamik diterima oleh rel dimana terjadi tegangan kontak diantara kepala rel dan roda, oleh sebab itu, sangat berpengaruh dalam pemilihan mutu baja rel.

2. Beban ini selanjutnya didistribusikan dari dasar rel ke bantalan dengan perantara pelat andas ataupun alas karet.
3. Beban vertikal dari bantalan akan didistribusikan ke lapisan balas dan subbalas menjadi lebih kecil dan melebar. Pola distribusi beban yang melebar dan menghasilkan tekanan yang lebih kecil yang dapat diterima oleh lapisan tanah dasar.

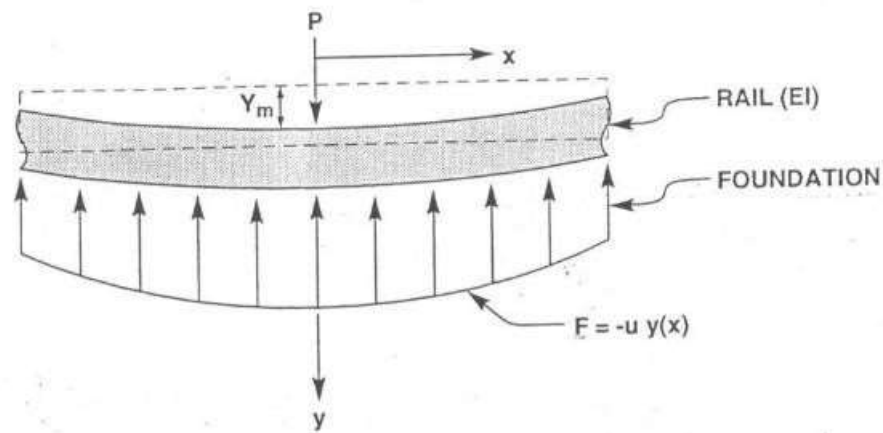


Gambar 4. 2 : Pola Distribusi Beban pada Struktur Jalan Rel

Rel dirancang dengan menggunakan konsep BoEF “beam-on-elastic-foundation model” dengan mengasumsikan bahwa:

1. Setiap rel akan berperilaku sebagai balok menerus yang diletakkan diatas tumpuan elastik.
2. Modulus fondasi jalan rel (sebagai tumpuan),  $k$ , didefinisikan sebagai gaya tumpuan per unit panjang rel per unit defleksi rel.
3. Modulus fondasi jalan rel disini termasuk juga pengaruh penambat bantalan, balas, subbalas dan subgrade.





Gambar 4.3 : Lendutan pada Rel

Distribusi beban pada batas atas rel yang selanjutnya menjadi beban merata dasar rel yang membebani struktur bantalan dapat dihitung sebagai :

$$\text{Momen Maksimum} = (M_m) = \frac{Pd}{4\lambda} \quad (4.2)$$

Dimana :

$Pd$  = Beban Dinamis (kg)

$\lambda$  = Faktor Reduksi Rel ( $\text{cm}^{-1}$ )

Untuk menghitung nilai tegangan yang terjadi pada rel ketika di lalui kereta api adalah sebagai berikut :

$$\text{Tegangan yang terjadi } (\delta) = \frac{M_1 X y}{I_x} \quad (4.3)$$

Dimana :

$M_1$  = Momen akibat superposisi beberapa gandar ( $0.85 \times M_m$ ) (kg.cm)

$Y$  = Jarak tepi bawah rel ke garis tengah (cm).

Kereta api yang digunakan merupakan jenis **lokomotif CC-201**. Dengan spesifikasi sebagai berikut:

Berat (W) = 84 Ton

Jarak Antar Gandar = 15214 mm

Tinggi = 3636 mm

Lebar	= 2642 mm <sup>4</sup>
Panjang	= 14134 mm
Berat Lokomotif (Wlok)	= 84 Ton
Gaya kepada bogie (Pb)	= Wlok / 2 = 42 Ton
Gaya Gandar (Pg)	= Pb/3 = 14 Ton
Gaya Roda Statis (Ps)	= Pg/4 = 7 Ton

#### 4.2.1 Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting merupakan kondisi rel sebelum dilakukan peningkatan atau dapat dibilang kondisi semula. Menggunakan rel tipe R42 di sepanjang jalur kereta api lintas Kisaran – Rantauprapat Segmen Kisaran – Mambang Muda. Dalam penelitian ini akan menganalisis kondisi rel sebelum dilakukan peningkatan. Tipe Rel R42 memiliki spesifikasi antara lain:

Luas penampang rel (A)	= 54,26 cm <sup>2</sup>
Berat rel per meter (W)	= 42,59 kg/m
Modulus elastisitas (E)	= 2,1 x 10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>
Momen inersia terhadap sumbu X (Ix)	= 1369 cm <sup>4</sup>
Jarak tepi bawah kaki rel garis netral (Yb)	= 68,50 mm

Kontrol tegangan yang terjadi pada komponen jalan rel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Talbot. **Kelas Jalan III memiliki Kecepatan (Vmaks) = 100 km/jam** . Dengan langkah-langkah sebagai berikut :

##### 1. Menganalisis Beban Dinamis yang terjadi pada rel

$$\begin{aligned}
 V_{renc} &= 1,25 \times V_{maks} \\
 &= 1,25 \times 100 \text{ km/jam} = 125 \text{ km/jam} \\
 I_p &= 1 + 0,01 \times \frac{125}{1,609} - 5 \\
 &= 1 + 0,01 \times \frac{112,5}{1,609} - 5 \\
 &= 1,726 \\
 P_d &= P_s \times I_p = 7000 \times 1,726 = 12.082 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan faktor Reduksi / Pengurangan

$$\begin{aligned}\lambda &= \sqrt[4]{\frac{k}{4 \times E \times k}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 2,1 \times 10^6 \times (1369)}} \\ &= 0,011185 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

3. Perhitungan Momen Maksimum

$$M_{maks} = \frac{Pd}{4 \times \lambda} = \frac{12.082}{4 \times 0,011185} = 270.049,173 \text{ kg/cm}$$

Maka nilai  $M_a$  untuk Konfigurasi 6 roda (CC) adalah sebagai berikut :

$$M_a = 0,85 \times 270.049,173 = 229.541,797 \text{ kg/cm}$$

4. Analisis Tegangan

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M_a \cdot Y_b}{I_x} \\ \sigma &= \frac{229.541,797 \cdot 6,850}{1369} \\ \sigma &= 1148,547 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

5. Tegangan yang terjadi di dasar rel

$$S_{base} = \frac{229.541,797}{250} = 918,167 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan ijin baja. Sehingga, Besar Tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijinnya dengan nilai sebesar  $\sigma = 1.148,547 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ijin} = 1.663 \text{ kg/cm}^2$ . Dan nilai dari tegangan yang terjadi di dasar rel sebesar  $S_{base} = 918,167 \text{ kg/cm}^2 < S_{base \text{ ijin}} = 1042,3 \text{ kg/cm}^2$ .

Setelah mendapatkan nilai tegangan pada kondisi eksisting yaitu tipe R42 yang sesuai dengan tegangan ijinnya. Maka selanjutnya akan kita analisis menggunakan **Kelas Jalan I dengan  $V_{maks} = 120 \text{ km/jam}$** . Maka dari itu kita kontrol kembali menggunakan persamaan Talbot dengan uraian sebagai berikut :

1. Menganalisis Beban Dinamis yang terjadi pada rel

$$\begin{aligned}V_{renc} &= 1,25 \times V_{maks} \\ &= 1,25 \times 120 \text{ km/jam} = 150 \text{ km/jam} \\ I_p &= 1 + 0,01 \times \frac{V_{renc}}{1,609} - 5 \\ &= 1 + 0,01 \times \frac{150}{1,609} - 5 \\ &= 1,882 \\ P_d &= P_s \times I_p = 7000 \times 1,882 = 13.174 \text{ kg}\end{aligned}$$

2. Perhitungan faktor Reduksi / Pengurangan

$$\begin{aligned}\lambda &= \sqrt[4]{\frac{k}{4 \times E \times k}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 2,1 \times 10^6 \times (1369)}} \\ &= 0,011185 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

3. Perhitungan Momen Maksimum

$$M_{maks} = \frac{P_d}{4 \times \lambda} = \frac{13.174}{4 \times 0,011185} = 294.456,862 \text{ kg/cm}$$

Maka nilai  $M_a$  untuk Konfigurasi 6 roda (CC) adalah sebagai berikut :

$$M_a = 0,85 \times 294.456,862 = 250.288,333 \text{ kg/cm}$$

4. Analisis Tegangan

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M_a \cdot Y_b}{I_x} \\ \sigma &= \frac{250.288,333 \cdot 6,850}{1369} \\ \sigma &= 1.466,616 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

5. Tegangan yang terjadi di dasar rel

$$S_{base} = \frac{250.288,333}{250} = 1.065,056 \text{ kg/cm}^2$$

Berdasarkan perhitungan di atas, dapat kita ketahui bahwasanya tegangan yang terjadi lebih besar dibandingkan tegangan izin. Sehingga nilai tegangan yang dihasilkan sebesar  $\sigma = 1.466,616 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{izin}} = 1.325 \text{ kg/cm}^2$ . Dan nilai dari tegangan yang terjadi di dasar rel sebesar  $S_{\text{base}} = 1.065,056 \text{ kg/cm}^2 < S_{\text{base izin}} = 1042,3 \text{ kg/cm}^2$ . Oleh karena itu tipe rel R42 tidak dapat digunakan untuk kelas jalan I .

#### 4.2.2 Setelah Peningkatan

Tipe rel R42 merupakan rel yang telah terpasang sebelumnya, namun seiring dengan potensi meningkatnya jumlah daya angkut lintas kedepan, penggunaan rel R.42 kurang memenuhi syarat sebagai bagian dari komponen struktur jalan rel dalam kurun waktu kedepan. Maka dari itu dilakukan peningkatan jalur kereta api dengan mengganti tipe R42 menjadi R54. Dalam penelitian ini, akan menganalisis kelayakan dari tipe rel R54 untuk digunakan sebagai rel pada jalur kereta api lintas Kisaran – Rantauprapat Segmen Kisaran – Mambang Muda. Adapun spesifikasi tipe rel R54 adalah sebagai berikut :

Luas penampang rel (A)	= 69,34 cm <sup>2</sup>
Berat rel per meter (W)	= 54,43 kg/m
Modulus elastisitas (E)	= 2,1 x 10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>
Momen inersia terhadap sumbu X (Ix)	= 2346 cm <sup>4</sup>
Jarak tepi bawah kaki rel garis netral (Yb)	= 76,20 mm

##### 1. Menganalisis Beban Dinamis yang terjadi pada rel

$$\begin{aligned} V_{\text{renc}} &= 1,25 \times V_{\text{maks}} \\ &= 1,25 \times 120 \text{ km/jam} = 150 \text{ km/jam} \\ I_p &= 1 + 0,01 \times \frac{v_{\text{renc}}}{1,609} - 5 \\ &= 1 + 0,01 \times \frac{150}{1,609} - 5 \\ &= 1,882 \\ P_d &= P_s \times I_p = 7000 \times 1,882 = 13.174 \text{ kg} \end{aligned}$$

2. Perhitungan faktor Reduksi / Pengurangan

$$\begin{aligned}\lambda &= \sqrt[4]{\frac{k}{4 \times E \times k}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 2,1 \times 10^6 \times (2346)}} \\ &= 0,009776 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

3. Perhitungan Momen Maksimum

$$M_{maks} = \frac{Pd}{4 \times \lambda} = \frac{13.174}{4 \times 0,009776} = 336.896,481 \text{ kg/cm}$$

Maka nilai  $M_a$  untuk Konfigurasi 6 roda (CC) adalah sebagai berikut :

$$M_a = 0,85 \times 336.896,481 = 286.362,009 \text{ kg/cm}$$

4. Analisis Tegangan yang terjadi

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{M_a \cdot Y_b}{I_x} \\ \sigma &= \frac{286.362,009 \cdot 7,620}{2346} \\ \sigma &= 930,127 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

6. Tegangan yang terjadi di dasar rel

$$S_{base} = \frac{286.362,009}{250} = 987,455 \text{ kg/cm}^2$$

Dari perhitungan diatas, telah didapat nilai tegangan sebesar  $\sigma = 930,127 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{izin} = 1.325 \text{ kg/cm}^2$ . Dan nilai dari tegangan yang terjadi di dasar rel sebesar  $S_{base} = 987,455 \text{ kg/cm}^2 < S_{base \text{ izin}} = 1042,3 \text{ kg/cm}^2$ . Tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan ijin baja. Maka dari itu tipe R.54 aman digunakan untuk kelas jalan I.

### 4.3 Perbandingan Tipe Rel

Rel adalah logam batang untuk landasan jalan kereta api atau kendaraan sejenis seperti trem dan sebagainya. Rel mengarahkan/memandu kereta api tanpa memerlukan pengendalian. Rel merupakan dua batang logam kaku yang sama panjang dipasang pada bantalan sebagai dasar landasan. Adapun data jalan rel eksisting pada jalur kereta api dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 : Data Perbandingan Kondisi Eksisting dan Peningkatan

No	Jenis Data	Eksisting	Peningkatan
1	Kelas Jalan Rel	Kelas III	Kelas I
2	Jenis Rel	R42	R54
3	Jenis Kereta Api	CC-201	CC-201
4	Berat Gandar	14 Ton	14 Ton
5	Kecepatan Maksimum	100 km/jam	120 km/jam

Berdasarkan hasil pengolahan data terhadap rel eksisting dan rel peningkatan menunjukkan bahwa perbandingan dari tegangan yang terjadi pada rel eksisting R42 dan rel setelah peningkatan R54. Ditinjau dengan tegangan izin rel berdasarkan PM.60 Tahun 2012 sebesar  $1325 \text{ kg/cm}^2$ . Berikut merupakan besaran nilai tegangan yang terjadi pada rel, dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Tabel Analisis Tegangan yang terjadi pada rel

Tipe Rel	Tegangan yang terjadi ( $\sigma$ ) $\text{Kg/cm}^2$	Tegangan Izin Rel ( $\text{Kg/cm}^2$ ) berdasarkan PM.60 Tahun 2012	Keterangan
R42	1.446,62	1325	Tidak Memenuhi
R54	930,13		Memenuhi

Hasil perhitungan di atas, menunjukkan bahwa tipe R42 sudah tidak aman digunakan untuk kelas jalan I karena memiliki nilai tegangan yang lebih besar dari tegangan izin yang diperbolehkan. Selain dari nilai tegangan yang terjadi pada rel, dalam penelitian ini akan menganalisis nilai tegangan yang terjadi pada dasar rel. Hal ini juga sebagai bagian yang sangat penting dalam menghitung perencanaan jalan rel sesuai dengan aturan tegangan izin yang telah ditetapkan. Dapat dilihat pada Tabel 4. 3

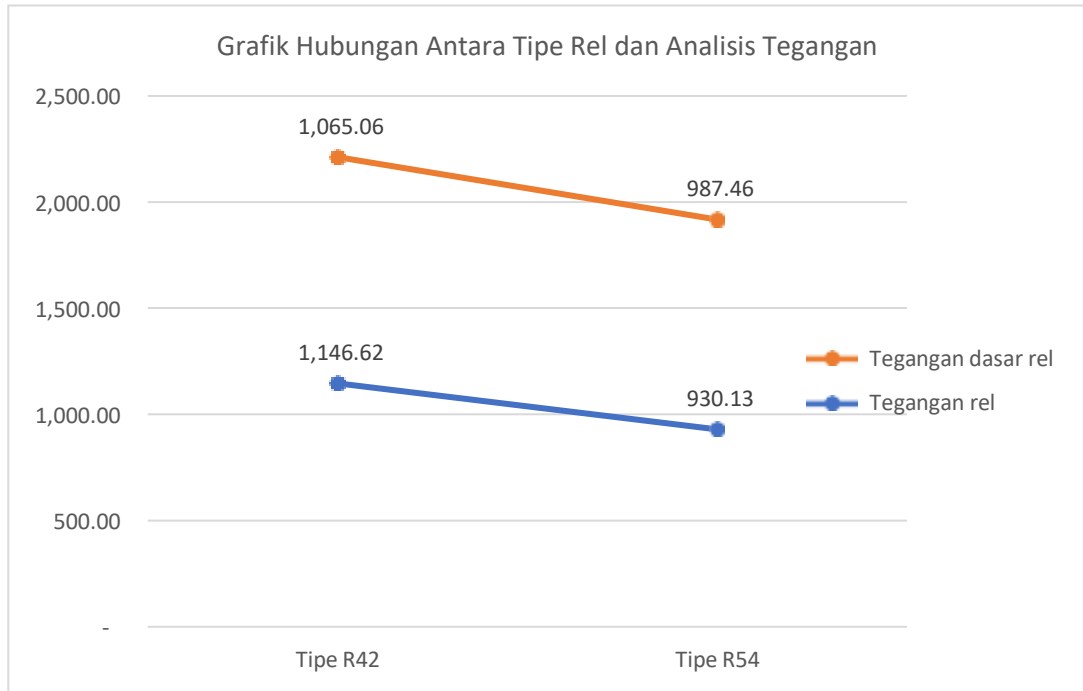
Tabel 4. 3 : Tabel Analisis Tegangan yang terjadi dibawah rel

<b>Tipe Rel</b>	<b>Tegangan yang terjadi pada dasar rel (<math>S_{base}</math>) (<math>Kg/cm^2</math>)</b>	<b>Tegangan Izin Rel (<math>Kg/cm^2</math>) berdasarkan PM.60 Tahun 2012</b>	<b>Keterangan</b>
R42	1.065,06	1042,3	Tidak Memenuhi
R54	987,455		Memenuhi

Tabel 4.3 diatas menunjukkan bahwa R54 memiliki nilai tegangan yang terjadi pada dasar rel yang lebih kecil dibanding kan tegangan izin. Yaitu sebesar  $987,455 \text{ kg/cm}^2 < \text{tegangan izin sebesar } 1042,3 \text{ kg/cm}^2$ .

Dari analisis perhitungan tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa kondisi rel eksisting sudah tiak aman digunakan dengan peningkatan *Track Quality Index* (TQI) dari jalur kereta api lintas Kisaran – Rantauprapat Segmen Kisaran – Mambang Muda. Hasil analisis tegangan dapat di representasikan melalui grafik sebagai berikut:





Gambar 4. 1 Grafik Hubungan Antara Tipe Rel dan Analisis Tegangan

Grafik hubungan antara tipe rel dan analisis tegangan di atas, menunjukkan bahwa nilai tegangan yang dimiliki oleh R42 lebih besar dibandingkan dengan R54. Kesimpulannya harus dilakukan peningkatan atas tipe rel yang dipakai di jalur kereta api untuk menjaga stabilitas jalan rel dan keamanan dari kereta api yang sedang berjalan.

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

- a. Tegangan izin merupakan aturan yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor: PM.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, untuk kelas jalan III sebesar  $\sigma_{izin} = 1.663 \text{ kg/cm}^2$  dan kelas jalan I sebesar  $\sigma_{izin} = 1.325 \text{ kg/cm}^2$ . Evaluasi dengan cara kontrol tegangan yang terjadi pada kondisi eksisting menggunakan kelas jalan III memiliki nilai sebesar sebesar  $\sigma = 1.148,547 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{izin} = 1.663 \text{ kg/cm}^2$ . Dan nilai dari tegangan yang terjadi di dasar rel sebesar  $S_{base} = 918,167 \text{ kg/cm}^2 < S_{base \text{ izin}} = 1042,3 \text{ kg/cm}^2$ .
- b. Menganalisis kondisi eksisting yaitu tipe R42 dengan kelas jalan I di dapatkan nilai tegangan sebesar  $\sigma = 1.466,616 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{izin} = 1.325 \text{ kg/cm}^2$ . Dan nilai dari tegangan yang terjadi di dasar rel sebesar  $S_{base} = 1.065,056 \text{ kg/cm}^2 < S_{base \text{ izin}} = 1042,3 \text{ kg/cm}^2$ . Oleh karena itu tipe rel R42 tidak dapat digunakan untuk kelas jalan I.
- c. Setelah dilakukannya peningkatan terhadap jalur kereta api menggunakan R54, nilai tegangan yang dihasilkan adalah sebesar tegangan sebesar  $\sigma = 930,127 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{izin} = 1.325 \text{ kg/cm}^2$ . Dan nilai dari tegangan yang terjadi di dasar rel sebesar  $S_{base} = 987,455 \text{ kg/cm}^2 < S_{base \text{ izin}} = 1042,3 \text{ kg/cm}^2$ . Tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan ijin baja. Maka dari itu tipe R.54 aman digunakan untuk kelas jalan I.

#### 5.2 Saran

- a. Diharapkan tugas akhir ini dapat menjadi dasar untuk penelitian selanjutnya.
- b. Diharapkan dapat bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembacanya.
- c. Jika terdapat hasil kurang sesuai diharapkan agar dapat diskusi dengan penulis untuk memberikan evaluasi atas hasil perbandingan tipe rel yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andriansyah. (2015). *Manajemen Transportasi Dalam Kajian Dan Teori*. Fakultas Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik Universitas Prof. Dr Moestopo Beragama : Jakarta Pusat
- azis, M. F., Aprisandi, D., & Abadi, K. (2016). *Perancangan Struktur Jalan Rel Antara Stasiun Cigading - Stasiun Anyer Kidul Artikel . Juga Melakukan Pengamatan Langsung Terhadap Kondisi Jalur Kereta Api . Dari Hasil Penelitian A . Panjang Minimum Rel . Data : Type Rel. 73.*
- Chopra, S Dan Meindl, P. (2020). "Supply Chain Management". New Jersey: Pearson Education.
- Husein, S. Y. (2022). *Analisis Perbandingan Rel Tipe R33 Dengan Tipe R54 Dan Pengaruh Terhadap Kinerja Kereta (Studi Kasus Jalur Rel Kereta Medan – Binjai).*
- Menteri Perhubungan. (2012). PM 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. *PM. No. 60 Tahun 2012*, 1–57.
- Mias, Fadlun; Rosyidi, Sri Atmaja P; Muntohar, A. S. (2019). *Analisis Struktur Jalan Rel. September*, 1–10.
- PT. Kereta Api Indonesia (Persero). (1986). *Peraturan Dinas Nomor 10 Tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel*. 1–62.
- Rosyidi. 2015. *Rekayasa Jalan Kereta Api*. Yogyakarta: LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sipil, D. T. (2020). *Perancangan Jalan Rel Dan Geometri Trase*. 9(1), 0–5.
- Sukra, H. K. (2021). *Evaluasi Kerusakan Jalan Rel Lintas Sepanjang- Boharan Km 24+167 – Km 33+867 Kertas Kerja Wajib*.
- Tim Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT). (2021). *JALAN REL* (D. I. R. S. S. Wibowo, D. I. H. Dwiatmoko, & I. B. Drajat (Eds.); Cetakan Pe). Scopindo Media Pustaka.
- Triwinanto, P. (2017). *Analisis Kekuatan Lentur Statis Dan Dinamis Bantalan Sintetis Untuk Jalan Kereta Api Static And Dynamic Analysis Of Bending Strength Of Synthetic Sleepers For Railway. M.P.I, 11(2)*, 95–100.
- Utomo, S. H. T., 2009. *Jalan Rel*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Wahab, W., & Afriyani, S. (2017). *Analisis Kelayakan Konstruksi Bagian Atas Jalan Rel Dalam Kegiatan Revitalisasi Jalur Kereta Api Lubuk Alung-Kayu Tanam (Km 39,699-Km 60,038). Jurnal Teknik Sipil ITP, 4(2)*, 1–8.

## LAMPIRAN



Lampiran 1. Pengeceran atau mobilisasi rel R.54 menggunakan KLB.



Lampiran 2. Rel R.54 yang akan dipasang.



Lampiran 3. Las thermit rel R.54 yang akan dilakukan penggantian.



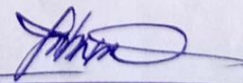
Lampiran 4. Penggantian rel baru R.54 pada struktur jalan rel.

LEMBAR ASISTENSI

Nama : EKO WIDI WURYANTO  
Npm : 2107210212 P  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Judul : ANALISIS PENGOBUNAAN REL PADA PROYEK PENINGKATAN JALUR KERETA API LINTAS KISARAN - RANTAU PRAFFT

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	19 Juli 2022	Asistensi Judul	
2.	10 Oktober 2022	Asistensi Judul	
3.	12 Oktober 2022	Revisi Judul	
4.	13 Oktober 2022	ACC Judul	
5.	17 Desember 2022	Asistensi Proposal	
6.	05 Januari 2023	Asistensi Proposal	
7.	06 Januari 2023	ACC Proposal	
8.	06 Januari 2023	Mengajukan berkas - berkas Seminar Proposal ke biro Teknik	
9.	11 Januari 2023	Seminar Proposal	

Dosen Pembimbing



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc



LEMBAR ASISTENSI

Nama : Eko Widi Wuryanto  
Npm : 2107210212P  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Analisis Penggunaan Rel Pada Proyek Peningkatan Jalur  
Kereta Api Lintas Kisaran – Rantau Prapat Segmen Kisaran  
– Mambang Muda

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	27 Februari 2023	Revisi Hasil Bab 4	
2.	28 Februari 2023	Asistensi Hasil Bab 4 & 5	
3.	3 Maret 2023	Asistensi Perhitungan Bab 4	
4.	4 Maret 2023	Acc Hasil Bab 4 & 5	

Dosen Pembimbing

Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### Biodata Mahasiswa

Nama : Eko Widi Wuryanto  
NPM : 2107210212P  
Tempat/ Tanggal Lahir : Sukoharjo, 12 Juli 1974  
Alamat : Jl. Ky busro I RT.03 RW.13 Purwodadi  
Email : [ekowidiwuryanto@gmail.com](mailto:ekowidiwuryanto@gmail.com)

### Riwayat Pendidikan

1. Tahun 1982-1988 : SD V Gundhi
2. Tahun 1988-1991 : SMPN 1 Gundhi
3. Tahun 1991-1994 : SMA Kristen
4. Melanjutkan S1 Teknik Sipil di UMSU Tahun lulus 2023