

**PENGARUH KECEPATAN KERETA API TERHADAP REL  
TIPE R.33 DENGAN R.54 PADA JALAN REL KERETA API  
LINTAS TEBING TINGGI-SIANTAR**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**LUTHFI HADI  
218110077**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2023**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 17/1/24

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)17/1/24

**PENGARUH KECEPATAN KERETA API TERHADAP REL  
TIPE R.33 DENGAN R.54 PADA JALAN REL KERETA API  
LINTAS TEBING TINGGI-SIANTAR**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area



**Oleh:**

**LUTHFI HADI  
218110077**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2023**

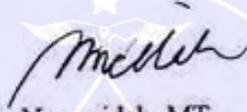
**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : Pengaruh Kecepatan Kereta Api Terhadap Rel Tipe R.33  
Dengan R.54 Pada Jalan Rel Kereta Api Lintas Tebing  
Tinggi-Siantar  
Nama : Luthfi Hadi  
NPM : 218110077  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh:  
Komisi Pembimbing

  
Ir. Nurmaidah, MT  
Pembimbing

  
Dr. Rahmad Syah S.Kom., M.Kom  
Dekan

  
Fitriyandari, S.T., M.T  
Pembimbing Studi

Tanggal Lulus : 03 Agustus 2023

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 03 Agustus 2023



Luthfi Hadi  
218110077

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Luthfi Hadi  
NPM : 218110077  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneklusif (Non Exclusive Royalty Free-Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : “Pengaruh Kecepatan Kereta Api Terhadap Rel Tipe R.33 Dengan R.54 Pada Jalan Rel Kereta Api Lintas Tebing Tinggi-Siantar” beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan  
Pada tanggal : 03 Agustus 2023  
Yang menyatakan



(Luthfi Hadi)

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Kota Medan pada tanggal 02 Mei 1996 dari Ayah Suprayitno dan Ibu Murdyla. Penulis merupakan putra ke 2 dari 2 bersudara. Tahun 2014, Penulis lulus dari SMAN 3 Medan dan melanjutkan kuliah pada tahun yang sama di D3 Politeknik Negeri Medan. Pada tahun 2021 penulis melanjutkan kuliah ke jenjang S1 dan terdaftar sebagai Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Penulis melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di Proyek Pembangunan Gedung Grand Jati Junction.



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua, sehingga pada kesempatan yang berbahagia ini penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Kecepatan Kereta Api Terhadap Rel Tipe R.33 Dengan R.54 Pada Jalan Rel Kereta Api Lintas Tebing Tinggi-Siantar”. Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Ir. Nurmaidah, M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada “Farahiyah Safirah Siregar” yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada kedua orang tua serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Penulis

(Luthfi Hadi)

## ABSTRAK

Kinerja operasional kereta api yang terganggu akan menyebabkan kerugian, baik dari segi waktu, material, bahkan mengancam keselamatan penumpang. Oleh karena itu dilakukanlah pemeliharaan untuk mengontrol kinerja operasional kereta api tersebut. Pemeliharaan jalan rel merupakan kegiatan pengawasan, pemeriksaan dan perbaikan yang dilakukan oleh PT. Kereta Api Indonesia (KAI) untuk mempertahankan, memulihkan dan meningkatkan kualitas pelayanan jalan rel agar tetap dapat beroperasi. Jalur Kereta Api Lintas Tebing Tinggi-Siantar 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 R.33 dan memiliki kecepatan 70 km/jam. Upaya yang dilakukan yaitu dengan meningkatkan Track Quality Index (TQI) Jalur Kereta Api dari Kelas III menjadi kelas I berikut dengan penggantian rel tipe R.33 menjadi R.54 dan mengganti bantalan rel yang digunakan sepanjang Jaur Kereta Api. Dari hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa rel tipe R.33 tidak dapat digunakan sebagai jalan rel untuk kelas jalan I, II dan III dikarenakan besaran tegangan rel dan tegangan pada dasar rel yang didapat tidak memenuhi persyaratan atau melebihi tegangan izin yang telah ditetapkan.

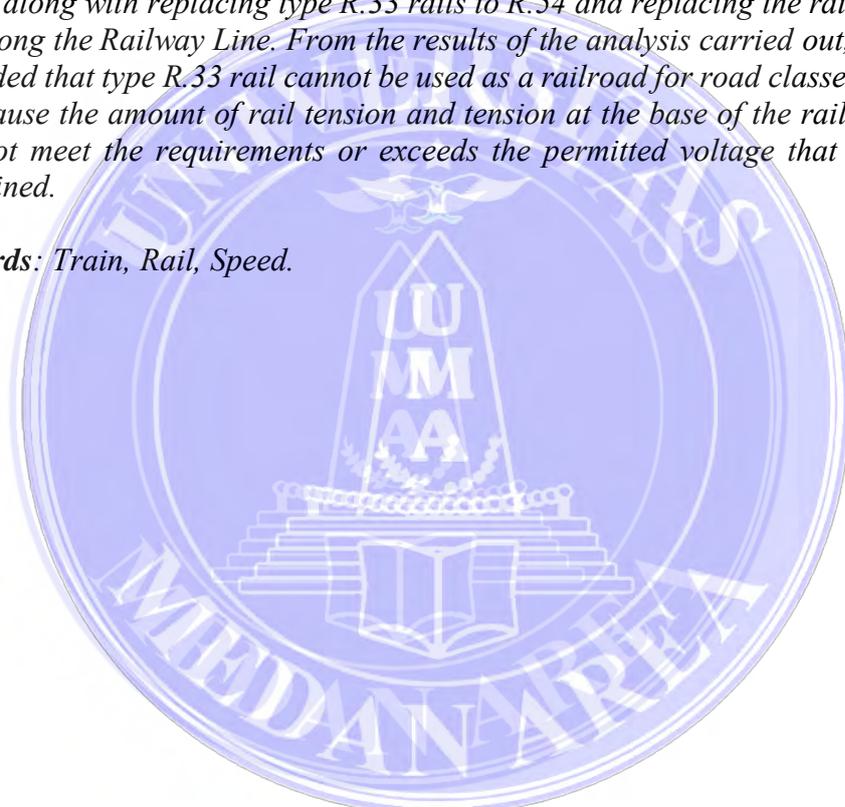
**Kata Kunci:** Kereta Api, Rel, Kecepatan.



## ABSTRACT

*Disrupted train operational performance will cause losses, both in terms of time, materials, and even threaten passenger safety. Therefore, maintenance is carried out to control the operational performance of the train. Railway maintenance is a monitoring, inspection and repair activity carried out by PT. Kereta Api Indonesia (KAI) to maintain, restore and improve the quality of rail services so that they can continue to operate. The Tebing Tinggi-Siantar Cross Railway 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 road uses type R.33 and has a speed of 70 km/hour. Efforts made include increasing the Track Quality Index (TQI) of the Railway Line from Class III to Class I along with replacing type R.33 rails to R.54 and replacing the rail sleepers used along the Railway Line. From the results of the analysis carried out, it can be concluded that type R.33 rail cannot be used as a railroad for road classes I, II and III because the amount of rail tension and tension at the base of the rail obtained does not meet the requirements or exceeds the permitted voltage that has been determined.*

**Keywords:** *Train, Rail, Speed.*



## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| COVER .....  | i    |
| HALAMAN JUDUL .....  | ii   |
| HALAMAN PENGESAHAN .....   | iii  |
| HALAMAN PERNYATAAN .....   | iv   |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI<br>SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS ..... | v    |
| RIWAYAT HIDUP .....  | vi   |
| KATA PENGANTAR .....   | vii  |
| ABSTRAK .....  | viii |
| <i>ABSTRACT</i> .....  | ix   |
| DAFTAR ISI .....   | x    |
| DAFTAR TABEL .....   | xii  |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN .....  | xiv  |
| <br>   |      |
| BAB I. PENDAHULUAN .....   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian .....   | 3    |
| 1.2.1 Maksud Penelitian .....  | 3    |
| 1.2.2 Tujuan Penelitian .....  | 3    |
| 1.3 Batasan Masalah .....  | 3    |
| 1.4 Rumusan Masalah .....  | 3    |
| 1.5 Manfaat Penelitian .....   | 4    |
| <br>   |      |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....   | 5    |
| 2.1 Penelitian Terdahulu .....   | 5    |
| 2.2 Umum .....   | 8    |
| 2.3 Sejarah Perkeretaapian Indonesia .....   | 10   |
| 2.4 Pengertian Struktur Jalan Rel .....  | 13   |
| 2.5 Karakteristik Struktur Jalan Rel .....   | 16   |
| 2.6 Klasifikasi Jalan Rel di Indonesia.....  | 18   |
| 2.7 Komponen Struktur Jalan Rel .....  | 24   |
| 2.8 Rel ( <i>Rail</i> ).....   | 26   |
| 2.9 Pembebanan Struktur Jalan Rel.....   | 38   |
| <br>   |      |
| BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....   | 51   |
| 3.1 Metode Penelitian .....  | 51   |
| 3.2 Lokasi Penelitian .....  | 51   |
| 3.3 Pengumpulan Data.....  | 52   |
| 3.4 Pengolahan Data .....  | 53   |
| 3.5 Skema Penelitian .....   | 54   |

|   |    |
|---|----|
| BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....                      | 55 |
| 4.1 Kondisi Eksisting Menggunakan Tipe Rel R.33 .....   | 56 |
| 4.2 Setelah Peningkatan Menggunakan Tipe Rel R.54 ..... | 71 |
| 4.3 Perbandingan Tipe Rel .....                         | 86 |
| <br>BAB IV. SIMPULAN DAN SARAN .....                    | 89 |
| 5.1 Kesimpulan .....                                    | 89 |
| 5.2 Saran .....   | 90 |
| <br>DAFTAR PUSTAKA .....                                | 91 |
| LAMPIRAN .....  | 92 |



## DAFTAR TABEL

|   | Halaman |
|---|---------|
| Tabel 1 Daya angkut lintas yang diijinkan untuk lebar sepur 1067 mm .....   | 21      |
| Tabel 2 Daya angkut lintas yang diijinkan untuk lebar sepur 1435 mm.....    | 21      |
| Tabel 3 Klasifikasi jalan berdasarkan landai penentu maksimum .....         | 22      |
| Tabel 4 Panjang minimum rel panjang .....                                   | 32      |
| Tabel 5 Kelas jalan dan tipe rel .....                                      | 32      |
| Tabel 6 Klasifikasi tipe rel di Indonesia .....                             | 33      |
| Tabel 7 Dimensi profil R.42, R.50, R.54 dan R.60 .....                      | 36      |
| Tabel 8 Tegangan ijin profil rel berdasarkan kelas jalan di Indonesia ..... | 38      |
| Tabel 9 Hubungan antara respon jalan rel terhadap kerusakan jalan rel ..... | 39      |
| Tabel 10 Tabel analisis tegangan yang terjadi pada rel .....                | 87      |
| Tabel 11 Tabel analisis tegangan yang terjadi pada dasar rel .....          | 88      |



## DAFTAR GAMBAR

|  | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 1 Konsep distribusi pembebanan pada struktur jalan rel .....  | 13      |
| Gambar 2 Konstruksi jalan rel.....   | 14      |
| Gambar 3 Contoh potongan melintang pada timbunan .....   | 15      |
| Gambar 4 Contoh potongan melintang pada galian .....   | 15      |
| Gambar 5 Contoh potongan jalan rel pada struktur galian dan timbunan .....   | 15      |
| Gambar 6 Ukuran lebar sepur pada struktur jalan rel.....   | 19      |
| Gambar 7 Beberapa ukuran lebar sepur di Indonesia .....  | 20      |
| Gambar 8 Jalur tunggal trase jalan rel pada jalur lurus dan jalur lengkung .....   | 23      |
| Gambar 9 Jalur ganda trase jalan rel pada jalur lurus dan jalur lengkung .....   | 23      |
| Gambar 10 Struktur jalan rel beserta system komponen penyusunannya .....   | 25      |
| Gambar 11 Bagian-bagian rel.....   | 29      |
| Gambar 12 Profil rel R.42 (PM No. 60 Tahun 2012) .....   | 34      |
| Gambar 13 Profil rel R.50 (PM No. 60 Tahun 2012) .....   | 34      |
| Gambar 14 Profil rel R.54 (PM No. 60 Tahun 2012) .....   | 35      |
| Gambar 15 Profil rel R.60 (PM No. 60 Tahun 2012) .....   | 35      |
| Gambar 16 Dimensi profil rel.....  | 37      |
| Gambar 17 Gaya yang bekerja pada rel .....   | 41      |
| Gambar 18 Gaya lateral sebagai fungsi dari radius tikungan dan beberapa<br>kecepatan rata-rata lokomotif DB dan gerbong (Birmann, 1966)... | 46      |
| Gambar 19 Skematik gaya lateral pada komponen rel .....  | 47      |
| Gambar 20 Komponen beban/gaya pada rel dan posisi tegangan maksimum yang<br>membebani rel (Doyle, 1980) .....                              | 48      |
| Gambar 21 Jalur Kereta Api lintas Tebing Tinggi-Siantar .....  | 51      |
| Gambar 22 Proyeksi sumbu x dan y pada rel .....  | 55      |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  | Halaman |
|--|---------|
| Lampiran 1 Eksisting lokasi rencana peningkatan jalan rel tipe R.54.....                                   | 92      |
| Lampiran 2 Pengukuran untuk data perencanaan.....  | 92      |
| Lampiran 3 Pemasangan lapisan geotestile.....  | 93      |
| Lampiran 4 Pemasangan tanah dasar .....  | 94      |
| Lampiran 5 Pengerjaan yang diawasi oleh PT. KAI Persero, Kontraktor dan Konsultan serta pihak terkait..... | 94      |



## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Jalur rel kereta api yang tidak dilakukan pemeliharaan akan mengalami penurunan fungsi dan kualitas kinerja yang secara fisik akan berdampak pada kerusakan misalnya rel rusak, sambungan rel rusak, wesel rusak, bantalan rusak, rel amblas, penambat rel longgar dan genjotan pada sambungan maupun pada lengkungan. Agar dapat mempertahankan kualitas pelayanan jalan kereta api yang layak sehingga dapat memberikan keselamatan, kenyamanan, keamanan dan ketepatan waktu perjalanan kereta api, maka sangat perlu dilakukannya pemeliharaan dan perbaikan jalan rel. Kinerja operasional kereta api yang terganggu akan menyebabkan kerugian, baik dari segi waktu, material, bahkan mengancam keselamatan penumpang. Hal tersebut sangat mungkin terjadi bila struktur jalan rel yang lambat laun mengalami penurunan kualitas tidak dilakukan tindakan/penanganan. Oleh karena itu dilakukanlah pemeliharaan untuk mengontrol kinerja operasional kereta api tersebut.

Pemeliharaan jalan rel merupakan kegiatan pengawasan, pemeriksaan dan perbaikan yang dilakukan oleh PT. Kereta Api Indonesia (KAI) untuk mempertahankan, memulihkan dan meningkatkan kualitas pelayanan jalan rel agar tetap dapat beroperasi. Pemeliharaan yang dilakukan oleh PT. Kereta Api terbagi atas dua kategori utama, yaitu: pemeliharaan berkala dan perbaikan untuk mengembalikan fungsi (korektif). Pemeliharaan berkala adalah tindakan pencegahan (preventif) yang terdiri dari: pemeliharaan harian, bulanan dan tahunan. Pemeliharaan untuk mengembalikan fungsi (korektif) dilakukan apabila komponen

pada lintas jalan rel dianggap tidak lagi memenuhi atau dapat mengganggu operasional kereta api sehingga diperlukan perbaikan hingga penggantian ataupun penambahan komponen guna penyesuaian kebutuhan lintas operasi. Dalam beberapa kasus, terdapat kerusakan prasarana jalan rel kereta api yang tidak memungkinkan dilakukan pemeliharaan atau perawatan secara berulang dikarenakan kerusakan konstruksi yang panjang dan berulang sehingga dinilai tidak efisien dan efektif dalam melakukan pemeliharaan. Maka dari itu, perlu dilakukan adanya peningkatan mutu kelas jalan rel berupa penggantian material struktur jalan rel yang lebih baik demi meningkatkan kualitas, keamanan dan kenyamanan perjalanan KA selama umur perencanaan pelayanan jalan rel kereta. Dengan adanya peningkatan mutu kelas jalan rel juga akan menghasilkan waktu tempuh perjalanan KA yang lebih efektif dan efisien sehingga dapat berdampak baik bagi perusahaan. Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh Kecepatan Kereta Api terhadap Rel tipe R.33 dengan R.54 pada Jalan Rel Kereta Api Lintas Tebing Tinggi-Siantar”.

## **1.2. Maksud dan Tujuan Penelitian**

### **1.2.1. Maksud Penelitian**

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kecepatan kereta api terhadap rel tipe R.33 dengan R.54 pada jalan rel kereta api lintas Tebing Tinggi-Siantar.

### **1.2.2. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan kereta api terhadap rel tipe R.33 dengan R.54 pada jalan rel kereta api lintas Tebing Tinggi-Siantar.

## **1.3. Batasan masalah**

Dalam perencanaan konstruksi jalan rel sendiri terdapat banyak permasalahan yang dapat ditinjau dan dibahas terkait keilmuan teknik sipil. Namun dalam penelitian ini, penulis hanya membatasi permasalahan yang ditinjau pada studi kasus terkait pengaruh kecepatan kereta api terhadap rel tipe R.33 dengan R.54 pada jalan rel kereta api lintas Tebing Tinggi-Siantar.

## **1.4. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana analisis perhitungan beban yang diterima rel pada jalan rel kereta api lintas Tebing Tinggi-Siantar??
2. Bagaimana kinerja kereta api berdasarkan perbandingan sebelum dan sesudah penggantian tipe rel?

### 1.5. Manfaat penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dapat digunakan sebagai bahan pembelajaran dalam mata kuliah yang terkait dengan jalan rel kereta api
2. Sebagai bahan referensi bagi siapa saja yang membacanya, khususnya bagi mahasiswa yang menghadapi masalah yang sama.
3. Dapat digunakan sebagai referensi dalam perencanaan dan perbaikan konstruksi jalan rel agar tidak terjadi kegagalan perencanaan.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Terdahulu

Dalam penulisan skripsi ini peneliti menggali informasi dari beberapa penelitian sebelumnya sebagai bahan perbandingan, baik mengenai kekurangan atau kelebihan yang sudah ada. Selain itu, peneliti juga menggali informasi dari buku-buku maupun skripsi dalam rangka mendapatkan suatu informasi yang ada sebelumnya tentang teori yang berkaitan dengan judul yang digunakan untuk memperoleh landasan teori ilmiah. Pada bab ini berisi dua sub bab. Bagian pertama tinjauan pustaka yang berisi penelitian terdahulu atau literature-literatur ilmiah. Bagian kedua berisi kerangka pemikiran yang menjadi kerangka umum penelitian ini. Berikut merupakan penelitian terdahulu yang masih terkait dengan tema yang penulis kaji.

Penelitian yang dilakukan oleh Tanto Adi Karyanto, Ani Tjitra Handayani dan Veronica Diana Anis Anggorowati di FTSP ITNY Yogyakarta (2020) yang berjudul “Evaluasi Pengaruh Lengkung Jalan Kereta Api terhadap Kecepatan Kereta Api”. Penelitian ini bersifat deskriptif, dimana penelitian ini hanya mengkaji dan mengevaluasi komponen jalan rel berdasarkan pengaruh kecepatan lengkung jalan kereta api terhadap kecepatan kereta api (studi kasus Berbah km. 157+121 – km. 157+632) jalur rel Lintas Selatan Pulau Jawa segmen Kutoarjo – Purwosari. Metodologi studi yang digunakan dalam pembahasan penelitian ini antara lain adalah survey persiapan, pengumpulan data dan pengolahan data. Hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan kereta api pada saat melintasi lengkung Km.157+121 - Km.157+632 jalur rel Lintas Selatan Pulau Jawa segmen

Kutoarjo-Purwosari masih relevan dengan batas kecepatan setiap kereta api yang melintas. Berdasarkan perbandingan antara kecepatan dengan radius lengkung jalan kereta api dapat disimpulkan bahwa semakin besar radius lengkung maka akan semakin tinggi kecepatan kereta api pada saat melintasi lengkung tersebut. Namun demikian atas dasar faktor keamanan dan kenyamanan telah ditentukan untuk batas maksimal kecepatan kereta api yaitu 120 Km/jam.

Penelitian Mega Azahra Yusuf, Roestaman dan Eko Walujodjati di Institut Teknologi Garut (2022) yang berjudul “Evaluasi Struktur Atas Komponen Jalan Rel dalam Kegiatan Reaktivasi Jalur Cibatuh Cikajang”. Penelitian ini membahas tentang bagaimana analisis perhitungan beban yang diterima rel dan bantalan pada rel kereta api serta analisis momen antara kaki rel dan bagian tengah rel. Selain itu, peneliti juga akan melakukan analisis tegangan pada tegangan awal dan tegangan efektif bantalan KA. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa rekonstruksi jalan rel lintas Cibatuh – Garut Kota menggunakan rel tipe R.42 dengan tegangan ijin = 1667 kg/cm<sup>2</sup> dan bantalan tipe/jenis bantalan beton dengan tegangan ijin tekan = 200 kg/cm<sup>2</sup>. Dari analisis tegangan penampang rel akibat beban-beban yang mengacu pada standar pembebanan rel kereta api pada SNI dan Peraturan menteri Perhubungan republik Indonesia nomor PM.60 tahun 2012 diperoleh hasil Tegangan maksimum yang terjadi pada penampang rel adalah sebesar 168,795 kg/cm<sup>2</sup> (tarik) < Tegangan ijin = 1667 kg/cm<sup>2</sup> dan Tegangan maksimum yang terjadi pada dasar rel adalah sebesar 1.167,943 Kg/cm<sup>2</sup> < Tegangan ijin = 1.476,3 Kg/cm<sup>2</sup>. Dari analisa dan perhitungan tegangan dapat disimpulkan bahwa kuat tekan beton bantalan beton tersebut di atas adalah K-500

kg/cm<sup>2</sup>, dan dapat disimpulkan bahwa bantalan beton eksisting masih memenuhi persyaratan Cibatu-Garut. Standar pengoperasian KA Kota.

Penelitian berjudul “Analisis Perbandingan Rel Tipe R33 Dengan Tipe R54 Dan Pengaruh Terhadap Kinerja Kereta (Studi Kasus Jalur Rel Kereta Medan – Binjai)” yang dilakukan oleh Said Yasir Husein (2022). Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat seberapa besar pengaruhnya terhadap kinerja kereta berdasarkan perbandingan antara rel tipe 33 dengan tipe 54. Untuk metode penelitian yang digunakan, peneliti menggunakan metode survey dan metode studi literature. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah erbandingan yang dirasakan peneliti pada saat naik kereta api pada rel tipe R33 dengan tipe R54 yaitu pada kecepatannya. Perbedaan disebabkan karena dimensi rel berbeda, R33 dengan dimensi kecil mempunyai syarat kecepatan maximum 70 km/ jam, sedangkan pada R54, kecepatan maximum yang diijinkan yaitu sebesar 120 km/jam. Hal ini sesuai dengan literatur ketetapan peraturan Menteri Perhubungan no.12 tahun 2012. Berdasarkan perhitungan dari peraturan dinas no 10 tahun 1986, tegangan ijin pada rel tersebut memenuhi persyaratan dengan kecepatan rencana yang disesuaikan. Sehingga pergantian rel kereta api dari tipe R33 menjadi R54 dinyatakan aman. Selain itu, Pengaruh dari perbedaan dimensi rel R33 dengan R54 adalah pada kekuatan perhitungan pembebanan. Semakin besar tipe rel, maka semakin besar pula dimensi dari batang rel tersebut. Sehingga mempengaruhi kinerja kereta api dalam hal kecepatan yang diizinkan. Hal ini menyebabkan meningkatnya kapasitas kecepatan untuk kereta api sesuai dengan ijin yang ada.

## 2.2. Umum

Menurut (Nasution, 2004: 151), kereta api merupakan salah satu bentuk transportasi darat yang ada di masyarakat. Angkutan kereta api adalah moda transportasi yang bergerak di atas rel kereta api. Lahir pada masa Revolusi Industri, kereta api merupakan alat transportasi untuk mengangkut barang dalam jumlah banyak dan jarak jauh. Satu gerbong barang dengan tekanan gandar 18 ton dapat memuat puluhan ton barang; kereta penumpang memiliki tempat duduk untuk 90 orang dan kekuatan satu lokomotif mencapai 5.000 tenaga kuda. Dalam pelayanannya, kereta api dapat terdiri dari ratusan gerbong atau kereta penumpang yang diangkut oleh beberapa lokomotif, biasanya membawa ribuan ton barang atau ratusan penumpang.

Perkeretaapian adalah satu kesatuan sistem yang terdiri dari prasarana, sarana, dan sumber daya manusia, serta standar, kriteria, persyaratan, dan tata cara penyelenggaraan transportasi kereta api (UU Perkeretaapian Republik Indonesia No. 23 Tahun 2007). Dalam pasal 3 disebutkan bahwa perkeretaapian diselenggarakan untuk memudahkan pergerakan orang dan/atau barang dalam jumlah banyak secara aman, nyaman, cepat dan lancar, tepat waktu, tertib dan teratur, efisien serta menunjang bagi pemerataan, pertumbuhan, stabilitas, pendorong dan penggerak pembangunan nasional. Perkeretaapian sebagai moda transportasi memiliki karakteristik dan keunggulan khusus, terutama kemampuan untuk mengangkut orang dan barang dalam jumlah besar, menghemat energi, menghemat ruang, memiliki faktor keamanan yang tinggi, tingkat polusi yang rendah dan lebih efisien daripada moda transportasi jalan jarak jauh dan daerah

dengan lalu lintas padat, seperti lalu lintas perkotaan (UU Perkeretaapian No. 23 Tahun 2007).

PT. Kereta Api Indonesia (PT. KAI) adalah Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang menyediakan layanan transportasi kereta api. Pelayanan merupakan kunci keberhasilan dalam berbagai kegiatan usaha atau jasa. Pelayanan publik menjadi isu kebijakan yang semakin strategis seiring dengan stagnasinya peningkatan pelayanan publik di Indonesia. Pada dasarnya setiap manusia sangat membutuhkan pelayanan, bahkan secara ekstrim dapat dikatakan bahwa pelayanan tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. PT. Kereta Api Indonesia (Persero) memiliki tanggung jawab sebagai agen pembangunan yang mempunyai tanggung jawab sosial terhadap kebutuhan. Namun di sisi lain, PT. Kereta Api Indonesia (Persero) dituntut sebagai perusahaan pencari keuntungan yang bertujuan untuk mempertahankan dan mengembangkan usahanya sendiri dan sumber devisa negara.

Moda angkutan kereta api memiliki keunggulan dan kelemahan dalam melakukan fungsinya sebagai salah satu moda angkutan untuk barang dan atau orang. Adapun keuntungan angkutan kereta api dapat dijelaskan, antara lain:

1. Moda angkutan jalan rel adalah tipe moda angkutan yang memungkinkan jangkauan pelayanan orang/barang dalam jarak pendek, sedang dan jauh dengan kapasitas yang besar (angkutan masal).
2. Energi yang digunakan relatif kecil, bahkan dengan dikembangkan tenaga penggerak baterai dari sumber listrik yang memungkinkan penggunaan hemat energi.

3. Keandalan waktu yang cukup tinggi sehingga kecepatan lebih relatif konstan dan keselamatan perjalanan akan lebih baik dibandingkan moda lain, karena mempunyai jalur (*track*) dan fasilitas terminal tersendiri.
4. Biaya total variabel (biaya operasional) perhitungan perhari cukup tinggi, namun biaya variabel dalam per ton tiap km sangat rendah (karena kapasitas angkut cukup besar) dibandingkan dari perkembangan moda.

Di dalam keuntungan, sebagai angkutan kereta api juga memiliki kerugian antara lain:

1. Memerlukan fasilitas dan infrastruktur khusus yang tidak bisa digunakan oleh moda angkutan lain, sebagai konsekuensinya perlu penyediaan alat angkut yang khusus (gerbong dan lokomotif).
2. Investasi yang dikeluarkan cukup tinggi karena kereta api memerlukan perlakuan khusus dalam proses perawatan.
3. Pelayanan jasa orang/barang hanya terbatas pada jalurnya (tidak *door to door*).
4. Bila ada hambatan (kecelakaan) pada jalur tersebut, maka tidak dapat segera dialihkan ke jalur lainnya.

### 2.3. Sejarah Perkeretaapian Indonesia

Sejarah perkeretaapian di Indonesia dimulai ketika pencangkulan pertama jalur kereta api Semarang-*Vorstenlanden* (Solo-Yogyakarta) di Desa Kemijen oleh Gubernur Jendral Hindia Belanda Mr. L.A.J Baron Sloet van de Beele tanggal 17 Juni 1864. Pembangunan dilaksanakan oleh perusahaan swasta *Nederlansch Indische Spoorweg Maatschappij* (NISM) menggunakan lebar sepur 1435 mm. Sementara itu, pemerintah Hindia Belanda membangun jalur kereta api negara

melalui *Staatssporwegen* (SS) pada tanggal 8 April 1875. Rute pertama SS meliputi Surabaya-Pasuruan-Malang. Keberhasilan NISM dan SS mendorong investor swasta membangun jalur kereta api seperti *Semarang Joana Stoomtram Maatschappij* (SJS), *Semarang Cheribon Stoomtram Maatschappij* (SCS), *Serajoedal Stoomtram Maatschappij* (SDS), *Oost Java Stoomtram Maatschappij* (OJS), *Pasoeroean Stoomtram Maatschappij* (Ps.SM), *Kediri Stoomtram Maatschappij* (KSM), *Probolinggo Stoomtram Maatschappij* (Pb.SM), *Modjokerto Stoomtram Maatschappij* (MSM), *Malang Stoomtram Maatschappij* (MS), *Madoera Stoomtram Maatschappij* (Mad.SM), *Deli Spoorweg Maatschappij* (DSM).

Selain di Jawa, pembangunan jalur kereta api dilaksanakan di Aceh (1876), Sumatera Utara (1889), Sumatera Barat (1891), Sumatera Selatan (1914), dan Sulawesi (1922). Sementara itu di Kalimantan, Bali, dan Lombok hanya dilakukan studi mengenai kemungkinan pemasangan jalan rel, belum sampai tahap pembangunan. Sampai akhir tahun 1928, panjang jalan kereta api dan trem di Indonesia mencapai 7.464 km dengan perincian rel milik pemerintah sepanjang 4.089 km dan swasta sepanjang 3.375 km. Pada tahun 1942 Pemerintah Hindia Belanda menyerah tanpa syarat kepada Jepang. Semenjak itu, perkeretaapian Indonesia diambil alih Jepang dan berubah nama menjadi Rikuyu Sokyuku (Dinas Kereta Api). Selama penguasaan Jepang, operasional kereta api hanya diutamakan untuk kepentingan perang. Salah satu pembangunan di era Jepang adalah lintas Saketi-Bayah dan Muaro-Pekanbaru untuk pengangkutan hasil tambang batu bara guna menjalankan mesin-mesin perang mereka. Namun, Jepang juga melakukan

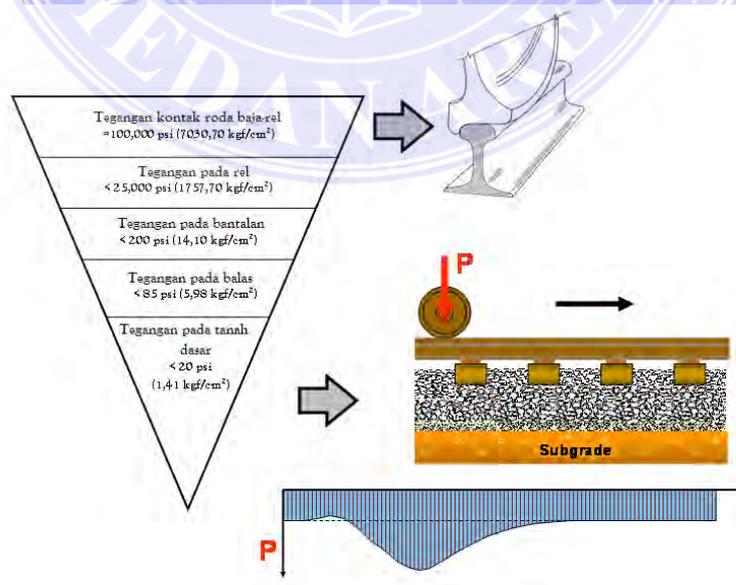
pembongkaran rel sepanjang 473 km yang diangkut ke Burma untuk pembangunan kereta api disana.

Setelah Indonesia memproklamasikan kemerdekaan pada tanggal 17 Agustus 1945, beberapa hari kemudian dilakukan pengambilalihan stasiun dan kantor pusat kereta api yang dikuasai Jepang. Puncaknya adalah pengambil alihan Kantor Pusat Kereta Api Bandung tanggal 28 September 1945 (kini diperingati sebagai Hari Kereta Api Indonesia). Hal ini sekaligus menandai berdirinya Djawatan Kereta Api Indonesia Republik Indonesia (DKARI). Ketika Belanda kembali ke Indonesia tahun 1946, Belanda membentuk kembali perkeretaapian di Indonesia bernama *Staatsporwegen/ Verenigde Spoorwegbedrijf* (SS/VS), gabungan SS dan seluruh perusahaan kereta api swasta (kecuali DSM). Berdasarkan perjanjian damai Konfrensi Meja Bundar (KMB) Desember 1949, dilaksanakan pengambilalihan aset-aset milik pemerintah Hindia Belanda. Pengalihan dalam bentuk penggabungan antara DKARI dan SS/VS menjadi Djawatan Kereta Api (DKA) tahun 1950. Pada tanggal 25 Mei DKA berganti menjadi Perusahaan Negara Kereta Api (PNKA). Pada tahun tersebut mulai diperkenalkan juga lambang Wahana Daya Pertiwi yang mencerminkan transformasi Perkeretaapian Indonesia sebagai sarana transportasi andalan guna mewujudkan kesejahteraan bangsa tanah air. Selanjutnya pemerintah mengubah struktur PNKA menjadi Perusahaan Jawatan Kereta Api (PJKA) tahun 1971. Dalam rangka meningkatkan pelayanan jasa angkutan, PJKA berubah bentuk menjadi Perusahaan Umum Kereta Api (Perumka) tahun 1991. Perumka berubah menjadi Perseroan Terbatas, PT. Kereta Api (Persero) tahun 1998. Pada tahun 2011 nama perusahaan PT. Kereta Api (Persero)

berubah menjadi PT. Kereta Api Indonesia (Persero) dengan meluncurkan logo baru.

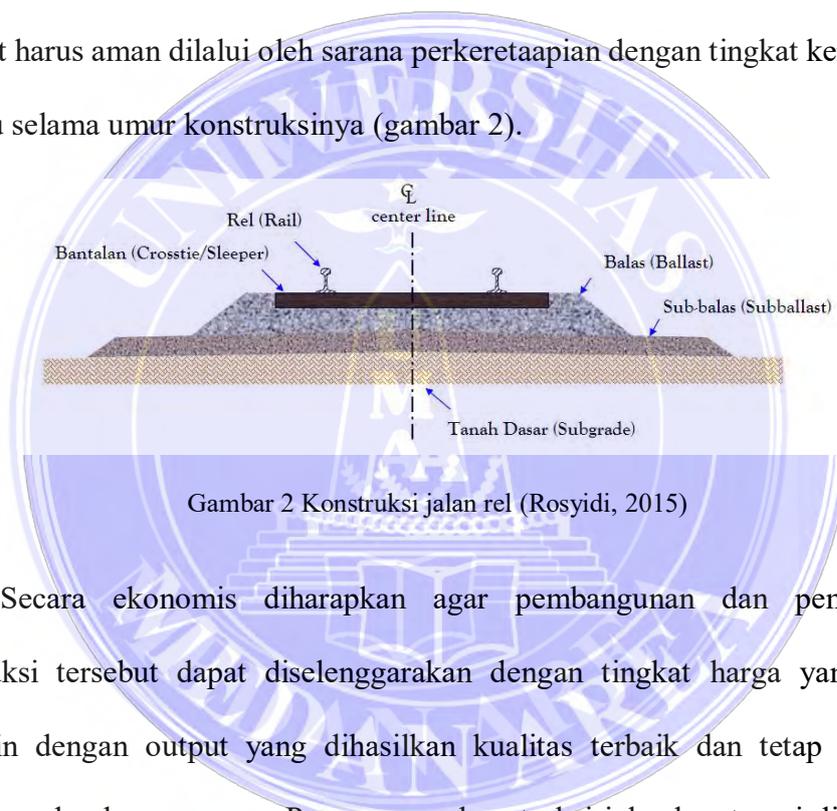
#### 2.4. Pengertian Struktur Jalan Rel

Struktur jalan rel merupakan suatu konstruksi yang direncanakan sebagai prasarana atau infrastruktur perjalanan kereta api. Konsep struktur jalan rel adalah rangkaian super dan sub-struktur yang menjadi satu kesatuan komponen yang mampu mendukung pergerakan kereta api secara aman. Karena menopang pergerakan kereta api, maka struktur jalan rel merupakan sistem dinamik antar komponen penyusunnya yang dapat mendistribusikan beban rangkaian kereta api dan sekaligus menyediakan pergerakan yang stabil dan nyaman. Dengan demikian, konsep akhir dari distribusi beban ini adalah menyalurkan tegangan dari beban kereta api kepada tanah dasar tanpa menimbulkan perubahan bentuk permanen pada tanah (Rosyidi, 2015). Untuk konsep distribusi pembebanan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Konsep distribusi pembebanan pada struktur jalan rel (Rosyidi, 2015)

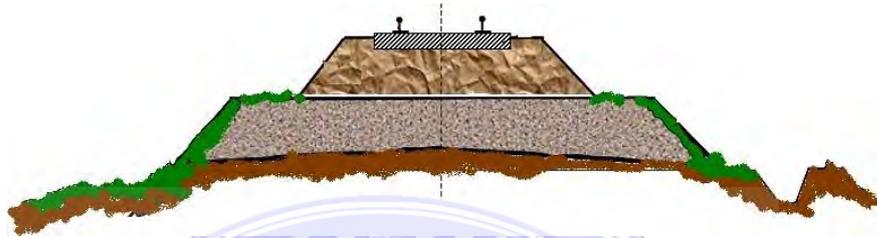
Jalan rel juga perlu dirancang dan direncanakan supaya ekonomis dalam pelaksanaan konstruksinya dan mudah untuk dilakukan pemeliharaan. Perencanaan konstruksi jalur kereta api sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. PM. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, bahwa jalan rel harus direncanakan sesuai persyaratan teknis sehingga dapat dipertanggung jawabkan secara teknis dan ekonomis. Secara teknis diartikan konstruksi jalur kereta api tersebut harus aman dilalui oleh sarana perkeretaapian dengan tingkat kenyamanan tertentu selama umur konstruksinya (gambar 2).



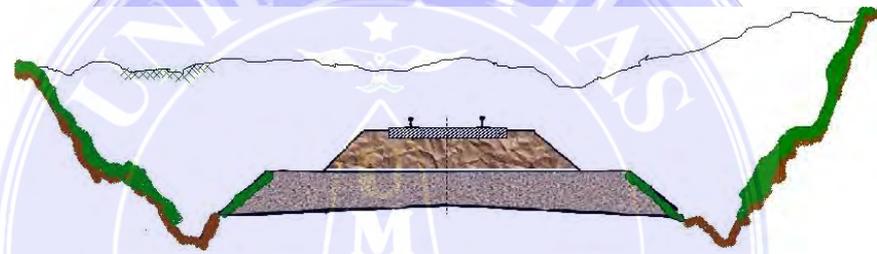
Gambar 2 Konstruksi jalan rel (Rosyidi, 2015)

Secara ekonomis diharapkan agar pembangunan dan pemeliharaan konstruksi tersebut dapat diselenggarakan dengan tingkat harga yang sekecil mungkin dengan output yang dihasilkan kualitas terbaik dan tetap menjamin keamanan dan kenyamanan. Perencanaan konstruksi jalur kereta api dipengaruhi oleh jumlah beban, kecepatan maksimum, beban gandar dan pola operasi. Mempertimbangkan hal tersebut peraturan menteri mengenai klasifikasi jalur kereta api menjadi referensi supaya perencanaan struktur jalan rel dapat dibuat secara tepat guna. Sesuai tipe konstruksinya, struktur jalan rel dapat dibagi menjadi dua bentuk konstruksi, yaitu :

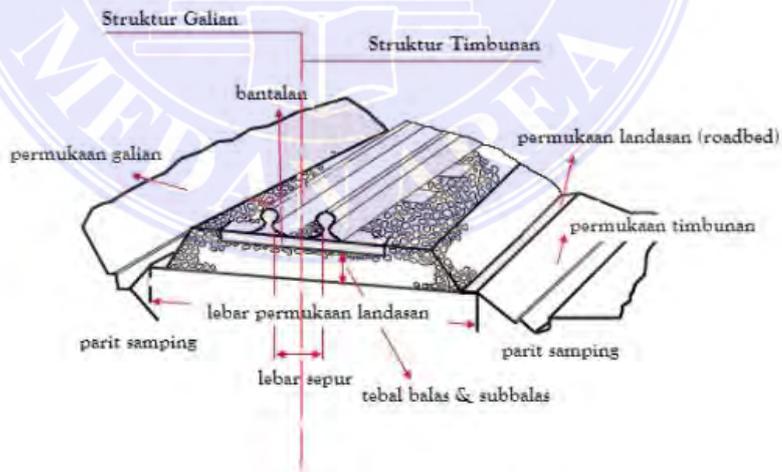
1. Jalan rel dalam konstruksi timbunan, jalan rel dalam konstruksi timbunan biasanya terdapat pada daerah (medan) yang cenderung datar,
2. Jalan rel dalam konstruksi galian, jalan rel pada konstruksi galian umumnya terdapat pada medan pegunungan.



Gambar 3 Contoh potongan melintang pada timbunan (Rosyidi, 2015)



Gambar 4 Contoh potongan melintang pada galian (Rosyidi, 2015)



Gambar 5 Contoh potongan jalan rel pada struktur galian dan timbunan (Rosyidi, 2015)

## 2.5. Karakteristik Struktur Jalan Rel

Struktur jalan rel mempunyai beberapa kriteria yang diperlukan, diantaranya adalah sebagai berikut:

### 1. Kekakuan (*Stiffness*)

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 dapat digunakan untuk menilai umur, kekuatan dan kualitas jalan rel. Deformasi yang berlebihan akan menyebabkan geometric jalan tidak pada kedudukannya dan memungkinkan terjadinya keausan yang besar antara komponen – komponen struktur jalan rel.

### 2. Elastisitas (*Elastic/Resilience*)

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. Jika struktur jalan rel kurang kaku maka dapat ditambah keelastisannya dengan menambahkan pelat katet (rubber pads) di bawah kaki rel.

### 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. Sebagai contoh suatu rangkaian kereta api tidak mampu berjalan pada jalan rel dengan gradien yang lebih dari 6 ‰ dan radius tikungan yang lebih kecil dari 200 m. Dengan demikian, penyediaan struktur jalan rel dan geometriknya harus direncanakan secermat mungkin, termasuk memperhitungkan kemungkinan pengembangannya di masa depan. Perubahan geometrik akibat deformasi tetap yang terjadi dapat menimbulkan anjlognya kereta api dan meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan.

#### 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. Tubuh jalan didominasi oleh struktur lapisan tanah yang meliputi lapisan tanah yang telah dipadatkan atau distabilisasikan maupun masih dalam kondisi tanah asli. Tubuh jalan akan memikul beban lalu lintas kereta api yang diteruskan secara vertikal ke bawah ke tubuh jalan melalui lapisan balas. Dengan demikian, tubuh jalan harus dipastikan memiliki stabilitas yang baik karena konstruksi ini juga digunakan

sebagai bangunan penahan yang mendukung stabilitas jalan rel terhadap bahaya longsor dan gerusan air pada tubuh jalan.

#### 5. Kemudahan untuk Pengaturan dan Pemeliharaan (*Adjustability*)

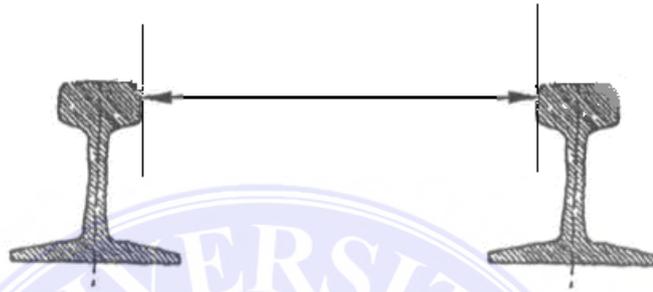
Jalan rel harus memiliki sifat dan kemudahan dalam pengawasan, pengaturan dan pemeliharaan sehingga dapat dikembalikan ke posisi geometrik dan struktur jalan rel yang benar jika terjadi perubahan geometri akibat beban yang berjalan. Pekerjaan pengawasan, pengaturan dan pemeliharaan dilakukan oleh operator 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).

### 2.6. Klasifikasi Jalan Rel di Indonesia

Secara umum jalan rel dibedakan menurut beberapa klasifikasi sesuai dengan Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986 dan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 yang mengatur klasifikasi jalan rel sebagaimana dijelaskan berikut ini.

## 1. Klasifikasi Jalan Rel Menurut Lebar Sepur

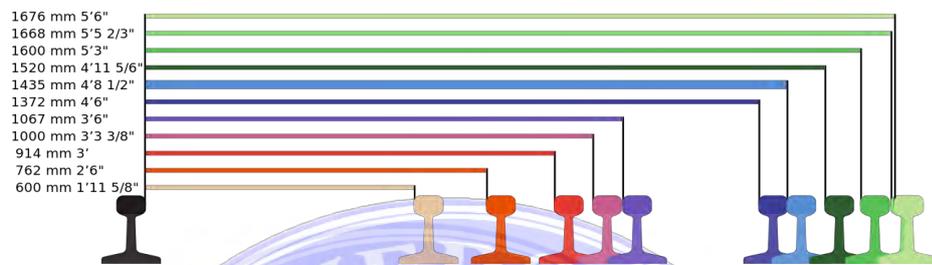
Lebar sepur merupakan jarak terkecil di antara kedua sisi kepala rel (bagian dalam), diukur pada daerah 0 – 14 mm di bawah permukaan teratas kepala rel (Gambar 6).



Gambar 6 Ukuran lebar sepur pada struktur jalan rel (Rosyidi, 2015)

- 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 negara-negara 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.
- b. Sepur Lebar (*broad gauge*), lebar sepur  $> 1435$  mm, digunakan pada negara Finlandia, Rusia (1524 mm), Spanyol, Pakistan, Portugal dan India (1676 mm).

- 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 7 Beberapa ukuran lebar sepur di dunia (Rail gauge.svg, 2011)

## 2. Klasifikasi Jalan Rel Menurut Kecepatan Maksimum

Kecepatan maksimum kereta api yang diijinkan di Indonesia antara 80 hingga 120 km/jam yang selanjutnya dikelompokkan ke dalam kelas jalan sebagai berikut:

- a. Kelas Jalan I : 120 km/jam
- b. Kelas Jalan II : 110 km/jam
- c. Kelas Jalan III : 100 km/jam
- d. Kelas Jalan IV : 90 km/jam
- e. Kelas Jalan V : 80 km/jam

## 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 1) dan 1435 mm (Tabel 2).

Tabel 1 Daya angkut lintas yang diijinkan untuk lebar sepur 1067 mm

| Kelas Jalan | Daya Angkut Lintas<br>(dalam $10^6 \times \text{Ton/Tahun}$ ) |
|-------------|---|
| I           | > 20  |
| II          | 10 – 20   |
| III         | 5 – 10  |
| IV          | 2,5 – 5   |
| V           | < 2,5   |

Tabel 2 Daya angkut lintas yang diijinkan untuk lebar sepur 1435 mm

| Kelas Jalan | Daya Angkut Lintas<br>(dalam $10^6 \times \text{Ton/Tahun}$ ) |
|-------------|---|
| I           | > 20  |
| II          | 10 – 20   |
| III         | 5 – 10  |
| IV          | < 5   |

#### 4. Klasifikasi Jalan Rel Menurut Kelandaian Jalan

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 PM 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.

Tabel 3 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. Diskusi terperinci mengenai kelandaian ini akan dijelaskan dalam bahasan geometrik jalan rel.

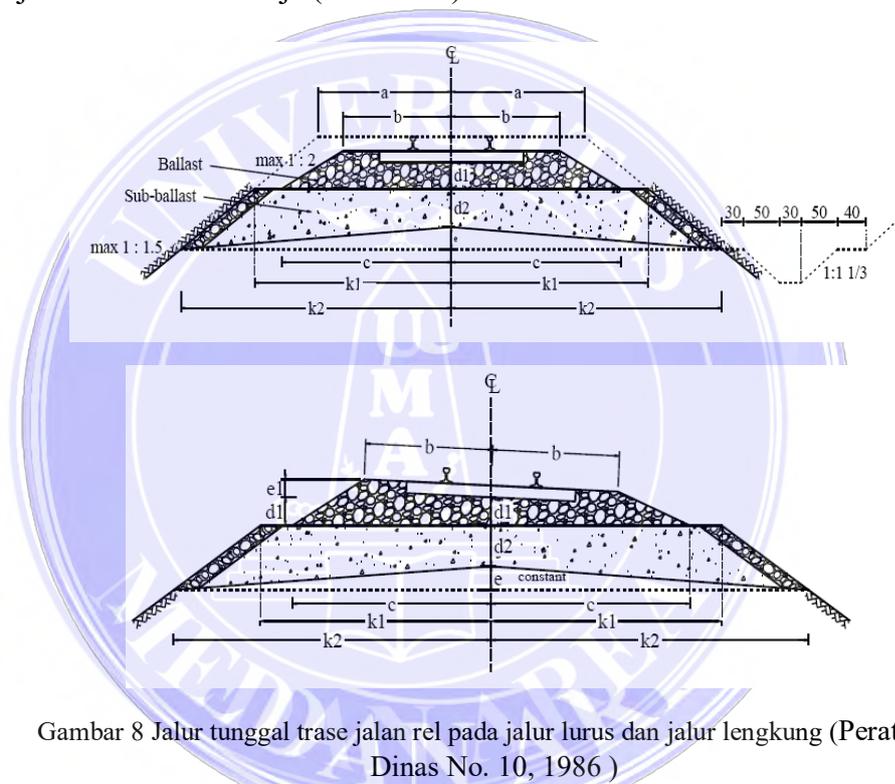
#### 5. Klasifikasi Jalan Rel Menurut Beban Gandar

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:

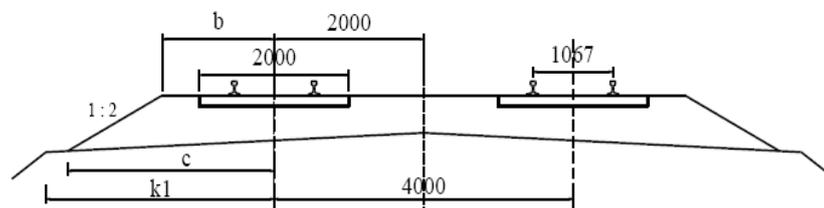
- a. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1067 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 18 ton.
- b. Beban gandar untuk lebar jalan rel 1435 mm pada semua kelas jalur maksimum sebesar 22,5 ton.

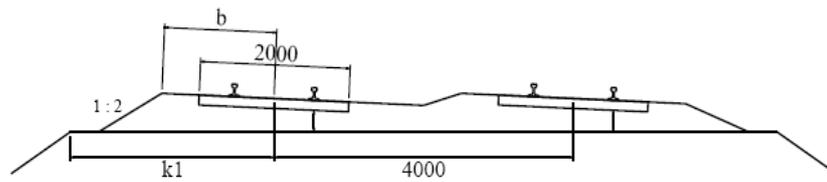
6. Klasifikasi Jalan Rel menurut Jumlah Jalur

- a. Jalur Tunggal adalah jumlah jalur di lintas bebas hanya satu, dan diperuntukkan untuk melayani arus lalu lintas angkutan jalan rel dari dua arah (Gambar 8).
- b. Jalur Ganda adalah jumlah jalur di lintas bebas dua jalur, dimana masing-masing jalur hanya diperuntukkan untuk melayani arus lalu lintas angkutan jalan rel satu arah saja (Gambar 9).



Gambar 8 Jalur tunggal trase jalan rel pada jalur lurus dan jalur lengkung (Peraturan Dinas No. 10, 1986 )





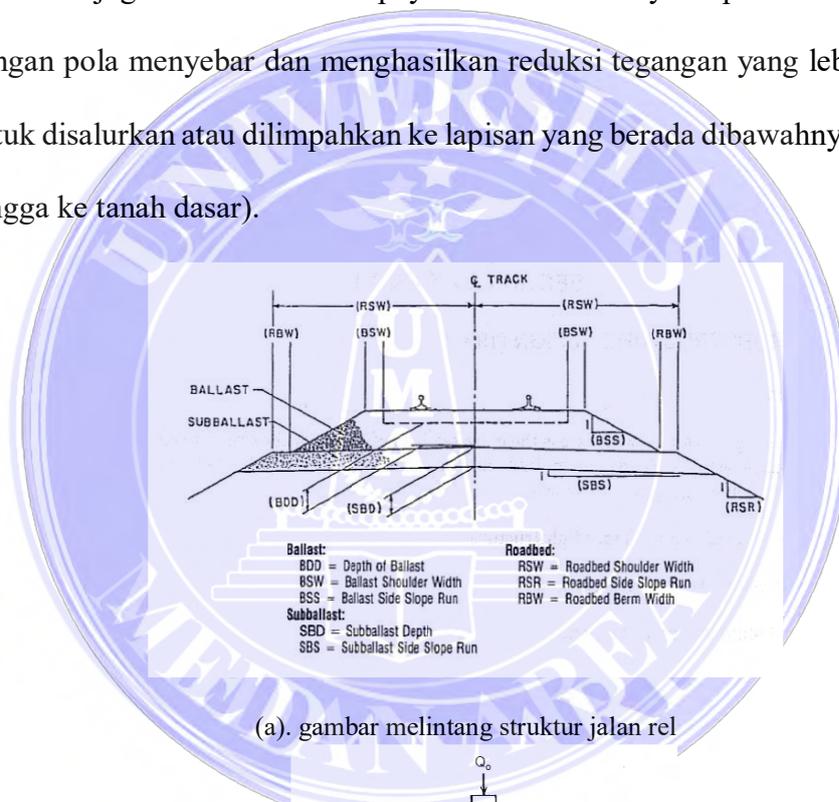
Gambar 9 Jalur ganda trase jalan rel pada jalur lurus dan jalur lengkung (Peraturan Dinas No. 10, 1986 )

## 2.7. Komponen Struktur Jalan Rel

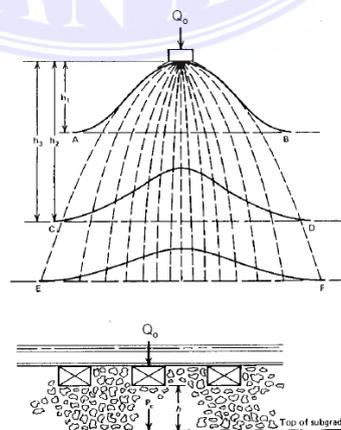
Struktur jalan rel dibagi ke dalam dua bagian struktur yang terdiri dari kumpulan komponen-komponen jalan rel yaitu :

1. Struktur bagian atas, atau dikenal sebagai *superstructure* yang terdiri dari komponen-komponen seperti rel (*rail*) termasuk didalamnya pelat penyambung (jika ada), penambat (*fastening*) dan bantalan (*sleeper, tie, crosstie*). Komponen superstruktur akan menerima beban pertama kali dari kendaraan lokomotif, kereta atau gerbong. Dengan demikian, seluruh komponen superstruktur didisain sekokoh mungkin (kaku) supaya dapat menerima beban dengan baik tanpa mengalami deformasi permanen dan mampu menyebarkan beban ke substruktur.
2. Struktur bagian bawah, atau dikenali sebagai *substructure*, yang terdiri dari komponen balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), tanah dasar (*improve subgrade*) dan tanah asli (*natural ground*). Tanah dasar merupakan lapisan tanah di bawah subbalas yang berasal dari tanah asli tempatan atau tanah yang didatangkan (jika kondisi tanah asli tidak baik), dan telah mendapatkan perlakuan pemadatan (*compaction*) atau diberikan perlakuan khusus (*treatment*). Pada kondisi tertentu, balas juga dapat disusun dalam dua lapisan, yaitu : balas atas (*top ballast*) dan balas bawah (*bottom ballast*).

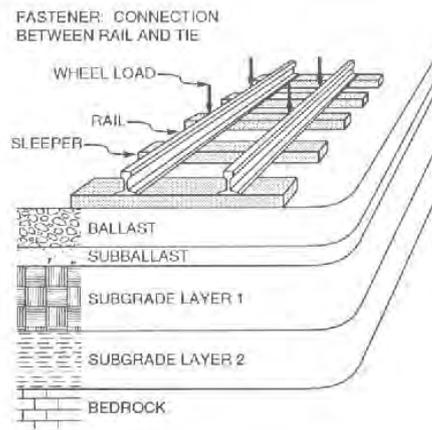
Konstruksi jalan rel merupakan suatu sistem struktur yang menghimpun komponen-komponennya seperti rel, bantalan, penambat dan lapisan fondasi serta tanah dasar secara terpadu dan disusun dalam sistem konstruksi dan analisis tertentu untuk dapat dilalui kereta api secara aman dan nyaman. Lapisan penyusun struktur jalan rel telah ditentukan dimensi lebar dan tebalnya sedemikian sehingga mampu menopang super-struktur dengan baik. Yang demikian juga dimaksudkan supaya beban seterusnya dapat didistribusikan dengan pola menyebar dan menghasilkan reduksi tegangan yang lebih rendah untuk disalurkan atau dilimpahkan ke lapisan yang berada dibawahnya (fondasi hingga ke tanah dasar).



(a). gambar melintang struktur jalan rel



(b). distribusi beban ke bantalan



(c). gambar komponen struktur jalan rel

Gambar 10 Struktur jalan rel beserta sistem komponen penyusunnya (Rosyidi, 2015)

## 2.8. Rel (*Rail*)

### 1) Pengertian Umum

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. Oleh itu, rel harus memiliki nilai kekakuan yang tinggi supaya perpindahan beban titik roda dapat menyebar secara baik pada tumpuan di bantalan. Selain itu, fungsi lain dari rel adalah menyalurkan listrik untuk tujuan persinyalan pada kawasan sirkuit jalan rel.

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:

- a. Permukaan rel harus dirancang memiliki permukaan yang cukup lebar untuk membuat tegangan kontak di antara rel dan roda sekecil mungkin.
- b. Kepala rel harus cukup tebal untuk memberikan umur manfaat yang panjang.
- c. Badan rel harus cukup tebal untuk menjaga dari pengaruh korosi dan mampu menahan tegangan lentur serta tegangan horisontal.
- d. Dasar rel harus cukup lebar untuk dapat mengecilkan distribusi tegangan ke bantalan baik melalui pelat andas maupun tidak.
- e. Dasar rel juga harus tebal untuk tetap kaku dan menjaga bagian yang hilang akibat korosi.
- f. Momen inersia harus cukup tinggi, sehingga tinggi rel diusahakan tinggi dan mencukupi tanpa bahaya tekuk.
- g. Tegangan horisontal diusahakan dapat direduksi oleh kepala dan dasar rel dengan perencanaan geometriknya yang cukup lebar.
- h. Stabilitas horisontal dipengaruhi oleh perbandingan lebar dan tinggi rel yang mencukupi.
- i. Titik Pusat sebaiknya di tengah rel.
- j. Geometrik badan rel harus sesuai dengan pelat sambung.
- k. Jari-jari kepala rel harus cukup besar untuk mereduksi tengangan kontak.

Pertimbangan lainnya dalam perencanaan jalan rel, rel dengan berat yang sama dapat memiliki geometrik yang berbeda sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Dengan demikian, pertimbangan geometrik rel perlu menjadi perhatian. Contohnya, ARA (*American Railways Association*) membagi rel menjadi kelas A dan B. Kepala rel jenis A dibuat tipis dengan tujuan agar

momen inersia tinggi sehingga rel ini dipakai untuk kereta api berkecepatan tinggi. Lain halnya dengan kepala rel jenis B yang dibuat sedemikian sehingga memiliki momen inersia cukup untuk menahan bahaya aus karena beban gandar yang tinggi dengan kecepatan kereta api sedang.

Prinsip dasar dalam disain rel adalah menentukan dimensi rel yang sesuai yang mempunyai berat yang optimum yang memenuhi persyaratan kekakuan, kekuatan dan durabilitas dengan level permukaan rel yang konsisten dan memiliki gaya tahan lateral yang mencukupi sehingga mampu melayani pergerakan kendaraan kereta api yang nyaman dan aman.

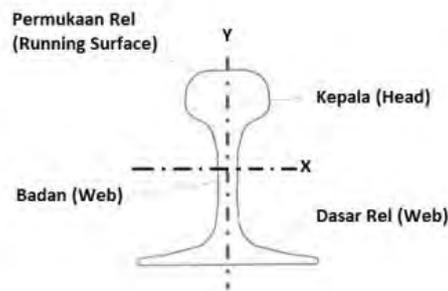
## 2) Persyaratan Umum Rel

### 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 didesain untuk dapat menjalankan fungsinya dengan baik dan optimal. Bagian-bagian rel tersebut adalah:

- 1) Kepala rel (*head*): ukuran kepala rel termasuk didalamnya permukaan rel harus direncanakan dengan baik 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 dirancang dengan lebar optimum sehingga kedudukan rel stabil terhadap dorongan dan puntiran akibat

pergerakan kereta api, serta mampu mendistribusikan beban yang diterima kepada bantalan dengan baik.



Gambar 11 Bagian-bagian rel (Rosyidi, 2015)

b. Kekakuan

Kekakuan atau *stiffness* dapat diukur melalui momen inersia rel. Desain rel yang ekonomis dan efektif mensyaratkan nilai momen inersia maksimum per berat unit rel yang konsisten dengan kekakuan rel dalam berbagai arah, sehingga mampu menahan pergeseran lateral akibat pergerakan kereta api dan secara vertikal mampu untuk menerima beban dan meneruskannya ke bantalan.

c. Kekuatan

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

#### d. Durabilitas

Durabilitas merupakan faktor yang berkaitan dengan ketahanan secara langsung maupun tidak dalam disain rel dan mempengaruhi umur manfaat rel terhadap keausan (*wear*), kerusakan ujung rel (*rail end batter*), dan kerusakan *hogged-rail* (*hogging*). Berikut dijelaskan faktor-faktor terkait durabilitas, yaitu:

- 1) Keausan (*wear*), tebal kepala rel harus mempunyai margin kekuatan untuk mengatasi keausan vertikal. Permukaan kepala rel harus mempunyai permukaan keras untuk memberikan umur rel yang lebih panjang.
- 2) Kerusakan ujung rel (*rail end batter*), kerusakan ini disebabkan tumbukan berulang dari road kereta api pada ujung rel. Kerusakan ini dipengaruhi oleh lebar dan kekerasan kepala rel, kekakuan sambungan, tipe sambungan dan kualitas perawatan pada sambungan.
- 3) Kerusakan *hogged-rail* (*hogging*), merupakan kerusakan permukaan rel dimana ujung – ujung rel pada sambungan rel akan melengkung kebawah akibat beban vertikal. Kekakuan vertikal pada potongan berperan penting untuk meminimalisir *hogged – rail*.

### 3. Tipe Rel

#### a. Berdasarkan Bentuknya

Menurut bentuknya saat ini digunakan tiga jenis macam profil rel, diantaranya:

1) Rel Berkepala Dua

Tipe ini dirancang karena memiliki keunggulan, yaitu apabila kepala rel mengalami keausan maka bisa dibalik dengan sisi lain yang ada di bawahnya. Namun pada kenyataannya, bagian bawah rel juga mengalami keausan baik akibat beban maupun lingkungan, dengan demikian bagian bawah rel ternyata tidak dapat memberikan permukaan yang baik untuk media pergerakan roda kereta api.

2) Rel Alur

Ciri utama rel alur yaitu mempunyai kaki yang sangat lebar. Hal ini untuk memperkecil aus di lengkungan, maka alur harus diperlebar dan pinggir alur dibuat lebih tebal.

3) Rel Vignola

Merupakan bentuk rel yang umum digunakan pada jalan rel, termasuk di Indonesia. Rel ini mempunyai beberapa keunggulan, yaitu : momen perlawanan cukup besar, rel mudah ditambatkan pada bantalan dan kepala rel sesuai dengan bentuk kasut roda.

b. Berdasarkan Berat Rel

Menurut beratnya, secara umum dapat dibagi menjadi:

- 1) R-42, adalah rel dengan berat sekitar 42 kg/meter.
- 2) R-50, adalah rel dengan berat sekitar 50 kg/meter.
- 3) R-54, adalah rel dengan berat sekitar 54 kg/meter.
- 4) R-60, adalah rel dengan berat sekitar 60 kg/meter.

c. Berdasarkan Panjang Rel.

Menurut PD No. 10 Tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel, bahwa panjang rel dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu:

- 1) Rel standar, adalah rel yang panjangnya 25 meter.
- 2) Rel pendek, adalah rel yang panjangnya maksimal 100 meter.
- 3) Rel panjang, adalah rel yang panjangnya tercantum panjang minimumnya pada table 4.

Tabel 4 Panjang minimum rel panjang.

| Jenis Bantalan | Tipe Rel |       |       |       |
|----------------|----------|-------|-------|-------|
|                | R-42     | R-50  | R54   | R-60  |
| Bantalan Kayu  | 325 m    | 375 m | 400 m | 450 m |
| Bantalan Beton | 200 m    | 225 m | 250 m | 275   |

d. Hubungan Tipe Rel dengan Kelas Jalan

Tipe rel untuk masing – masing kelas jalan tercantum pada tabel 5.

Tabel 5 Kelas jalan dan tipe 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           |

4. Dimensi Rel di Indonesia

Tabel 6 menunjukkan dimensi atau ukuran rel pada bagian-bagian rel masing-masing yang digunakan di Indonesia sesuai PM No. 60 tahun 2012.

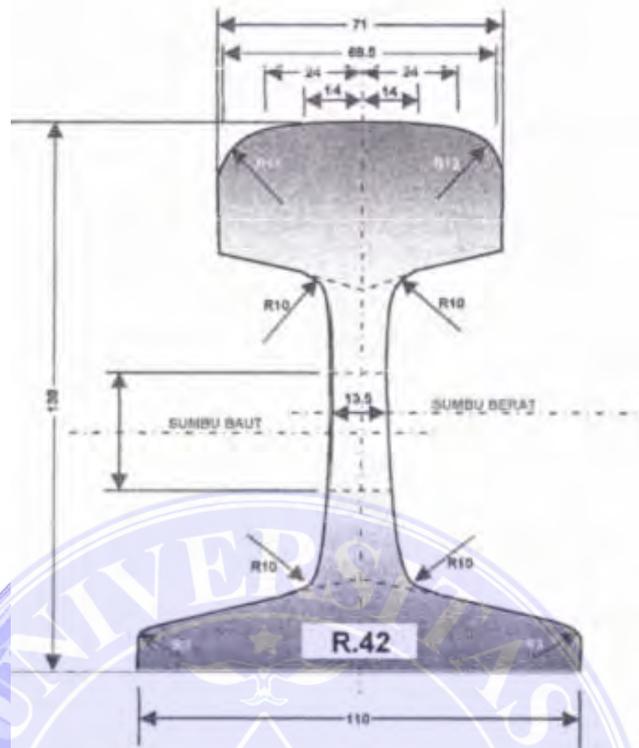
Penamaan tipe rel untuk tujuan klasifikasi rel di Indonesia disesuaikan dengan

berat (dalam kilogram, kg) untuk setiap 1 meter panjangnya, sebagai contoh tipe R 54 berarti rel memiliki berat sekitar 54 kg untuk setiap 1 meter panjangnya.

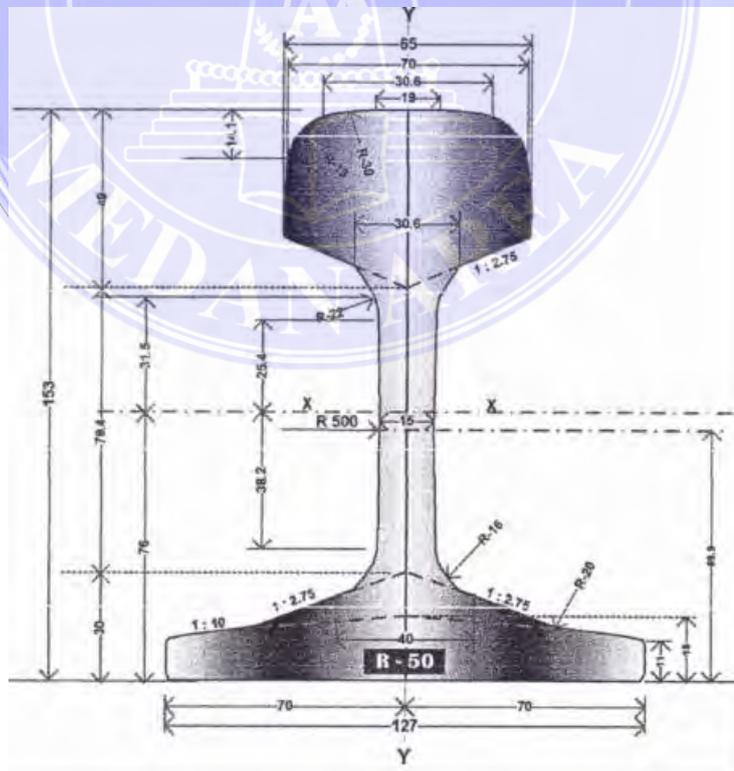
Tabel 6 Klasifikasi tipe rel di Indonesia

| Tipe rel  | Berat (kg/m) | Tinggi rel (mm) | Lebar kaki (mm) | Lebar kepala (mm) | Tebal badan (mm) | Panjang rel standar (m) |
|-----------|--------------|-----------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------------------|
| R2/R25    | 25,74        | 110             | 90              | 53                | 10               | 6,80 – 10,20            |
| R3/R33    | 33,50        | 134             | 105             | 58                | 11               | 11,90 – 13,60           |
| R14/R41   | 41,52        | 138             | 110             | 68                | 13,5             | 11,90 – 13,60 – 17,00   |
| R14A/R42  | 42,18        | 138             | 110             | 68,5              | 13,5             | 13,60 – 17,00           |
| R50       | 50,40        | 153             | 127             | 63,8              | 15               | 17,00                   |
| UIC54/R54 | 54,40        | 159             | 140             | 70                | 16               | 18,00/24,00             |
| R60       | 60,34        | 172             | 150             | 74,3              | 16,5             |                         |

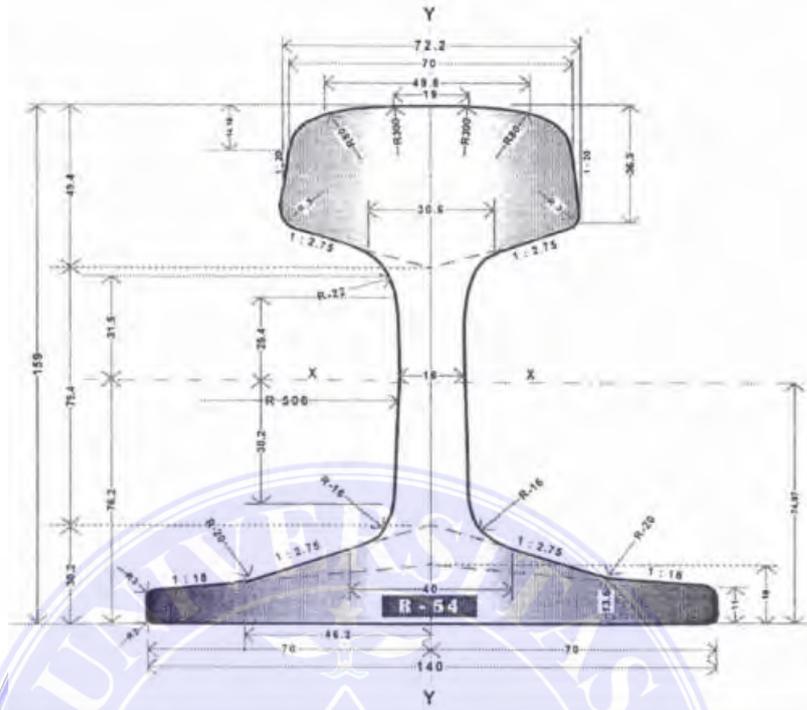
Penamaan tipe rel berdasarkan berat juga digunakan oleh beberapa negara lain diantaranya klasifikasi oleh Amerika (AREA), Afrika Utara, Tiongkok (Cina) dan India. Profil rel standar yang digunakan di India (*Indian Railways*) antara lain 60 kg, 52 kg, 90 R, 75 R, 60 R dan 50 R. Profil rel yang lebih besar yaitu 60 kg dan 52 kg saat ini telah didisain dengan unit metri, sedangkan profil tipe rel lainnya masih menggunakan spesifikasi Inggris (*British Standard*) didisain dalam unit FPS units meskipun pada kenyataannya sudah dikonversi dalam unit metrik. Nomenklatur R pada tipe rel India artinya spesifikasi British yang telah direvisi. Beberapa contoh profil rel standar yang digunakan di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 12 hingga Gambar 15.



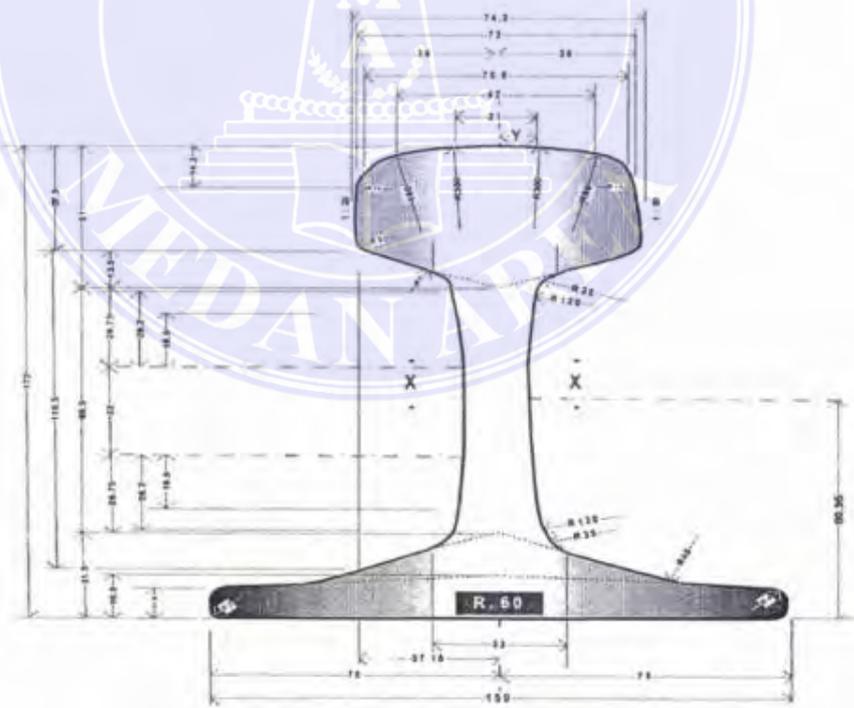
Gambar 12 Profil rel R42 (PM No.60, 2012)



Gambar 13 Profil rel R50 (PM No.60, 2012)



Gambar 14 Profil rel R54 (PM No.60, 2012)



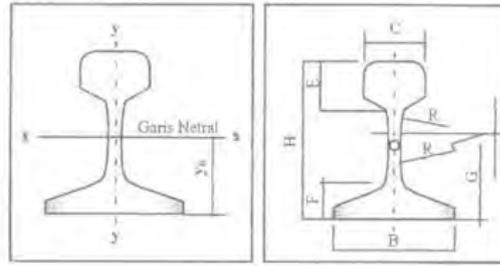
Gambar 15 Profil rel R60 (PM No.60, 2012)

## 5. Perhitungan Dimensi Rel

Masing-masing profil rel memiliki dimensi momen inersia, jarak terhadap garis netral luas penampang yang berbeda untuk keperluan perencanaan dan pemilihan dimensi yang tepat untuk struktur jalan rel sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 7 sesuai dengan dengan KM No. 60 tahun 2012.

Tabel 7 Dimensi profil R 42, R 50, R 54 dan R 60

| Besaran Geometrik Rel                           | Tipe Rel |        |        |        |
|---|----------|--------|--------|--------|
|   | R 42     | R 50   | R 54   | R 60   |
| H (mm)  | 138,00   | 153,00 | 159,00 | 172,00 |
| B (mm)  | 110,00   | 127,00 | 140,00 | 150,00 |
| C (mm)  | 68,50    | 65,00  | 70,00  | 74,30  |
| D (mm)  | 13,50    | 15,00  | 16,00  | 16,50  |
| E (mm)  | 40,50    | 49,00  | 49,40  | 51,00  |
| F (mm)  | 23,50    | 30,00  | 30,20  | 31,50  |
| G (mm)  | 72,00    | 76,00  | 74,79  | 80,95  |
| R (mm)  | 320,00   | 500,00 | 508,00 | 120,00 |
| A (cm <sup>2</sup> )                            | 54,26    | 64,20  | 69,34  | 76,86  |
| W (kg/m)  | 42,59    | 50,40  | 54,43  | 60,43  |
| I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )               | 1369     | 1960   | 2346   | 3055   |
| Y <sub>b</sub> (mm)                             | 68,50    | 71,60  | 76,20  | 80,95  |
| A = luas penampang                              |          |        |        |        |
| W = berat rel per meter                         |          |        |        |        |
| I <sub>x</sub> = momen inersia terhadap sumbu-x |          |        |        |        |



Gambar 16 Dimensi profil rel  
 Sumber: PM No. 60 Tahun 2012

Penentuan dimensi rel didasarkan kepada tegangan lentur yang terjadi pada dasar rel akibat beban dinamis roda kendaraan ( $S_{base}$ ). Tegangan ini tidak boleh melebihi tegangan ijin lentur baja ( $S_i$ ). Jika suatu dimensi rel dengan beban roda tertentu menghasilkan  $S_{base} < S_i$ , maka dimensi ini dianggap cukup. Tegangan ijin tergantung pada mutu rel yang digunakan. Untuk perencanaan dimensi rel yang akan digunakan, peraturan yang berlaku di Indonesia menggunakan dasar kelas jalan untuk menentukan tegangan ijinnya. Tabel 8 menjelaskan tegangan ijin setiap kelas jalan dan tegangan dasar rel untuk perhitungan dimensi rel.

Dalam perhitungan perencanaan dimensi rel digunakan konsep "*beam on elastic foundation*" sebagaimana telah dijelaskan dalam bab sebelumnya. Pada dasarnya, pembebanan untuk roda tunggal dengan jarak roda yang jauh saat ini hampir tidak ada. Sebagian besar roda digabung dalam satu *bogie* yang memiliki 2 atau 3 roda. Oleh karena itu, akan terjadi reduksi momen maksimum yang terjadi pada titik di bawah beban roda akibat superposisi dan konfigurasi roda.

Tabel 8 Tegangan ijin profil rel berdasarkan kelas jalan di Indonesia

| Kelas Jalan | Daya angkut lintas (juta ton/tahun) | Kecepatan rencana (km/jam) | Beban gandar maksimum (ton) | Beban roda dinamis (kg)* | Tipe rel | Tegangan dasar rel (kg/cm <sup>2</sup> ) | Tegangan ijin (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------|--|-------------------------------------|
| I           | > 20                                | 150                        | 18                          | 19940                    | R60      | 1042,30                                  | 1325                                |
|             |                                     |                            |                             |                          | R54      | 1176,80                                  |                                     |
| II          | 10 – 20                             | 140                        |                             | 16241                    | R54      | 1128,20                                  | 1325                                |
|             |                                     |                            |                             |                          | R50      | 1231,80                                  |                                     |
| III         | 5 – 10                              | 125                        |                             | 15542                    | R54      | 1097,70                                  | 1663                                |
|             |                                     |                            |                             |                          | R50      | 1178,80                                  |                                     |
|             |                                     |                            |                             |                          | R42      | 1476,30                                  |                                     |
| IV          | 2,5 – 5                             | 115                        |                             | 14843                    | R54      | 1031,00                                  | 1843                                |
|             |                                     |                            |                             |                          | R50      | 1125,80                                  |                                     |
|             |                                     |                            |                             |                          | R42      | 1410,00                                  |                                     |
| V           | > 2,5                               | 100                        |                             | 14144                    | R42      | 1343,50                                  | 2000                                |

## 2.9. Pembebanan Struktur Jalan Rel

### 1. Konsep Perancangan Jalan Rel

Struktur jalan rel merupakan sistem pendistribusian beban dari beban roda kereta api yang disalurkan melalui rel kepada bantalan dan selanjutnya tanah dasar melalui lapisan balas. Besaran tegangan pada tanah dasar sangat tergantung dari tebal lapisan balas. Secara praktisnya, perancangan jalan rel dipengaruhi oleh kemampuan komponen jalan rel untuk memenuhi beberapa kriteria perancangan. Komponen struktur jalan rel yang didisain harus didasarkan kemampuan elemennya dalam menerima dan mendistribusikan beban kereta api, diantaranya harus memenuhi (tidak boleh melebihi):

- a. Tegangan lentur pada rel yang diijinkan
- b. Tegangan lentur pada bantalan yang diijinkan
- c. Tekanan balas yang diijinkan, dan
- d. Tekanan tanah dasar yang diijinkan.

Dalam perancangan jalan rel, kriteria di atas menjadi indikator utama dalam analisis pembebanan karena digunakan untuk mengurangi risiko kerusakan komponen jalan rel yang disebabkan respon jalan rel terhadap beban yang terjadi. Hubungan antara respon jalan rel terhadap risiko jenis-jenis kerusakan komponen struktur jalan rel diakibatkan oleh beban yang berlebihan pada jalan rel dijelaskan dalam Tabel 9.

Tabel 9 Hubungan antara respon jalan rel terhadap kerusakan jalan rel

| Respon Jalan Rel                                 | Kerusakan jalan Rel                             |
|--|---|
| Tegangan kontak pada kepala rel                  | Pengelupasan dan retak pada material rel        |
| Gaya geser rel dan tegangan geser pada badan rel | Kegagalan akibat retak pada badan dan sambungan |
| Momen lentur rel                                 | Tekuk (patah) dan retak pada rel                |
| Beban bantalan                                   | Kerusakan balas dan bantalan                    |
| Perubahan dan penurunan struktur jalan           | Kerusakan balas dan tanah dasar                 |

Untuk memulai perancangan struktur jalan rel dan menghitung pola distribusi pembebanannya, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan kesesuaian dan kemampuan komponen jalan rel dalam menerima beban kendaraan adalah dengan menganalisis beban kendaraan dan reaksi gayanya. Sebagaimana telah ditunjukkan dalam Gambar 4.1; bahwa *model beam on elastic foundation* (BoEF) digunakan untuk menghitung tegangan lentur rel yang disebabkan oleh pola pembebanan kereta api.

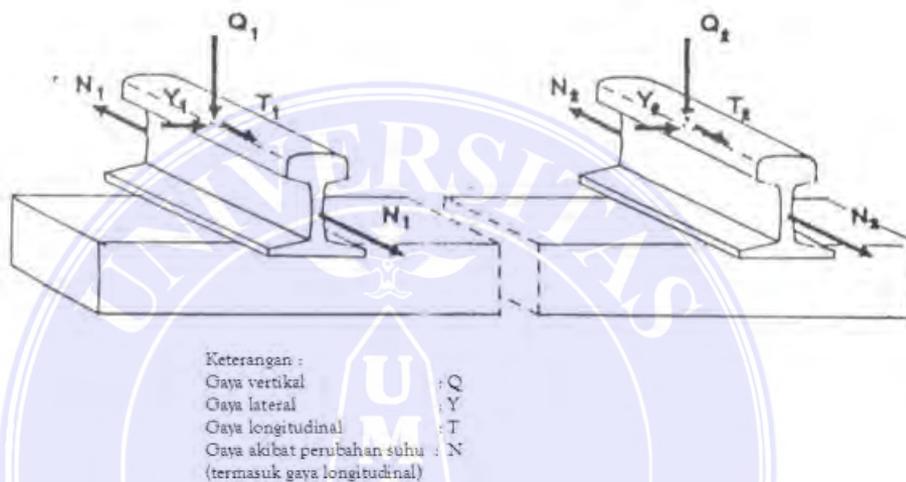
Tegangan lentur rel biasanya ditentukan pada *centreline* (titik tengah) bagian dasar (*base*) rel, meskipun demikian, tegangan yang juga terjadi pada bagian bawah kepala rel (*rail head*) merupakan titik kritis ketika kereta api menyalurkan gaya yang tinggi dari tepi roda (*wheel flange*) kepada kepala rel

ketika bergerak pada geometrik tikungan (lengkung). Parameter tegangan akibat perubahan suhu (*temperature*) yang terjadi pada rel juga perlu dipertimbangkan. Kombinasi tegangan antara tegangan akibat beban dan suhu seterusnya dibandingkan dengan tegangan ijin lentur rel dengan mempertimbangkan faktor kekuatan bahan dan kelelahan bahan (*fatigue*). Guna mendapatkan kriteria tegangan lentur yang sesuai, rel perlu dievaluasi terhadap nilai defleksi vertikal, apakah terdapat defleksi yang berlebih yang disebabkan oleh gaya vertikal yang dibebankan dari kereta api. Dalam hal ini, analisis defleksi dan menentukan bagaimana pola distribusinya baik itu untuk beban tunggal maupun beban kombinasi dari beberapa roda serta konfigurasi *bogie* kereta api, menjadi bagian yang penting untuk dilakukan. Selanjutnya, rel dianalisis bagi menentukan kemampuannya untuk menerima tegangan kontak (*contact stress*) pada titik interaksi antara roda-rel.

Rel sebagai komponen jalan yang utama dalam pengoperasian kereta api akan sangat dibatasi oleh kemampuannya dalam menerima beban gandar yang tinggi. Oleh itu, mengikuti kemajuan dan perkembangan perkeretaapian dimana terdapat tuntutan untuk transportasi kereta api yang cepat dan memiliki kapasitas yang besar (yang berimplikasi menyebabkan beban gandar yang tinggi), maka tegangan maksimum baja rel menjadi parameter penting untuk menentukan umur manfaat dari jalan rel itu sendiri. Panel jalan rel seterusnya juga menjadi penting untuk dianalisis untuk mengetahui stabilitas jalan rel terhadap bahaya tekuk dan desakan lateral. Akhirnya, perkiraan umur manfaat permukaan rel (kondisi fisik pada *running surface*) dapat dihitung secara empirik selama pengoperasian kereta api.

## 2. Beban Dan Gaya Pada Rel

Pembebanan dan pergerakan kereta api di atas struktur jalan rel menimbulkan berbagai gaya pada rel diantaranya gaya vertikal, gaya transversal (lateral) dan gaya longitudinal. Gambar 17 menunjukkan ilustrasi letak dan arah dari gaya-gaya tersebut pada penampang struktur jalan rel.



Gambar 17 Gaya yang bekerja pada rel (Rosyidi, 2015)

Perhitungan beban dan gaya ini perlu dipahami secara benar untuk dapat merencanakan dimensi, tipe dan disain rel, bantalan dan seterusnya pola distribusi dari komponen super-strukturnya digunakan untuk merencanakan tebal lapisan balas, subbalas dan yang akhirnya dapat menentukan nilai tekanan pada tanah dasar.

### a. Gaya Vertikal

Gaya ini adalah beban yang paling dominan dalam struktur jalan rel. Gaya vertikal menyebabkan terjadinya defleksi vertikal yang merupakan indikator utama dalam penentuan kualitas, kekuatan dan umur

jalan rel. Secara umum, besarnya gaya vertikal dipengaruhi oleh pembebanan oleh lokomotif, kereta, maupun gerbong.

1) Gaya Lokomotif (*locomotive*),

Jenis lokomotif akan menentukan jumlah *bogie* dan gandar yang akan mempengaruhi berat beban gandar di atas rel yang dihasilkannya.

2) Gaya Kereta (*car, coach*),

Karakteristik beban kereta dipengaruhi oleh jumlah *bogie* dan gandar yang digunakan. Selain itu, faktor kenyamanan penumpang dan kecepatan (faktor dinamis) mempengaruhi beban yang dihasilkan.

3) Gaya Gerbong (*wagon*),

Prinsip pembebanan pada gerbong adalah sama dengan lokomotif dan kereta. Meskipun demikian, kapasitas muatan (beban) gerbong sebagai angkutan barang perlu diperhatikan dalam perencanaan beban.

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. Beban dinamik kereta api menyebabkan peningkatan nilai tegangan rel di atas kondisi statik, yang disebabkan oleh faktor-faktor berikut ini:

- 1) Gaya lentur lateral pada rel
- 2) Beban vertikal eksentrik
- 3) Perpindahan beban roda kereta api disebabkan oleh pergerakan kereta api
- 4) Desakan (beban) vertikal roda pada rel akibat kecepatan kendaraan
- 5) Ketidakteraturan bahan pada jalan rel termasuk roda kendaraan dan profil rel.

Oleh karena itu, diperlukan transformasi gaya statik ke gaya dinamik untuk merencanakan beban yang lebih realistis. Persamaan umum untuk menentukan gaya vertikal pada jalan rel sebagai fungsi dari beban statik roda kereta api dapat dinyatakan sebagai:

$$P_d = I_d \times P_s$$

dimana,

$P_d$  = beban roda dinamik rencana (kN/kg),

$P_s$  = beban roda statik dari kendaraan/kereta api (kN/kg),

$I_d$  = faktor atau indeks beban dinamik dimensionless (nilainya > 1).

Nilai faktor dinamik atau indeks beban dinamik diperoleh dari percobaan empirik dan biasanya melibatkan parameter kecepatan kendaraan atau kereta api. Nilai indeks beban dinamik juga ditentukan dari kualitas instrumen dan komponen jalan rel yang digunakan dan asumsi-asumsi yang digunakan dalam perencanaan struktur jalan rel. Awalnya indeks dinamik ditentukan sebagai fungsi pangkat dua dari kecepatan kereta api karena didasarkan teori kinematic. Beberapa persamaan yang dimunculkan kemudian di Eropa berpedoman dari teori ini. Namun, fungsi dinamik yang dinyatakan sebagai fungsi pangkat dua dari kecepatan ini

mengabaikan sifat elastisitas vertikal jalan rel dimana sifat ini juga berkontribusi untuk meredam tegangan yang terjadi akibat beban. Clarke (1957) menyatakan bahwa pada pembebanan gandar vertikal, nilai tegangan lentur pada rel bervariasi terhadap kecepatannya dengan diberikan nilai pangkat 1 hingga 1,2. Berikut ini beberapa nilai indeks beban dinamik yang digunakan dalam perhitungan pembebanan kereta api.

**Persamaan TALBOT:** Persamaan Talbot (1918) memberikan transformasi gaya berupa pengkali faktor dinamis sebagai berikut :

$$I_d = 1 + 0,01 \left( \frac{V_R}{1,609} - 5 \right)$$

dimana,

$I_d$  = faktor/indeks beban dinamis (dimensionless/tidak berdimensi)

$V$  = kecepatan rencana (dalam km/jam)

Persamaan Talbot ini yang digunakan sebagai standar perencanaan struktur jalan kereta api di Indonesia (Peraturan Dinas No.10 tahun 1986, dan Peraturan Menteri Perhubungan No.60 tahun 2012).

#### b. Gaya Transversal (Lateral)

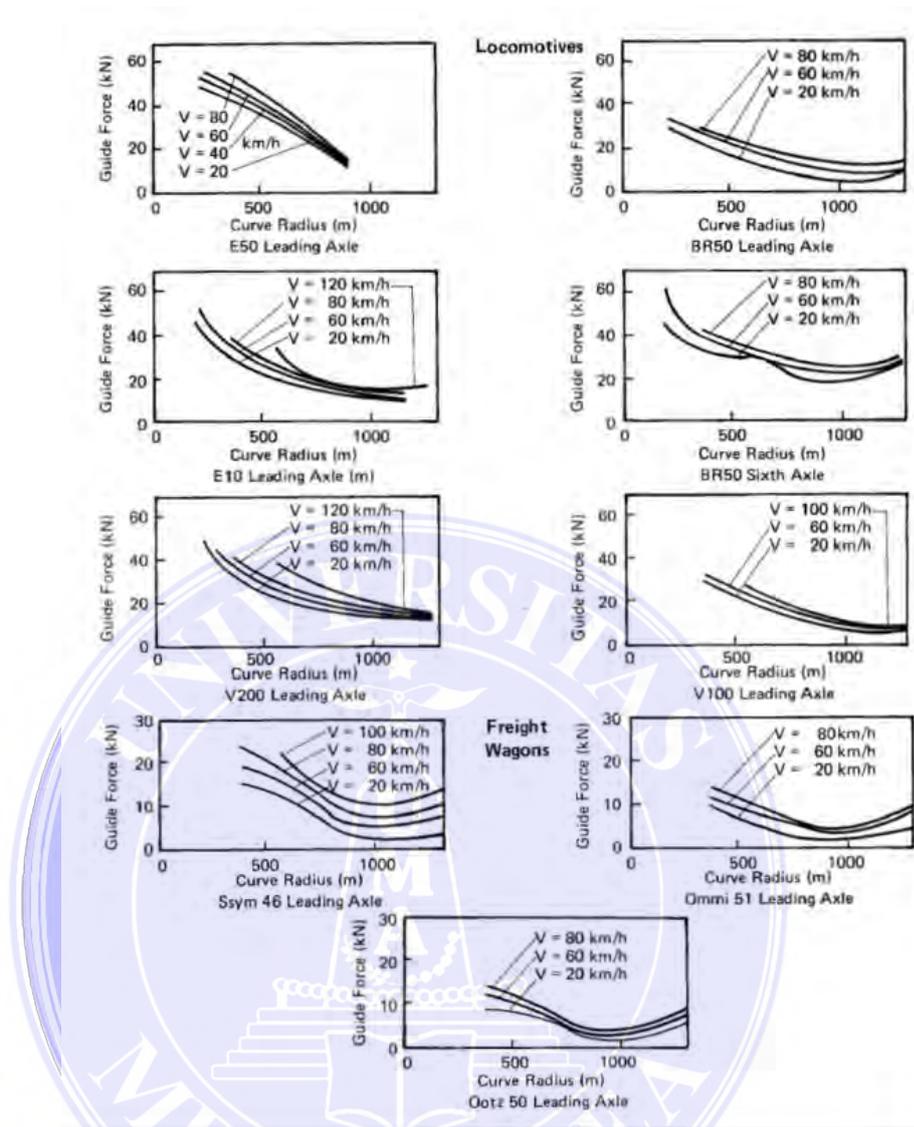
Besaran gaya lateral yang diakibatkan oleh beban kendaraan kereta api ke atas kepala rel dipengaruhi oleh beberapa penyebab, yaitu:

- 1) radius tikungan jalan rel, gaya ini lateral ini terjadi akibat adanya gaya sentrifugal (ketika rangkaian kereta api berada di lengkung horizontal),
- 2) kecepatan kendaraan (rangkaiannya) kereta api,
- 3) panjang dasar roda kendaraan dan konfigurasi *bogie*,

- 4) gerak rangkaian kendaraan yang menyebabkan gerakan ular rangkaian (*snake motion*),
- 5) ketidakrataan geometrik jalan rel yang bekerja pada titik yang sama dengan gaya vertikal.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, termasuk hasil studi Birmann (1966), dari kelima faktor di atas, faktor radius (jari-jari) tikungan memberikan kontribusi yang lebih besar dan berpengaruh terhadap besaran gaya lateral dibandingkan dengan kecepatan kendaraan. Gambar 18 menunjukkan beberapa grafik yang menjelaskan pengujian empirik kecepatan, konfigurasi roda (bogie), radius tikungan terhadap gaya lateral yang dihasilkan.





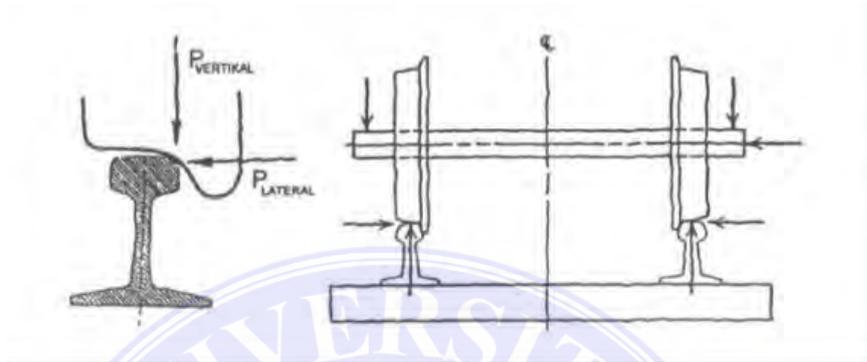
Gambar 18 Gaya lateral sebagai fungsi dari radius tikungan pada beberapa kecepatan rata-rata lokomotif DB dan gerbong (Birmann, 1966)

Gaya lateral dapat menyebabkan tercabutnya penambat akibat gaya angkat (*uplift force*), pergeseran pelat andas dan memungkinkan terjadinya *derailment* (anjlog atau keluarnya roda kereta dari rel). Syarat pembatasan besarnya gaya lateral supaya tidak terjadi anjlog adalah (Peraturan Dinas No.10 tahun1986):

$$\frac{P_{\text{lateral}}}{P_{\text{vertikal}}} < 1,2$$

$$\frac{P_{\text{lateral}}}{P_{\text{vertikal}}} < 0,75, \text{ untuk rel dan roda yang aus (4.20)}$$

Secara skematis gaya lateral dapat diberikan dalam Gambar 19 di bawah ini.



Gambar 19 Skematik gaya lateral pada komponen rel (Rosyidi, 2015)

ORE (1965) menggunakan hasil Birmann (1966) menjalankan riset untuk mengukur besaran gaya lateral dengan variasi kecepatan hingga 200 km/jam. Selanjutnya, menghasilkan persamaan untuk menentukan besaran gaya lateral yang dinyatakan sebagai:

$$H = 35 + \frac{7400}{R}$$

dengan,

H = gaya lateral (kN),

R = radius lengkung (m).

Dari Persamaan 4.21 di atas dapat disimpulkan bahwa gaya lateral yang disebabkan oleh hubungan antara beban dari roda kendaraan ke kepala rel, dipengaruhi oleh jari-jari (radius) tikungan jalan rel.

### c. Gaya Longitudinal

Gaya longitudinal dapat diakibatkan oleh perubahan suhu pada rel (*thermal stress*) Gaya ini sangat penting di dalam analisis gaya terutama

untuk konstruksi KA yang menggunakan rel panjang (*long welded rails*). Gaya longitudinal juga merupakan gaya adhesi (akibat gesekan roda dan kepala rel) dan gaya akibat pengereman roda terhadap rel.

d. Lokasi Tegangan Maksimum pada Rel

Lokasi tegangan maksimum yang terjadi pada rel ditunjukkan dalam Gambar 20 di bawah ini. Tegangan lentur yang terjadi pada pusat dasar rel (titik A) tidak dipengaruhi oleh besaran gaya dan eksentrisitas dari roda kendaraan. Nilai tegangan yang terjadi pada wilayah ini harus lebih kecil dari tegangan ijin supaya dapat menghindarkan rel dari terjadinya retak struktur pada dasar rel.



Gambar 20 Komponen beban/gaya pada rel dan posisi tegangan maksimum yang membebani rel (Doyle, 1980)

Adapun tegangan lentur pada bagian bawah kepala rel (titik B), digunakan untuk menentukan dan mengukur deformasi plastik yang terjadi pada rel akibat adanya gaya lateral. Nilai tertinggi tegangan geser rel dihasilkan pada lokasi di sekitar titik pertemuan antara rel dan roda

kendaraan (titik C) sebagai sebuah resultan dari repitasi beban kendaraan (beban berulang). Ketika tegangan telah melampaui titik batas kekuatan (lelah) bahan, maka keretakan pada kepala rel akan terjadi. Kondisi ini dikenal sebagai *shelling* kepala rel (*shelling of the rail head*). Untuk menentukan tegangan lentur rel pada pusat dasar rel (*rail base*) dan menghitung defleksi pada rel akibat beban kendaraan, diperlukan analisis reaksi struktur untuk mempermudah pemahaman mengenai distribusi beban menggunakan teori BoEF yang akan dijelaskan pada bagian di bawah ini.

### 3. Pola Distribusi Gaya Pada Struktur Jalan Rel

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

- a. 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 berakibat terjadinya tegangan kontak antara kepala rel dan roda, oleh sebab itu, sangat pemilihan mutu baja rel menjadi penting.
- b. Beban ini selanjutnya didistribusikan dari dasar rel ke bantalan dengan perantara pelat andas ataupun alas karet.
- c. 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.

Prinsip pola distribusi gaya pada struktur rel bertujuan untuk menghasilkan reduksi tekanan kontak yang terjadi diantara rel dan roda (100.000 psi atau sekitar 7000 kg/cm<sup>2</sup>) menjadi tekanan yang sangat kecil pada tanah dasar (kurang dari 20 psi atau kurang dari 2 kg/cm<sup>2</sup>).



## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Metode Penelitian**

Agar dalam penyusunan skripsi dapat berhasil dengan baik diperlukan suatu metode penelitian yang sesuai dengan permasalahan. Metode penelitian dapat dipergunakan sebagai sarana untuk memperoleh data-data yang lengkap dan dapat dipercaya kebenarannya. Analisis yang baik membutuhkan data atau informasi yang lengkap dan akurat, dilengkapi dengan teori atau konsep dasar yang terkait. Adapun metode penelitian yang digunakan antara lain:

#### **1. Metode Survei**

Metode survei merupakan pengamatan secara langsung melihat keadaan yang sebenarnya di tempat penelitian. Untuk memahami situasi yang ada dilapangan, hal ini perlu dilakukan, agar tidak terjadi kesalahan dalam penilaian dan perancangan.

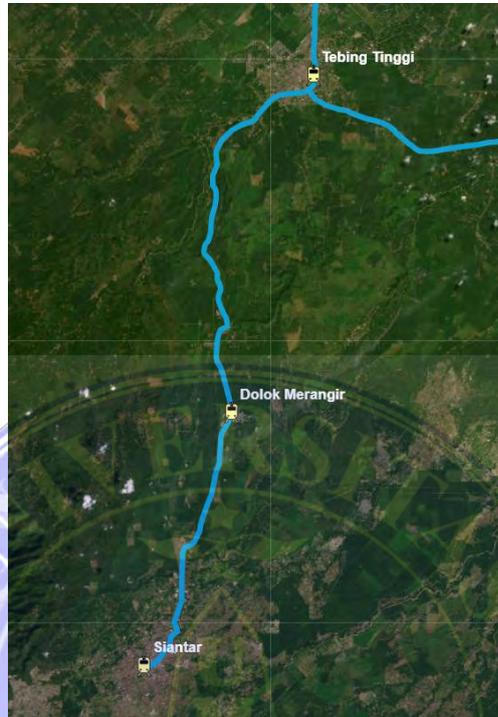
#### **2. Metode Studi Literatur**

Metode studi literatur diperlukan sebagai referensi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini, yang diperoleh dari buku-buku, pendapat dan teori-teori yang berkaitan dengan penelitian.

### **3.2 Lokasi Penelitian**

Studi kasus dalam tugas akhir dilakukan pada proyek Peningkatan Jalur KA Penggantian Bantalan Beton dan Rel Tipe R.25/33/42 menjadi Bantalan Beton dan Rel Tipe R.54 Km. 0+000 s.d Km. 49+000 Antara Tebing Tinggi – Siantar. Adapun

yang menjadi lokasi tinjauan penelitian adalah pada Km. 2+450 s.d. Km. 6+500 lintas Tebing Tinggi-Siantar.



Gambar 21 Jalur Kereta Api Lintas Tebing Tinggi-Siantar

### 3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Dalam skripsi ini ada dua jenis data yang dikumpulkan yaitu:

1. Data primer, yaitu data yang diambil langsung di lapangan yang meliputi, data kondisi existing, data kondisi geometri jalan, dan kelengkapan struktur jalan rel. Semua data diambil dengan cara pengamatan, pengukuran, penghitungan langsung di lapangan kemudian dicatat dengan baik.
2. Data Sekunder yaitu data yang didapat dari pihak kedua atau dengan instansi terkait yang berhubungan langsung dengan proyek tempat meneliti. Adapun

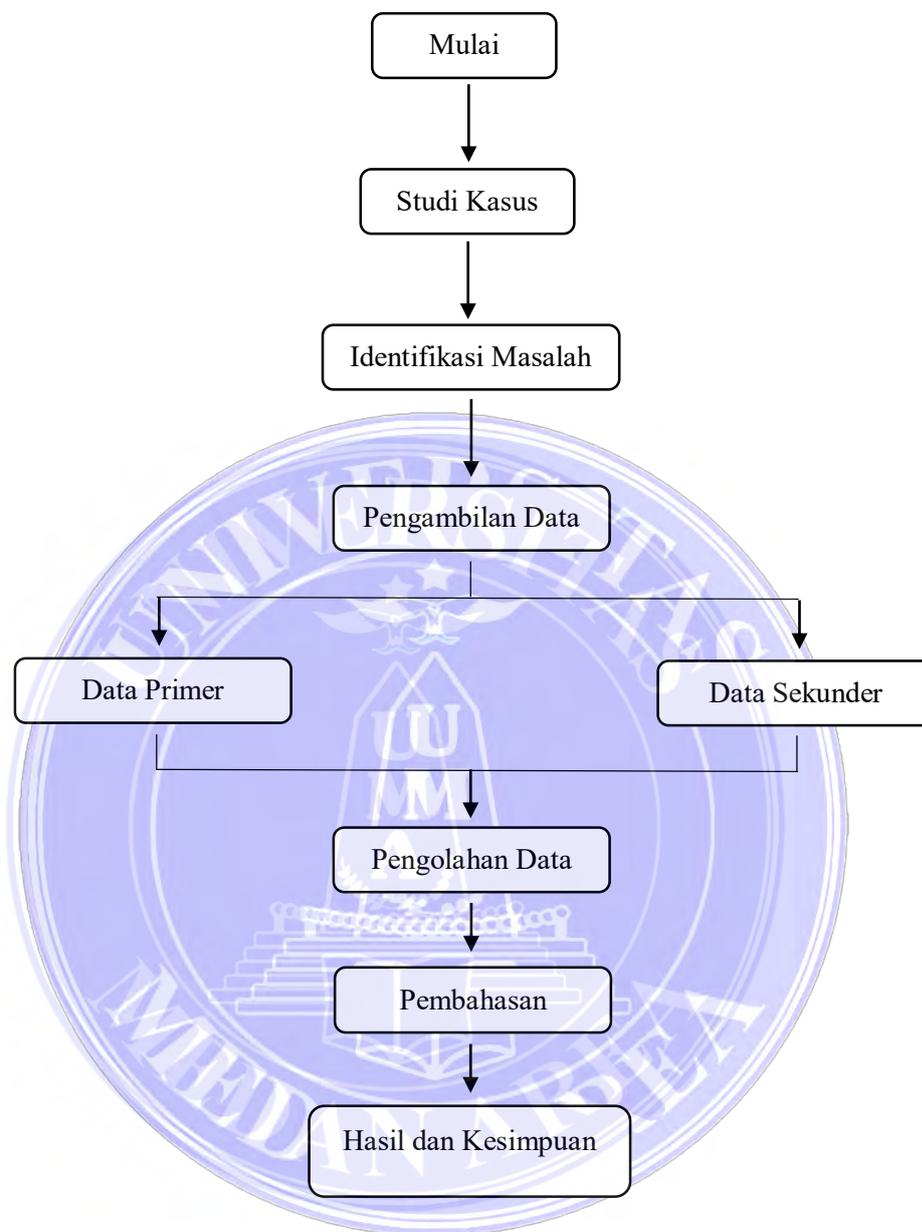
sumber data sekunder adalah Konsultan perencana, Kontraktor pelaksana, dan kepala desa atau luruh setempat.

### 3.4 Pengolahan Data

Teknik pengolahan data yang dilakukan adalah dengan merencanakan kondisi tanah pada trase baru serta membandingkan kekurangan, kelebihan, serta alasan mengapa rel sebelumnya yaitu rel tipe R.33 diganti dengan rel tipe R.54. Perbandingan tersebut dilakukan dengan membandingkan data primer yang didapat pada saat penelitian berlangsung dilapangan dari hasil pertanyaan yang diajukan kepada pengawas poyek dengan data sekunder berupa data dokumen yang diperoleh dari PT. Dardela.



### 3.5 Skema Penelitian



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

### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka yang menjadi kesimpulan pada skripsi ini adalah tegangan izin merupakan aturan yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor: PM. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Dari hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa rel tipe R.33 tidak dapat digunakan sebagai jalan rel untuk kelas jalan I, II dan III dikarenakan besaran tegangan rel dan tegangan pada dasar rel yang didapat tidak memenuhi persyaratan atau melebihi tegangan izin yang telah ditetapkan. Sementara jika dibandingkan dengan rel tipe R.54, besaran tegangan yang dihasilkan memenuhi persyaratan atau kurang dari tegangan izin yang ditetapkan. Maka dari itu, untuk mendukung kinerja dari PT. KAI Persero sendiri khususnya pada kecepatan perjalanan Kereta Api, hal ini tentunya rel tipe R.33 sudah tidak layak digunakan di jalan rel Indonesia.

Selain itu, pengaruh dari perbedaan dimensi rel R33 dengan R54 adalah pada kekuatan perhitungan pembebanan, sehingga mempengaruhi kinerja kereta api dalam hal kecepatan yang diizinkan. Semakin besar tipe rel, maka semakin besar pula dimensi dari batang rel tersebut. Hal ini menyebabkan meningkatnya kapasitas kecepatan untuk kereta api sesuai dengan ijin yang ada.

## 5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hal-hal yang disarankan adalah sebagai berikut:

1. Dalam analisis tugas akhir ini hanya membandingkan perbedaan tipe rel R33 dengan R54. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan membahas konstruksi bagian bawah rel, umur rencana rel, spesifik pada wesel dan lainnya mengingat pentingnya pembahasan tentang konstruksi perlintasan kereta api.
2. Perhitungan dilakukan hanya berdasarkan pada literatur Peraturan Dinas No. 10 tahun 1986 dan Peraturan Menteri Perhubungan No.60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api serta beberapa sumber lainnya. Untuk penelitian selanjutnya mungkin bisa menggunakan referensi dari Indonesia, luar negeri, dan lainnya.
3. Jika terdapat hasil analisis yang tidak sesuai diharapkan agar dapat didiskusikan 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.
- 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.
- P. Rosyidi, Sri Atmaja. 2015. Rekayasa Jalan Kereta Api. Yogyakarta: Lembaga Penelitian, Publikasi & Pengabdian Masyarakat (LP3M) dan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- PT. Kereta Api Indonesia (Persero). (1986). *Peraturan Dinas Nomor 10 Tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel*. 1–62.
- 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.
- 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.
- Wuryanto, E. W. (2023). Analisis Penggunaan Rel Pada Proyek Peningkatan Jalur Kereta Api Lintas Kisaran - Rantau Prapat Segmen Kisaran – Mambang Muda (Studi Kasus)

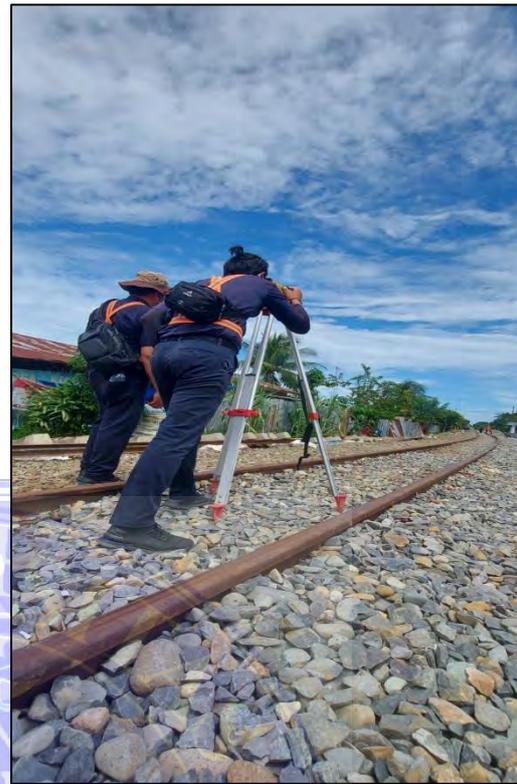
## LAMPIRAN

Lampiran 1: Eksisting lokasi rencana peningkatan jalan rel tipe R.54



Lampiran 2: Pengukuran untuk data perencanaan





Lampiran 3: Pemasangan lapisan geotextile



### Lampiran 4: Pematatan tanah dasar



### Lampiran 5: Pengerjaan yang diawasi oleh PT. KAI Persero, Kontraktor dan Konsultan, serta pihak terkait

