

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN JALUR KERETA API DENGAN MENGUNAKAN WESEL TIPE R.54 PADA LINTAS KISARAN – RANTAU PRAPAT (Studi Kasus)

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

Disusun Oleh:

**RIKI RAMADHANA ZUHA
2107210204P**



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

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING


Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Riki Ramadhana Zuha
NPM : 2107210204P
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perencanaan Jalur Kereta Api Dengan Menggunakan Wesel
Tipe R.54 Pada Lintas Kisaran – Rantau Prapat
Bidang ilmu : Transportasi

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 16 Maret 2023

Dosen Pembimbing



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

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

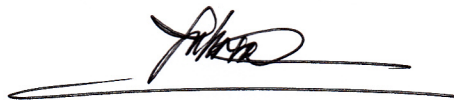
Nama : Riki Ramadhana Zuha
NPM : 2107210204P
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Perencanaan Jalur Kereta Api Dengan Menggunakan Wesel
Tipe R.54 Pada Lintas Kisaran – Rantau Prapat
Bidang ilmu : Transportasi

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:

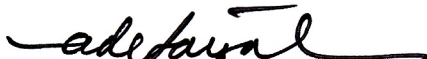
Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Penguji

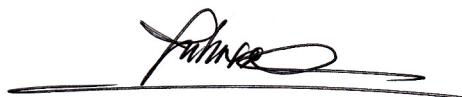


Ade Faisal, S.T., M.Sc., PhD



Rizki Efrida, S.T, M.T

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Riki Ramadhana Zuha
Tempat/ Tanggal Lahir : Medan/ 16 Januari 1997
NPM : 2107210204P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Perencanaan Jalur Kereta Api Dengan Menggunakan Wesel Tipe R.54 Pada Lintas Kisaran – Rantau Prapat”,

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 orisinil dan otentik.

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

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

Medan, 16 Maret 2023



Saya yang menyatakan,

Riki Ramadhana Zuha

ABSTRAK

PERENCANAAN JALUR KERETA API DENGAN MENGGUNAKAN WESEL TIPE R.54 PADA LINTAS KISARAN – RANTAU PRAPAT

Riki Ramadhana Zuha

2107210204P

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

Wesel merupakan penghubung antara dua jalan rel dan berfungsi untuk mengalihkan/ mengantarkan kereta api dari suatu sepur ke sepur yang lain. Wesel terdiri dari sepasang rel yang ujungnya diruncingkan sehingga dapat melancarkan perpindahan kereta api dari jalur yang satu ke jalur yang lain dengan menggeser bagian rel yang runcing. Pada saat ini di lintas Kisaran – Rantau Prapat kondisi existing wesel di emplasemen masih menggunakan wesel dengan tipe R42 dengan sudut 1:10, maka harus direncanakan untuk mengganti wesel tersebut menggunakan wesel dengan tipe R54 dengan sudut 1:10 untuk meningkatkan mutu pelayanan transportasi kereta api. Setelah melakukan analisa data dan perhitungan terhadap perencanaan wesel tipe R54 maka diketahui bahwa rel tipe R54 mampu dan aman untuk digunakan/ dioperasikan karena mampu menumpu beban operasional kereta api yang terberat yaitu lokomotif CC205 seberat 108 ton, dengan beban gandar maksimum 18 ton. Untuk perencanaan geometri wesel secara keseluruhan juga aman digunakan, karena salah satu persyaratan wesel yaitu jarak antar lidah ke rel lantak sepanjang 4,36 m harus lebih pendek dari panjang lidah itu sendiri yaitu sebesar 11,176 m. Dari panjang jarum yang dihitung sepanjang 2,089 m di dapat jari-jari lengkung (R) yang dapat digunakan adalah 157 m s/d 195 m dengan kecepatan max 35 km/jam untuk sepur belok. Pelaksanaan penggantian wesel pada saat pekerjaan persiapan dilapangan, komponen dan material wesel harus dipasang sesuai dengan nomor desain.

Kata kunci: rel, perancangan, penggantian, wesel biasa, geometri.

ABSTRACT

RAILWAY PLANNING USING WESEL TYPE R.54 AT CROSS KISARAN – RANTAU PRAPAT

Riki Ramadhana Zuha

2107210204P

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

Wesel is a link between two railroads and functions to divert/deliver trains from one rail to another. Wesel consists of a pair of rails with tapered ends so that they can facilitate the transfer of trains from one track to another by shifting the sharp rails. At this time in the Kisaran - Rantau Prapat cross, the existing condition of money orders at the emplacement still uses a money order with type R42 with an angle of 1:10, so it must be planned to replace the money order using type R54 with an angle of 1:10 to improve the quality of rail transportation services. After analyzing the data and calculating the R54 type point design, it is known that the R54 type rail is capable and safe to use/operate because it can support the heaviest train operational load, namely the CC205 locomotive weighing 108 tons, with a maximum axle load of 18 tons. For planning the geometry of the point assembly as a whole it is also safe to use because one of the requirements of the point is that the distance between the tongue and the 4.36 m rail must be shorter than the length of the tongue itself, which is 11.176 m. From the calculated needle length of 2.089 m, the curvilinear radius (R) that can be used is 157 m to 195 m with a max speed of 35 km/hour for turns. Implementation of replacement of drafts during field preparation work, the components and materials of the drafts must be installed following the design number.

Keywords: rail, design, replacement, common wesel, geometry.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. 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 “Perencanaan Jalur Kereta Api Dengan Menggunakan Wesel Tipe R.54 Pada Lintas Kisaran – Rantau Prapat” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

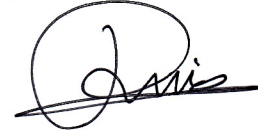
Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada :

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 banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Rizki Efrida, S.T., 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.

7. Kedua orang tua yang telah mendukung serta memberikan kasih sayang dan semangat penuh cinta yang tidak pernah ternilai harganya, dan telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
8. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil beserta seluruh mahasiswa/I Teknik Sipil stambuk 2021 yang tidak dapat namanya disebut satu persatu.

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

Medan, 16 Maret 2023



Riki Ramadhana Zuha

DAFTAR ISI

COVER	
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Definisi Kereta Api	5
2.2. Jalan Rel	6
2.2.1. Struktur Jalan Rel Kereta Api	6
2.2.2. Perencanaan Konstruksi Jalur Kereta Api	11
2.2.3. Pengelompokkan dan Kelas Jalan Rel	11
2.3. Pembebanan Struktur Jalur Rel	16
2.3.1. Dimensi Rel	20
2.3.2. Fungsi dan Azasi Jalur Kereta Api	24
2.4. Wesel	26
2.4.1. Pengertian Wesel	27
2.4.2. Perancangan Wesel	30

2.4.3.	Komponen Wesel	33
2.4.4.	Kecepatan Izin dan Sudut Simpang Wesel	35
2.5.	Sambungan Rel	36
2.5.1.	Plat Sambung Rel	37
2.5.2.	Suhu Pemasangan Rel	38
2.6.	Stasiun	38
2.7.	Emplasemen	40
2.8.	Persinyalan Kereta Api	41
2.9.	Penelitian Terdahulu	42
2.9.1.	Perencanaan Jalur Lintasan Kereta Api Dengan Wesel Tipe R54 Pada Emplasemen Stasiun Antara Pasuruan – Jember (KM 62+976 – KM 197+285)	42
2.9.2.	Perencanaan Jalur Lintasan Kereta Api Dengan Wesel Tipe R54 Pada Stasiun Prupuk	43
2.9.3.	Pengaruh Karakteristik Penumpang Terhadap Kapasitas Angkut Kereta Api Jurusan Medan – Rantau Prapat	44
BAB 3 METODE PENELITIAN		45
3.1.	Lokasi Penelitian	45
3.2.	Informasi Proyek	46
3.3.	Diagram Alir Penelitian	47
3.4.	Parameter Desain	48
3.5.	Perancangan Wesel	49
BAB 4 ANALISA DATA		61
4.1.	Pembebanan Struktur Jalan Rel	61
4.1.1.	Perhitungan Pembebanan Berat Gandar Kereta Api	63
4.2.	Perencanaan dan Penggantian Wesel	64
4.2.1.	Perencanaan Wesel	64
4.2.2.	Penggantian Wesel	68
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		74
5.1.	Kesimpulan	74
5.2.	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN		78
LEMBAR ASISTENSI		81
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Struktur Jalan Rel.	7
Gambar 2.2. Ruang Bebas Jalan Rel Single Track.	7
Gambar 2.3. Penampang Melintang Jalan Rel.	8
Gambar 2.4. Gaya yang bekerja pada Rel.	16
Gambar 2.5. Gaya Lateral/Transversal pada Jalur Kereta Api.	18
Gambar 2.6. Distribusi Beban pada Jalur Kereta Api.	19
Gambar 2.7. Lendutan pada Rel.	20
Gambar 2.8. Dimensi Penampang Rel.	21
Gambar 2.9. Ukuran Penampang Rel R.54.	21
Gambar 2.10. Lebar Jalan Rel 1067 mm.	22
Gambar 2.11. Penyebaran Beban Kereta Api pada Konstruksi Bawah.	26
Gambar 2.12. Struktur Pembebanan pada Jalur Kereta Api.	26
Gambar 2.13. Wesel biasa.	28
Gambar 2.14. Wesel dalam lengkung.	28
Gambar 2.15. Wesel tiga jalan.	29
Gambar 2.16. Wesel Inggris.	29
Gambar 2.17. Panjang jarum.	30
Gambar 2.18. Panjang lidah berputar.	31
Gambar 2.19. Panjang lidah berpegas.	31
Gambar 2.20. Panjang jari-jari lengkung luar.	32
Gambar 2.21. Komponen wesel.	35
Gambar 2.22. Sambungan melayang.	36
Gambar 2.23. Sambungan menumpu.	36
Gambar 2.24. Sambungan siku.	37
Gambar 2.25. Sambungan berselang-seling.	37
Gambar 2.26. Pelat penyambung untuk rel R.42, R.50 dan R.54. \emptyset lubang 24 mm tebal pelat 20 mm tinggi disesuaikan dengan masing-masing rel.	37

Gambar 2.27. Pelat penyambung untuk rel R.60. \varnothing lubang 25 mm tebal pelat 20 mm.	38
Gambar 3.1. Lokasi penelitian.	45
Gambar 3.2. Lokasi proyek.	46
Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 3.4. Bagan Ukuran Wesel.	58
Gambar 4.1. Metode Penggantian Wesel R.42 menjadi Wesel R.54.	73
Gambar 4.2. Section Penggantian Wesel R.42 menjadi Wesel R.54.	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Kelas Jalan Rel berdasarkan lebar jalan jalan rel 1067 mm	12
Tabel 2.2 : Kelas Jalan Rel berdasarkan lebar jalan jalan rel 1435 mm	13
Tabel 2.3 : Klasifikasi jalan rel berdasarkan landai penentu maksimum	15
Tabel 2.4 : Dimensi Penampang Rel	20
Tabel 2.5 : Tegangan Izin Profil Rel Berdasarkan Kelas Jalan di Indonesia	22
Tabel 2.6 : Fungsi Azasi Jalur Kereta Api	24
Tabel 2.7 : Nomor wesel dan kecepatan ijinnya	36
Tabel 2.8 : Batas suhu pemasangan rel standard dan rel pendek	38
Tabel 3.1 : Kecepatan Desain Wesel	51
Tabel 3.2 : Karakteristik dan material jarum	54
Tabel 3.3 : Ukuran dan Toleransi Jarum dan Lidah	56
Tabel 4.1 : Peralatan pada Sinyal	68
Tabel 4.2 : Peralatan pada Wesel	69

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

I_p	= faktor dinamis
V	= kecepatan kereta api (km/jam)
P_d	= gaya dinamis (ton)
P_s	= gaya statis (ton)
KA	= Kereta api
k	= modulus elastisitas jalan rel = 180
λ	= dumping factor / characterisic of the system
I_x	= momen inersia terhadap sumbu $x - x = 2346 \text{ cm}^4$
E	= modulus elastisitas rel = $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
Y_b	= jarak tepi bawah rel ke garis netral
M_a	= Momen maksimum
σ	= Tegangan ijin
S_{base}	= Tegangan dasar rel
W_b	= Tahanan momen dasar = $I_x/Y_b = 307,874 \text{ cm}^3$
P	= berat gandar lokomotif dalam ton
G	= berat rel dalam kg/m
a	= jarak bantalan dalam m
(P)	= panjang jarum
B	= lebar kaki rel
C	= lebar kepala rel
α	= sudut simpang arah
d	= celah antara jarum dan ujung rel (celah jarum)
t	= panjang lidah
Y	= jarak antara akar lidah dan rel lantak
β	= sudut tumpu
R_u	= panjang jari-jari lengkung luar
W	= lebar sepur
R	= jari-jari lengkung

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Komponen dan Bagan Wesel.	78
Lampiran 2. Lidah Wesel dan Mesin Penggerak Wesel.	78
Lampiran 3. Jarum beserta Sayap Wesel dan Rel Paksa pada Wesel.	79
Lampiran 4. Komponen Wesel R.54 ditempat penyimpanan.	79
Lampiran 5. Pengecekan Jarum dan Sayap Wesel bersama dengan Satker.	80
Lampiran 6. Bantalan Beton untuk Wesel R.54.	80

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

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 Naamlooze Venootschap Nederlansch Indische Spoorweg Maatschappij (NV. 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.

Sementara itu, di Sumatera Utara pembangunan jaringan Kereta Api merupakan inisiatif dari J.T. Cremer, seorang manajer perusahaan perkebunan NV. Deli Matschappij yang menganjurkan agar jaringan Kereta Api di tanah Deli sesegera mungkin dapat dibangun mengingat pesatnya perkembangan perusahaan perkebunan Deli. Berdasarkan surat keputusan (beslit) Gubernur Jenderal Belanda di Batavia, maka pada tanggal 23 Januari 1883, permohonan konsesi dari pemerintah Belanda untuk pembangunan jaringan kereta api yang menghubungkan Belawan – Medan – Delitua – Timbang Langkat (Binjai) direalisasikan.

Pada bulan Juni 1883, izin konsesi tersebut dipindahtangankan pengerjaannya dari NV Deli Matschappij kepada NV Deli Spoorweg Matschappij (DSM). Pada tahun itu pula, presiden komisaris DSM, Peter Wilhem Janssen merealisasikan pembangunan rel kereta api pertama sekali di Sumatra Timur yang menghubungkan Medan-Labuhan yang diresmikan penggunaannya pada tanggal 25 Juli 1886. Demikian pula sejak tahun 1902, pembangunan kereta api dilanjutkan dengan menghubungkan antara Lubuk Pakam-Bangun Purba yang dapat digunakan pada tahun 1904. Selanjutnya, pada tahun 1916 dibangun jaringan Kereta Api yang menghubungkan Medan-Siantar yang menjadi pusat perkebunan Teh. Pada tahun

1929-1937 turut pula dibangun jaringan Kereta Api yang menghubungkan Kisaran-Rantau Prapat.

Undang – undang perkeretaapian Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 1992 bab II pasal 2 menerangkan bahwa asas dan tujuan perkeretaapian adalah sebagai salah satu moda transportasi nasional yang diselenggarakan berdasarkan asas manfaat adil dan merata, keseimbangan, kepentingan umum, keterpaduan, dan percaya pada diri sendiri. Pada bab II pasal 3 menerangkan bahwa asas dan tujuan perkeretaapian diselenggarakan dengan tujuan untuk memperlancar perpindahan orang dan / atau barang secara masal, menunjang pemerataan, pertumbuhan dan stabilitas serta sebagai pendorong dan penggerak pembangunan nasional.

Pada faktanya masyarakat dewasa ini lebih menyebut kereta api sebagai angkutan rakyat karena ditinjau dari segi harganya yang murah, sehingga dapat dijangkau oleh masyarakat sampai dengan kelas menengah ke bawah. Maka demi terselenggaranya angkutan yang aman dan nyaman, perlu diadakan peningkatan fasilitas, mutu pelayanan dan prasarana perkeretaapian khususnya di Sumatera Utara, yaitu pada lintas Kisaran - Rantau Prapat. Pada lintas tersebut dengan kondisi lapangan saat ini harus ada beberapa peningkatan fasilitas yang perlu dilakukan, yaitu dengan melakukan pergantian wesel. Dengan kondisi wesel di lapangan yang saat ini masih menggunakan R.42 dengan sudut 1:10. yang keausannya sudah mencapai fatigue (lelah), maka perlu dilakukan pergantian wesel tipe R.54 dengan sudut 1:10. Dengan dilakukan pergantian wesel ini maka akan dapat meningkatkan kecepatan kereta api.

Dalam tugas akhir ini akan dijelaskan mengenai perencanaan dan penggantian wesel tipe R.42 menjadi wesel tipe R.54 dengan sudut 1:10 pada lintas Kisaran - Rantau Prapat.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada kondisi dilapangan, maka permasalahan yang timbul adalah sebagai berikut:

1. Apakah wesel dengan rel tipe R.54 dapat menahan beban kereta api yang beroperasi pada lintas Kisaran – Rantau Prapat ?

2. Bagaimana perencanaan dan cara penggantian wesel tipe R.42 menjadi wesel tipe R.54 dengan sudut 1:10 pada lintas Kisaran – Rantau Prapat ?

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Agar mencapai arah yang jelas dari penelitian ini, maka penulis membatasi ruang lingkup penelitian. Adapun batasan lingkup penelitian yaitu:

1. Penelitian ini hanya membahas tentang penggantian wesel tipe R.54 pada lintas Kisaran - Rantau Prapat.
2. Penelitian ini hanya membahas wesel biasa tidak membahas wesel Inggris.
3. Tidak membahas tentang biaya anggaran untuk penggantian wesel.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kekuatan dan keamanan wesel rel tipe R.54 terhadap beban kereta api yang beroperasi pada lintas Kisaran - Rantau Prapat.
2. Mengetahui perencanaan dan cara penggantian wesel tipe R.42 menjadi wesel tipe R.54 dengan sudut 1:10.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai referensi bagi pihak terkait dalam proses perencanaan penggantian wesel pada stasiun - stasiun lain.
2. Pembaca dan penulis yang juga memanfaatkan sarana transportasi kereta api ini, bermanfaat untuk mengetahui sarana dan prasarana juga pelayanan yang aman dan nyaman yang didapat penumpang kereta api.
3. Hasil dari penelitian ini kiranya dapat menjadi input bagi penelitian selanjutnya.

1.6. Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang pendeskripsian dan langkah-langkah yang akan dilakukan, Kriteria pemilihan lokasi. Cara memperoleh data-data yang relevan dengan studi kasus yang berisikan objek.

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 berdasarkan analisis data yang disajikan sebelumnya yang menjadi dasar penyusunan suatu saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi Kereta Api

Menurut peraturan menteri nomor 47 tahun 2014, kereta api adalah sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan sarana perkeretaapian lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel yang terkait dengan perjalanan kereta api. Sedangkan perkeretaapian adalah satu kesatuan sistem yang terdiri atas prasarana, sarana, dan sumber daya manusia, serta norma, kriteria, persyaratan, dan prosedur untuk penyelenggaraan transportasi kereta api.

KA (kereta api) merupakan salah satu alat transportasi yang dapat mengangkut penumpang dalam jumlah besar (masal), memiliki kenyamanan keselamatan perjalanan yang lebih baik dan lebih sedikit halangannya dibandingkan dengan transportasi lain. Dalam upaya meningkatkan layanan jasa angkutan jalan rel pemerintah menempuh kebijakan sebagai berikut:

1. Mengarahkan pengembangan perkeretaapian sebagai angkutan masal dan jarak jauh untuk mengurangi kemacetan dan kerusakan jalan antara lain dengan kereta api berteknologi tinggi.
2. Mengembangkan kapasitas jaringan kereta api secara bertahap menuju rel ganda dan mengaktifkan fungsi lintas yang potensial.
3. Meningkatkan kemudahan dan kenyamanan dalam pelayanan bagi penumpang, penjual karcis dan penambahan fasilitas umum pada kereta api dan Stasiun.
4. Meningkatkan efisiensi dan perbaikan pelayanan angkutan penumpang antar kota.

Menurut Salim (2004) angkutan kereta api adalah penyediaan jasa-jasa transportasi di atas rel untuk membawa barang dan penumpang. Kereta api memberikan pelayanan keselamatan, nyaman, dan aman bagi penumpang. Kereta

api ditemukan pada sekitar tahun 1800 dan mengalami perkembangan sampai tahun 1860 (Salim, 2004). Pada mulanya dikenal kereta kuda yang hanya terdiri dari satu kereta (rangkaiannya). Kemudian dibuatlah kereta kuda yang menarik lebih dari satu rangkaian serta berjalan di jalur tertentu yang terbuat dari besi (rel). Kereta jenis ini yang kemudian dinamakan sepur atau yang lebih dikenal dengan kereta api.

Menurut Nasution, (2004) Kereta api adalah salah satu jenis transportasi darat yang tersedia di masyarakat. Angkutan kereta api adalah jenis angkutan yang bergerak di atas rel. Kereta api yang diciptakan dalam masa revolusi industri merupakan alat angkutan untuk mengangkut barang dalam jumlah besar dan jarak jauh.

2.2. Jalan Rel

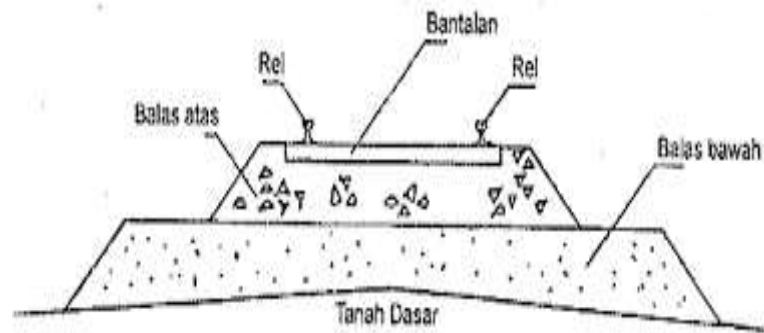
Peraturan Menteri Perhubungan nomor 60 Tahun 2012 menjelaskan bahwa jalan rel merupakan satu kesatuan konstruksi yang terbuat dari baja, beton atau konstruksi lain yang terletak di permukaan, di bawah dan di atas tanah atau bergantung beserta perangkatnya yang fungsinya mengarahkan jalannya kereta api. Secara teknis diartikan bahwa konstruksi jalan rel tersebut harus dapat dilalui oleh kereta api dengan aman dan nyaman selama umur konstruksinya.

Selain itu rel juga mempunyai fungsi sebagai pijakan mengelindingnya roda kereta api dan meneruskan beban dari roda kereta api kepada bantalan. Sedangkan jalur rel kereta api merupakan jalur yang terdiri atas rangkaian petak jalan rel yang meliputi ruang manfaat jalur kereta api, ruang milik jalur kereta api dan ruang pengawasan jalur kereta api termasuk bagian atas dan bawahnya yang diperuntukan bagi lalu lintas kereta api.

2.2.1. Struktur Jalan Rel Kereta Api

Struktur jalan rel adalah struktur elastis, dengan pola distribusi beban yang cukup rumit, sebagai gambaran adalah tegangan kontak antara rel dan roda adalah sekitar 6000 kg/cm dan harus ditransfer ke tanah dasar yang berkekuatan

hanya sekitar 2 kg/cm. Secara grafis struktur jalan rel dapat digambarkan sebagai berikut:



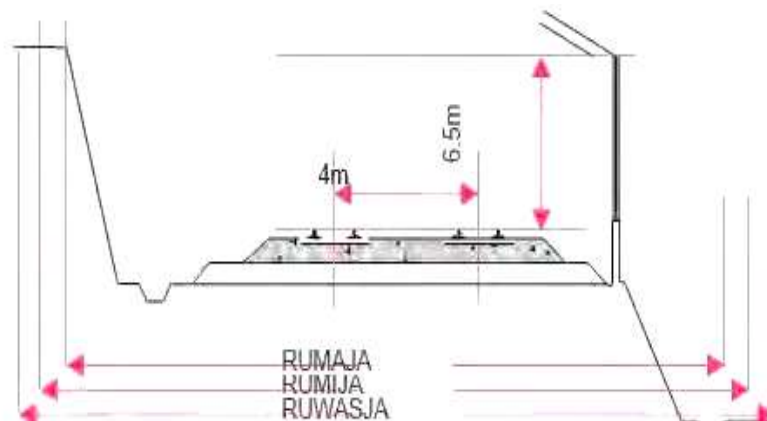
Gambar 2.1. Struktur Jalan Rel. (Rosyidi, 2015)

As Track s/d Rumaja : ukuran tergantung konstruksi

Rumaja s/d Rumija : 6m

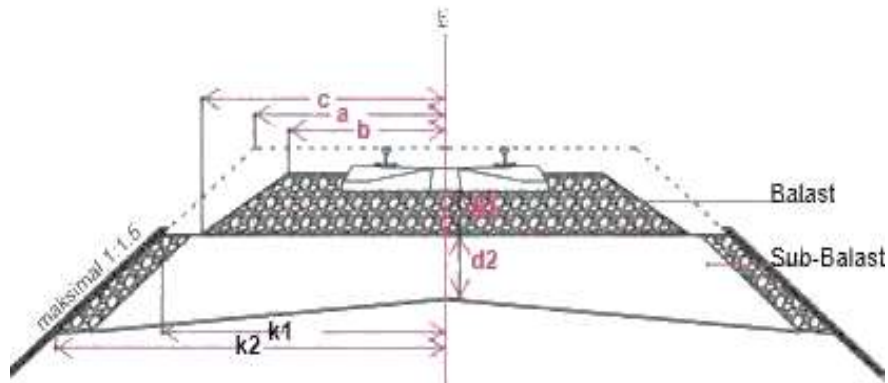
Rumija s/d Ruwasja : 9m

- 1) Rumaja : Ruang manfaat jalur kereta api. Ruang manfaat jalur kereta api di peruntukan bagi pengoperasian kereta api dan merupakan daerah yang tertutup untuk umum.
- 2) Rumija : Ruang milik jalur kereta api, adalah bidang tanah di kiri dan di kanan ruang jalur kereta api yang di gunakan untuk pengamanan konstruksi jalan rel.
- 3) Ruwasja : Ruang pengawasan jalur kereta api adalah bidang tanah atau bidang lain di kiri dan di kanan ruang milik jalur kereta api untuk pengamanan dan kelancaran operasi kereta api.



Gambar 2.2. Ruang Bebas Jalan Rel Single Track. (Peraturan Dinas No.10)

Gambar Profil Jalan Rel



Gambar 2.3. Penampang Melintang Jalan Rel. (Peraturan Dinas No.10)

Gaya yang ditimbulkan oleh kereta api yang melintas di atas jalan rel harus ditahan oleh struktur jalan rel, ialah : gaya vertikal, gaya horisontal tegak lurus sumbu sepur (gaya transversal) dan gaya horisontal membujur searah sumbu sepur (gaya longitudinal).

1. Gaya Vertikal adalah beban yang paling dominan dalam struktur jalan rel, gaya ini menyebabkan defleksi vertikal, dan defleksi vertikal ini adalah indikator terbaik dan kualitas, kekuatan dan umur jalan rel. Secara garis besar, besarnya beban vertikal dapat dijelaskan sebagai berikut :
 - a. Gaya Lokomotif (Locomotive), Jenis lokomotif dapat dilihat dari cara penomorannya.
 - Lokomotif BB artinya beban ditumpu oleh 2 bogie, yang masing-masing bogie terdiri 2 gandar dan satu gandar terdiri dari dua roda sehingga :
 Jika berat lokomotif (W_{lok}) = 56 ton, maka ;
 Gaya bogie ($P_{bogie} = P_b$) = $W_{lok}/2 = 56/2$ ton = 28 ton;
 Gaya gandar ($P_{gandar} = P_g$) = $P_b/2 = 28/2$ ton = 14 ton;
 Gaya roda statis ($P_{statis} = P_s$) = $P_g/2 = 14/2$ ton = 7 ton
 Gaya gandar, lebih dikenal dengan beban gandar (axle load)
 - Lokomotif Jenis CC, lokomotif ditumpu 2 bogie, masing-masing bogie terdiri 3 gandar.
 - b. Gaya Kereta (Cai; Goach), Kereta dipakai untuk angkutan penumpang, sehingga karakteristiknya adalah kenyamanan (perlu ruang yang cukup) dan kecepatan yang tinggi (faktor gaya dinamis), Berat Kereta jika dimuati

adalah sekitar 40 ton, dan ditumpu dengan 2 bogie ($P_b = 20$ ton), dengan masing-masing bogie terdiri 2 gandar ($P_g = 10$ ton), sehingga $P_s = 5$ ton.

- c. Faktor Dinamis, Faktor dinamis diakibatkan oleh getaran-getaran dari kendaraan rel, akibat angin, dan kondisi geometri (ketidakrataan) jalan. Untuk mentransformasikan gaya statis kepada gaya dinamis, diformulasikan faktor dinamis sebagai berikut :

$$I_p = 1 + 0,01 (V/1,609 - 5) \quad (2.1)$$

dengan :

I_p = faktor dinamis

V = kecepatan kereta api (km/jam)

Selanjutnya gaya dinamis dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_d = P_s \times I_p \quad (2.2)$$

dengan :

P_d = gaya dinamis (ton),

P_s = gaya statis (ton), dan

I_p = faktor dinamis.

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI_x}} \quad (2.3)$$

dengan :

k = modulus elastisitas jalan rel = 180

λ = dumping factor / characterisic of the system

I_x = momen inersia terhadap sumbu x – x

E = modulus elastisitas rel = $2,1 \times 10^6$ kg/cm²

$$M_o = \frac{P_d}{4\lambda} \quad (2.4)$$

$$\sigma = \frac{M_a \times Y_b}{I_x} \quad (2.5)$$

$$S_{\text{base}} = \frac{M_a}{W_b} \quad (2.6)$$

dengan :

P_d = gaya dinamis (ton)

Y_b = jarak tepi bawah rel ke garis netral

M_a = Momen maksimum

σ = Tegangan ijin

W_b = Tahanan momen dasar = $I_x/Y_b = 307,874 \text{ cm}^3$

I_x = momen inersia terhadap sumbu $x - x = 2346 \text{ cm}^4$

$$P = \frac{0,4}{1 + \alpha} \times \frac{G}{a} \quad (2.7)$$

dengan :

P = berat gandar lokomotif dalam ton

α = pengaruh kecepatan menurut "Varein" $\frac{V^2}{30.000}$ (V km/jam)

G = berat rel dalam kg/m

a = jarak bantalan dalam m

2. Gaya Transversal disebabkan adanya gaya sentrifugal, '*snake motion*', dan ketidakrataan geometri jalan rel, bekerja pada titik yang sama dengan gaya vertikal di rel.
3. Gaya Longitudinal diakibatkan terutama oleh perubahan suhu pada rel ("*thermal stress*"), dan untuk konstruksi kereta api modern, dimana dipakai rel panjang (*long welded nails*), gaya ini sangat memegang peranan tinggi. Tambahan pada gaya longitudinal ini adalah gaya adhesi (akibat gesekan roda dan rel) dan gaya rem (akibat pengereman kendaraan rel).

2.2.2. Perencanaan Konstruksi Jalur Kereta Api

Sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, perencanaan Konstruksi jalur kereta api 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.

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. Atas dasar ini diadakan klasifikasi jalur kereta api sehingga perencanaan dapat dibuat secara tepat guna.

2.2.3. Pengelompokan dan Kelas Jalan Rel

Perencanaan dan perancangan jalan rel di Indonesia sejak tahun 1986 (PD 10) menggunakan satu macam beban gandar saja, yaitu 18 ton. Penggunaan satu macam beban gandar sebesar 18 ton tersebut mempunyai maksud sebagai berikut :

1. Perpindahan kereta api, baik kereta api penumpang maupun barang dari sepur satu sepur ke sepur lainnya yang kelasnya lebih rendah, dapat dilakukan tanpa harus mengurangi muatannya terlebih dahulu.
2. Setiap lokomotif dapat digunakan di semua sepur meskipun kelasnya berbeda.

Kapasitas angkut lintas ialah jumlah angkutan anggapan yang melewati suatu lintas dalam jangka waktu satu tahun, dengan satuan ton/tahun. Untuk menghitung besarnya kapasitas angkut lintas PT. Kereta Api (persero) menggunakan cara perhitungan berdasarkan atas persamaan di bawah ini :

$$T = 360 \times S \times TE \quad (2.8)$$

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_1 \times T_l) \quad (2.9)$$

dengan :

T = kapasitas angkut lintas (ton/hari)

TE = tonase ekivalen (ton/tahun)

T_p = tonase penumpang dan kereta harian

T_b = tonase barang dan gerbong harian

T_l = tonase lokomotif harian

S = koefisien yang besarnya tergantung pada kualitas lintas, yaitu :

S = 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang, kecepatan maksimum 120 km / jam.

S = 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang.

K_b = koefisien yang besarnya tergantung pada beban gandar, yaitu :

K_b = 1,5 untuk beban gandar < 18 ton

K_b = 1,3 untuk beban gandar > 18 ton

K₁ = koefisien yang besarnya ditentukan sebesar 1,4

Kelas jalan rel yang ada di Indonesia dapat dibagi berdasarkan lebar jalan rel yang ada di Indonesia. Lebar jalan rel tersebut dibagi atas lebar jalan rel 1067 mm dan lebar jalan rel 1435 mm. Klasifikasi kelas jalan rel tersebut mencakup daya angkut lintas pada masing-masing kelas jalan rel, kecepatan maksimum, beban gandar dan ketentuan lain untuk setiap kelas jalan rel. Masing-masing klasifikasi kelas jalan rel tersebut dijelaskan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 : Kelas Jalan Rel berdasarkan lebar jalan rel 1067 mm (Lampiran Peraturan Menteri Perhubungan No.60, 2012)

Kelas	Kapasitas Angkut Lintas (x10 ⁶ ton/tahun)	Kecepatan maksimum (Km/Jam)	Beban gandar maksimum (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis penambat
					Jarak antar sumbu bantalan	
I	>20	120	18	R.60/R.54	<u>Beton</u> 60 cm	Elastis Ganda
II	10-20	110	18	R.54/R.50	<u>Beton/Kayu</u> 60 cm	Elastis Ganda
III	5-10	100	18	R.54/R.50/R.42	<u>Beton/Kayu/Baja</u> 60 cm	Elastis Ganda
IV	2.5-5	90	18	R.54/R.50/R.42	<u>Beton/Kayu/Baja</u> 60 cm	Elastis Ganda/ Tunggal
V	<2.5	80	18	R.42	<u>Kayu/Baja</u> 60 cm	Elastis Tunggal

Tabel 2.2 : Kelas Jalan Rel berdasarkan lebar jalan rel 1435 mm (Lampiran Peraturan Menteri Perhubungan No.60, 2012)

Kelas	Kapasitas Angkut Lintas ($\times 10^6$ ton/tahun)	Kecepatan maksimum (Km/Jam)	Beban gandar maksimum (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis penambat
					Jarak antar sumbu bantalan	
I	>20	160	22.5	R.60/R.54	Beton 60 cm	Elastis Ganda
II	10-20	140	22.5	R.54/R.50	Beton 60 cm	Elastis Ganda
III	5-10	120	22.5	R.54/R.50/R.42	Beton 60 cm	Elastis Ganda
IV	<5	100	22.5	R.54/R.50/R.42	Beton 60 cm	Elastis Ganda

Konstruksi jalan rel merupakan suatu sistem struktur yang menghimpun komponen-komponennya seperti rel, bantalan, penambat dan lapisan pondasi serta tanah dasar secara terpadu dan disusun dalam sistem konstruksi dan analisis tertentu untuk dapat dilalui kereta api secara aman dan nyaman.

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.

Rosyidi (2015), menyebutkan ada tiga jenis ukuran lebar sepur di dunia yaitu 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.

- 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).

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.

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 dan 1435 mm.

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 2.3.

Tabel 2.3 : Klasifikasi jalan rel berdasarkan landai penentu maksimum (Peraturan Menteri Perhubungan No.60, 2012)

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.

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

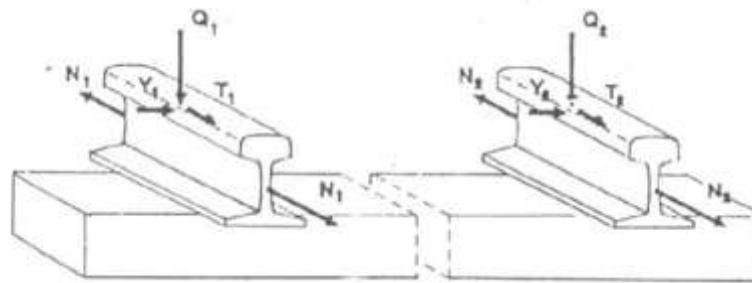
- a) Jalur tunggal : Jumlah jalur di lintas bebas hanya satu, dan diperuntukkan untuk melayani arus lalu lintas angkutan jalan rel dari dua arah.

2.3. Pembebanan Struktur Jalur Rel

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 2.4.

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 2.4. Gaya yang bekerja pada Rel. (buku jalan rel FSTPT, 2021)

Keterangan:

Gaya vertikal : Q

Gaya lateral : Y

Gaya longitudinal : T

Gaya akibat perubahan suhu (termasuk gaya longitudinal) : N

Prinsipnya, jalan rel kereta api harus dapat mentransfer tekanan yang diterimanya dengan baik yang berupa beban berat (axle load) dari rangkaian kereta api melintas. Dalam arti, jalan rel kereta api harus tetap kokoh ketika dilewati rangkaian kereta api, sehingga rangkaian kereta api dapat melintas dengan cepat, aman, dan nyaman.

Roda-roda kereta api yang melintas akan memberikan tekanan berupa beban berat (axle load) ke permukaan track rel. Oleh batang rel (*rails*) tekanan tersebut diteruskan ke bantalan (*sleepers*) yang ada dibawahnya. Lalu, dari bantalan akan diteruskan ke lapisan *ballast* dan *sub-ballast* di sekitarnya. Oleh lapisan *ballast*, tekanan dari bantalan ini akan disebar ke seluruh permukaan tanah disekitarnya, untuk mencegah amblesnya track rel.

Pada perhitungan gaya vertikal yang dihasilkan beban gandar oleh lokomotif, kereta dan gerbong merupakan beban statik, sedangkan pada kenyataannya, beban yang terjadi pada struktur jalur rel merupakan beban dinamis yang dipengaruhi oleh factor aerodinamik (hambatan udara dan beban angin), kondisi geometrik dan kecepatan pergerakan rangkaian kereta api.

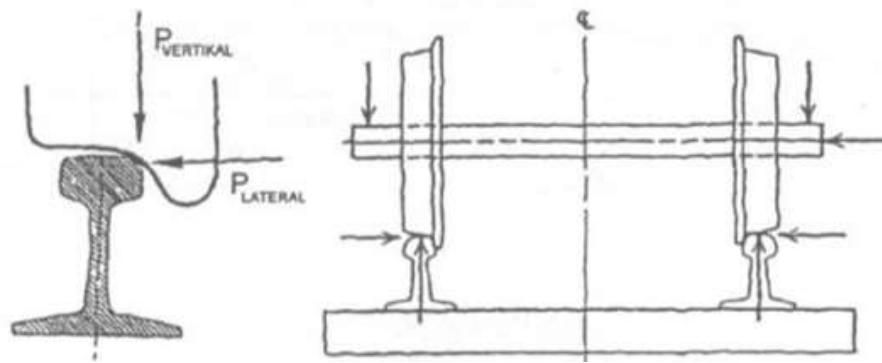
Transformasi statis beban dinamis, disampaikan dalam formulasi Talbot (1918) pada persamaan (2.2).

Beban dinamis (P_d), diperoleh dari perkalian faktor dinamis terhadap beban statis (P_s) yang diperhitungkan pada persamaan (2.1) dan (2.2). Sehingga gaya dinamis dari kereta api dapat dihitung dengan persamaan tersebut.

Syarat pembatasan besarnya gaya lateral supaya tidak terjadi anjlog adalah:

$$\frac{P_{\text{lateral}}}{P_{\text{vertikal}}} < 0,75, \text{ untuk rel dan roda yang aus} \quad (2.10)$$

$$\frac{P_{\text{lateral}}}{P_{\text{vertikal}}} < 1,2 \quad (2.11)$$

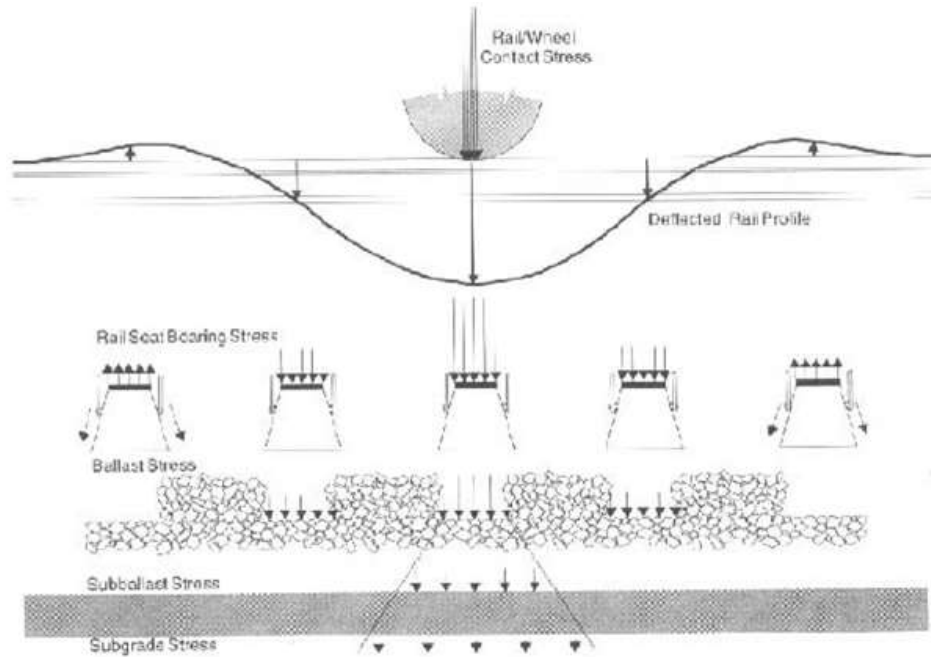


Gambar 2.5. Gaya Lateral/Transversal pada Jalur Kereta Api. (buku jalan rel FSTPT, 2021)

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.

Prinsip pola distribusi gaya pada struktur rel bertujuan untuk menghasilkan reduksi tekanan kontak yang terjadi diantara rel dan roda ($\pm 6000 \text{ kg/cm}^2$) menjadi tekanan yang sangat kecil pada tanah dasar ($\pm 2 \text{ kg/cm}^2$). Gambar 2.6 dibawah ini menjelaskan pola distribusi beban pada struktur jalan rel.



Gambar 2.6. Distribusi Beban pada Jalur Kereta Api. (buku jalan rel FSTPT, 2021)

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.

Model dapat dituliskan dalam persamaan umum (2.12) dan diferensial (2.13) sebagai berikut:

$$F(x) = -k \cdot y(x) \quad (2.12)$$

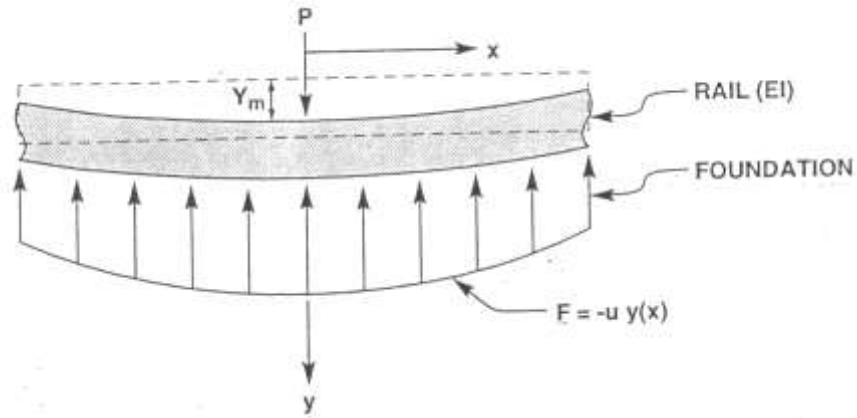
$$EI \frac{d^4y}{dx^4} + k \cdot y = 0 \quad (2.13)$$

dimana:

$F(x)$: Reaksi merata per satuan panjang

k : Modulus elastisitas jalan rel

- y : Defleksi akibat beban pada rel
 E : Modulus elastisitas baja penyusun rel
 I : Momen inersia rel



Gambar 2.7. Lendutan pada Rel. (buku jalan rel FSTPT, 2021)

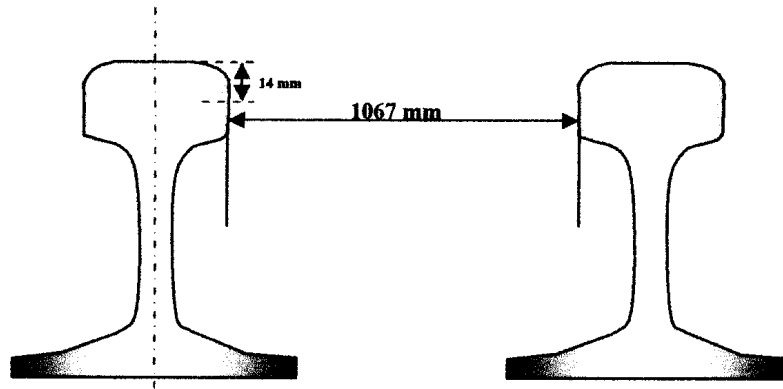
2.3.1. Dimensi Rel

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 izin lentur baja (S_i). Jika suatu dimensi rel dengan beban roda tertentu menghasilkan $S_{base} < S_i$, maka dimensi ini dianggap cukup.

Pada Peraturan Menteri no.60 tahun 2012, penampang rel harus memenuhi ketentuan dimensi rel seperti pada tabel dan gambar berikut:

Tabel 2.4 : Dimensi Penampang Rel (Peraturan Menteri No.60, 2012)

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



Gambar 2.10. Lebar Jalan Rel 1067 mm. (Peraturan Menteri No.60, 2012)

1. Tegangan izin

Tegangan izin tergantung pada mutu rel yang digunakan. Untuk perencanaan dimensi rel yang akan digunakan, Perumka (Indonesia) menggunakan dasar kelas jalan untuk menentukan tegangan izinnya. Tabel 2.5 menjelaskan tegangan izin setiap kelas jalan dan tegangan dasar rel untuk perhitungan dimensi rel.

Tabel 2.5 : Tegangan Izin Profil Rel Berdasarkan Kelas Jalan di Indonesia (Peraturan Menteri No.60, 2012)

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (juta ton/thn)	Kecepatan Rencana (kph)	Beban Gandar (ton)	Beban Roda Dinamis (kg)	Jenis Rel	Tegangan Dasar Rel (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
I	> 20	150	18	19940	R60	1042,3	1325
					R54	1176,8	
II	10-20	140	18	16241	R54	1128,2	1325
					R50	1231,8	
III	5-10	125	18	15542	R54	1097,7	1663
					R50	1178,8	
					R42	1476,3	
IV	2,5-5	115	18	14843	R54	1031	1843
					R50	1125,8	
					R42	1410	
V	> 2,5	100	18	14144	R42	1343,5	2000

2. Perhitungan dimensi rel

Dalam perhitungan perencanaan dimensi rel digunakan konsep "*beam on elastic foundation*". 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. Untuk reduksi perhitungan momen akibat konfigurasi roda 4 (BB) dan 6 (CC) digunakan persamaan sebagai berikut :

a. Konfigurasi roda 4 (BB)

Lokomotif ini berarti beban bertumpu oleh dua bogie yang masing-masing bogie terdiri dari dua gandar. Satu gandar disini terdiri dari dua roda yang saling tersambung.

$$M_a = \sum_{i=1}^4 \frac{P}{4\lambda} e^{-\lambda x} (\cos \lambda o - \sin \lambda i) \quad (2.14)$$

$$M_a = 0,75 \frac{P_d}{4\lambda} \quad (2.15)$$

b. Konfigurasi roda 6 (CC)

Lokomotif ini memiliki dua bogie yang terdiri dari masing-masing tiga gandar. Setiap gandar terdiri dari dua roda.

$$M_a = \sum_{i=1}^6 \frac{P}{4\lambda} e^{-\lambda x} (\cos \lambda o - \sin \lambda i) \quad (2.16)$$

$$M_a = 0,82 \frac{P_d}{4\lambda} \quad (2.17)$$

c. Jika konfigurasi tidak diperhitungkan maka digunakan persamaan reduksi momen sebagai berikut :

$$M_a = 0,85 \frac{P_d}{4\lambda} \quad (2.18)$$

Keterangan :

Ma = Momen aktif

P = Tegangan yang terjadi di dasar rel




λ = Faktor reduksi/ Damping factor

2.3.2. Fungsi dan Azasi Jalur Kereta Api

Fungsi azasi dari jalur kereta api terdiri dari fungsi penyampaian beban kereta api ke tanah yang terdiri dari segi kekerasan material dan segi penyebaran (distribusi) beban.

1. Berdasarkan segi kekerasan material, seperti diilustrasikan pada tabel 2.6 di bawah ini:

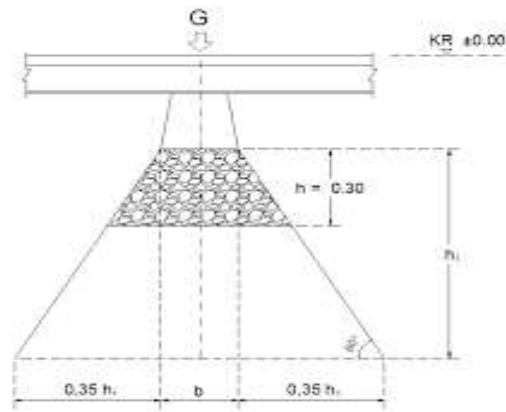
Tabel 2.6 : Fungsi Azasi Jalur Kereta Api (buku jalan rel FSTPT, 2021)

No	Item	Visualisasi	Material	Keterangan	Sifat
1.	Roda kereta / Lok		Baja	Keras sekali dan ulet elastis. Kuat tekan dan Tarik tinggi	Isotrop
2.	Rel		Baja		
3.	Bantalan		Baja		
			Beton		
			Kayu		

4.	Balas		Tumpukan batu-batu (Butir-butir besar)	Keras getas Kuat tekan tinggi	Homogen Granular
5.	Sub-Balas		Pasir kasar (butir-butir kecil)	Idem	
6.	Tubuh-Jalan Badan-tanah		Tanah yang dimampatkan (butir-butir halus/campur)	Lunak kuat tekan rendah	Heterogen Granular
7.	Alas/dasar		Tanah asli		

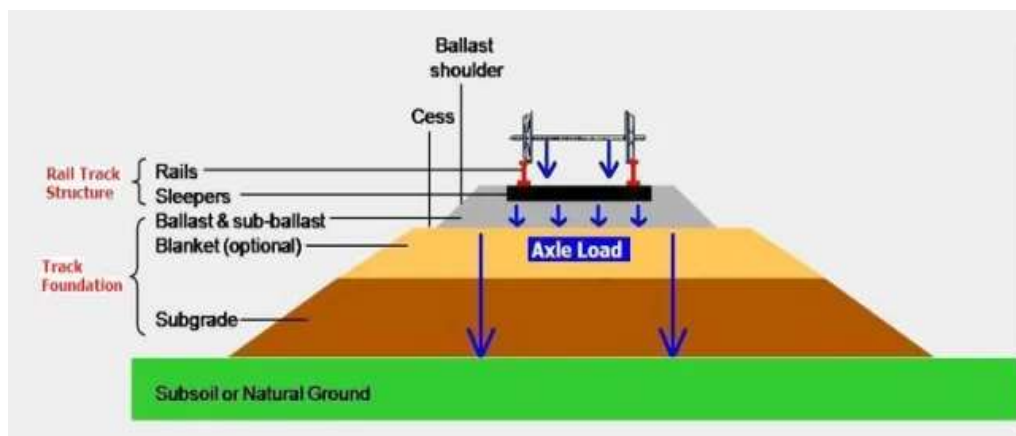
2. Dari segi penyebaran (distribusi) beban:

- 1) Rel menerima beban berat terpusat (titik) $\frac{1}{2} P$ dari roda.
- 2) Bantalan menerima beban terbagi rata (praktisnya) pada luasan terbatas / kecil = lebar kaki rel x lebar bantalan atau lebar pelat alas rel x lebar bantalan.
- 3) Balas menerima dari bidang bawah bantalan secara terbagi tidak merata dan penyebarannya lebih meluas kebawah makin mengecil.
- 4) Menerima beban (3) dan meneruskannya kebawah dengan lebih meluas lagi atau lebih mengecil lagi.



Gambar 2.11. Penyebaran Beban Kereta Api pada Konstruksi Bawah. (buku jalan rel FSTPT, 2021)

5) Demikian juga prosesnya tahap (4) ke tahap (6) kepada tanah asli, proses tahap pembebanan dari tahap (1) sampai dengan tahap (6), diilustrasikan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.12. Struktur Pembebanan pada Jalur Kereta Api. (buku jalan rel FSTPT, 2021)

2.4. Wesel

Pada konstruksi jalan rel (tidak seperti jalan raya), pertemuan antara beberapa jalur (sepur) harus dilaksanakan dengan konstruksi khusus yang dikenal dengan wesel (Switch). Pada umumnya wesel terletak di emplasemen stasiun, yang dalam perencanaannya sangat tergantung pada kecepatan kereta api, panjang peron, layout stasiun dan tujuan peron.

Telah disebutkan bahwa pada jalan rel perpindahan jalur dilakukan melalui peralatan khusus yang dikenal sebagai wesel. Apabila dua jalan rel yang terletak pada satu bidang saling memotong maka pada tempat perpotongan tersebut diperlukan adanya persilangan. Dengan adanya wesel dan persilangan di emplasemen, memungkinkan dan memudahkan penataan rangkaian kereta api. Pada persilangan sebidang antara jalan rel dan jalan raya perlu adanya perencanaan persilangan yang aman. Pada persilangan dimaksud pemancangan struktur persilangan harus sedemikian sehingga dapat dilewati oleh kereta api dan kendaraan jalan raya secara aman dan nyaman.

2.4.1. Pengertian Wesel

Wesel merupakan penghubung antara dua jalan rel dan berfungsi untuk mengalihkan/ mengantarkan kereta api dari suatu sepur ke sepur yang lain. Wesel terdiri dari sepasang rel yang ujungnya diruncingkan sehingga dapat melancarkan perpindahan kereta api dari jalur yang satu ke jalur yang lain dengan menggeser bagian rel yang runcing.

Wesel juga diartikan sebagai konstruksi jalur Kereta Api yang bercabang (bersimpangan) tempat memindahkan jurusan jalur Kereta Api (rel). Wesel juga merupakan alat untuk menghubungkan dua atau tiga track dan mengubah arah jalur Kereta Api (rel) dari jurusan satu ke jurusan yang lainnya.

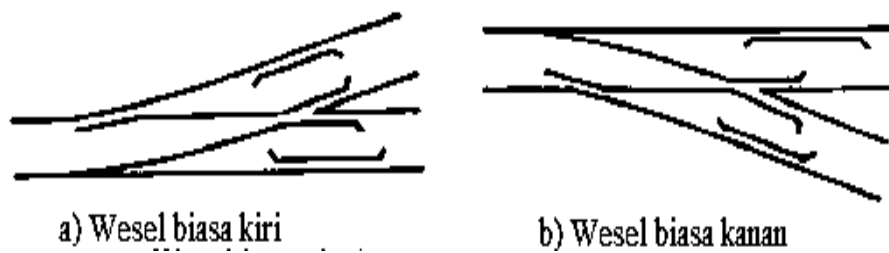
Terdapat empat jenis wesel, yaitu:

1. Wesel biasa

Wesel biasa terdiri atas sepur lurus dan sepur belok yang membentuk sudut terhadap sepur lurus. Menurut arah belok sepur beloknya terdapat dua jenis wesel biasa, yaitu:

- a) Wesel biasa kiri
- b) Wesel biasa kanan

Disebut wesel biasa kiri apabila arah belok sepurnya ke arah kiri, disebut wesel biasa kanan apabila arah belok sepurnya ke arah kanan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.13.



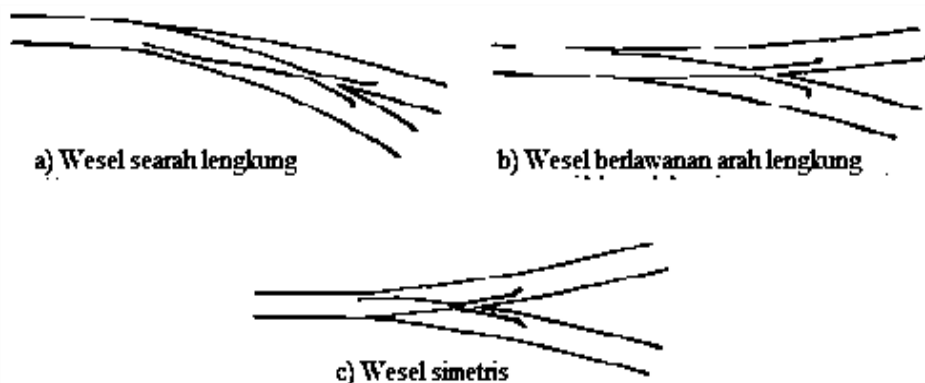
Gambar 2.13. Wesel biasa. (Utomo, 2009)

2. Wesel dalam lengkung

Wesel dalam lengkung pada dasarnya ialah seperti wesel biasa, tetapi sepur lurus nya berbentuk lengkung, sehingga dapat dikatakan bahwa wesel dalam lengkung terdiri atas wesel lengkung dan sepur belok yang membentuk sudut terhadap sepur lengkung, berdasar pada sepur beloknya terdapat tiga jenis wesel dalam lengkung, yaitu:

- a) Wesel searah lengkung
- b) Wesel berlawanan arah lengkung
- c) Wesel simetris

Pada wesel searah lengkung, arah sepur lengkung dan sepur belok sama. Pada wesel berlawanan arah lengkung, arah sepur belok berlawanan terhadap arah sepur lengkung. Apabila sepur belok simetris terhadap sepur lengkung disebut sebagai wesel simetris. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.14.



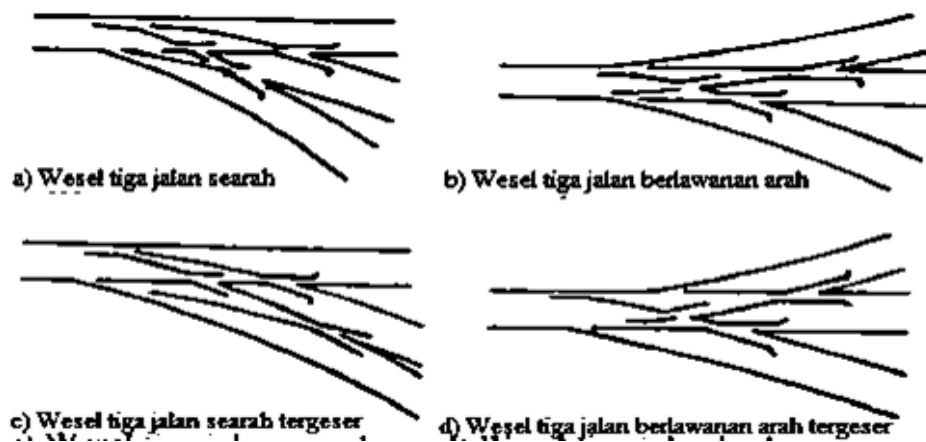
Gambar 2.14. Wesel dalam lengkung. (Utomo, 2009)

3. Wesel tiga jalan

Wesel tiga jalan terdiri dari tiga sepur, berdasarkan atas arah dan letak sepurnya terdapat empat jenis wesel tiga jalan, yaitu:

- a) Wesel tiga jalan searah
- b) Wesel tiga jalan berlawanan arah
- c) Wesel tiga jalan searah tergeser
- d) Wesel tiga jalan berlawanan arah tergeser

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.15.



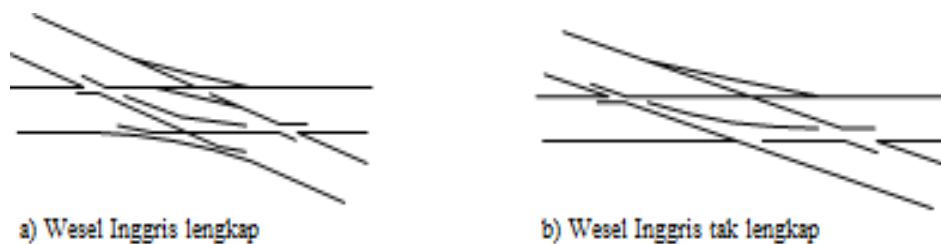
Gambar 2.15. Wesel tiga jalan. (Utomo, 2009)

4. Wesel Inggris

Wesel Inggris adalah wesel yang dilengkapi dengan gerakan-gerakan lidah serta sepur-sepur bengkok. Terdapat dua jenis wesel Inggris, yaitu:

- a) Wesel Inggris lengkap
- b) Wesel Inggris tak lengkap

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.16.



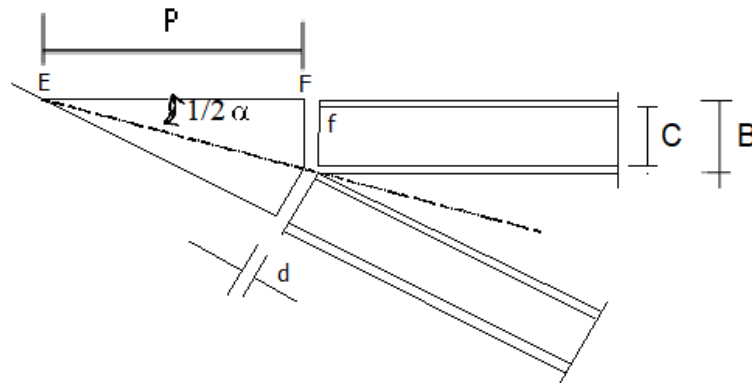
Gambar 2.16. Wesel Inggris. (Peraturan Dinas No.10, 1986)

2.4.2. Perancangan Wesel

Faktor yang menentukan perancangan wesel adalah:

1. Perhitungan wesel harus didasarkan pada keadaan lapangan, kecepatan, nomor wesel dan jenis lidah.
2. Besar sudut tumpu (β) dan sudut simpang arah (α), dihitung/ ditentukan dari nomor wesel dan jenis lidah yang dipilih.
3. Panjang jarum

Panjang jarum ditentukan oleh sudut simpang arah (α), lebar kepala rel (C), lebar kaki rel (B) dan jarak siar (d) berdasarkan persamaan (2.19)



Gambar 2.17. Panjang jarum. (Peraturan Dinas No.10, 1986)

$$P = \frac{(B + C)}{2 \operatorname{tg}(\alpha/2)} - d \quad (2.19)$$

dengan :

P = panjang jarum

B = lebar kaki rel

C = lebar kepala rel

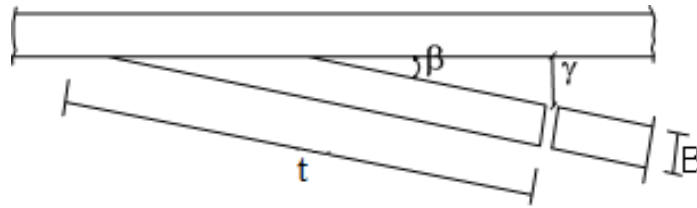
α = sudut simpang arah

d = celah antara jarum dan ujung rel (celah jarum)

4. Panjang lidah

Pada lidah berputar, panjang lidah ditentukan oleh besar sudut tumpu (β), lebar kepala rel (C) dan jarak dari akar lidah ke rel lantak (Y).

Panjang lidah (t) ditentukan oleh persamaan (2.20).



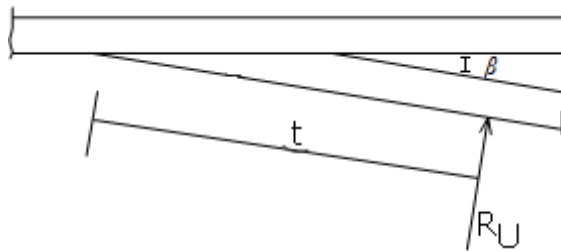
Gambar 2.18. Panjang lidah berputar. (Peraturan Dinas No.10, 1986)

$$t > \frac{C + Y}{\sin \beta} \quad (2.20)$$

dengan :

- t = panjang lidah
- C = lebar kepala rel
- Y = jarak antara akar lidah dan rel lantak
- β = sudut tumpu

Untuk lidah berpegas, panjang lidah ditentukan oleh persamaan (2.21)



Gambar 2.19. Panjang lidah berpegas. (Peraturan Dinas No.10, 1986)

$$t > C \cot \beta \quad (2.21)$$

dengan :

- t = panjang lidah
- C = lebar kepala rel
- β = sudut tumpu

5. Jari-jari lengkung luar

Jari-jari lengkung luar (R_u) dihitung dengan persamaan (2.22)

$$R_u = \frac{W - t \cdot \sin \beta - P \cdot \sin \alpha}{\cos \beta - \cos \alpha} \quad (2.22)$$

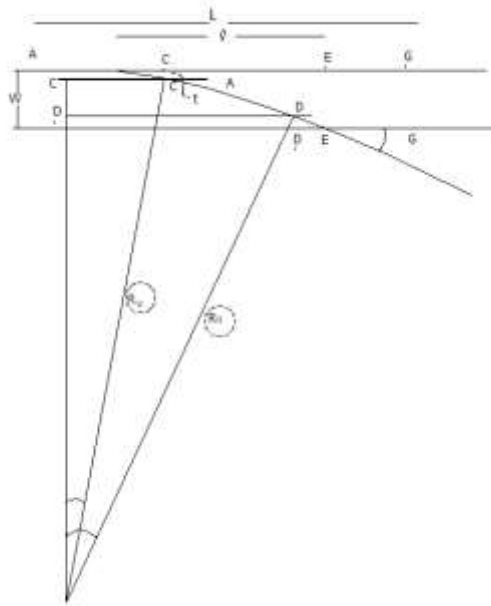
dimana :

Ru = panjang jari-jari lengkung luar

W = lebar sepur

t = panjang lidah

p = panjang jarum



Gambar 2.20. Panjang jari-jari lengkung luar. (Peraturan Dinas No.10, 1986)

Dengan batasan bahwa besarnya jari-jari lengkung luar tidak boleh lebih kecil dari besarnya jari-jari yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$R = \frac{V^2}{7,8} \quad (2.23)$$

dimana :

R = jari-jari lengkung

V = kecepatan ijin pada wesel (km/jam)

6. Jari-jari lengkung dalam

Jari-jari lengkung dalam (R) dihitung dari jari-jari lengkung luar dengan memperhatikan masalah pelebaran sepur.

2.4.3. Komponen Wesel

Agar supaya wesel dapat berfungsi seperti seharusnya, wesel terdiri dari komponen-komponen wesel sebagai berikut:

1. Lidah

Wesel mempunyai komponen yang dapat bergerak yang disebut lidah.

Lidah mempunyai bagian pangkal yang disebut akar lidah, terdapat dua jenis lidah yaitu:

- a) Lidah berputar, pada jenis ini terdapat engsel diakar lidahnya.
- b) Lidah berpegas, pada jenis ini akar lidah di jepit sehingga dapat melentur.

Baik pada lidah berputar maupun lidah berpegas, ujung lidah dapat bergeser untuk menempel dan menekan pada rel lantak sehingga dapat mengarahkan jalan kereta api, yaitu dari rel lurus ke rel bengkok atau dari rel bengkok ke rel lurus. Celah antara lidah wesel dan rel lantak harus kurang dari 3 mm pada posisi tertutup, dan celah antara lidah wesel dan rel lantak pada posisi terbuka tidak boleh kurang dari 125 mm.

2. Jarum dan sayap

Untuk memberikan kemungkinan flens roda kereta api berjalan melalui perpotongan rel dalam wesel dipasang jarum beserta sayapnya. Sambungan antara jarum dengan kedua rel dalam atau sisi belakang jarum disebut akhir wesel.

Agar supaya roda dapat lewat maka rel didepan ujung jarum harus terputus. Kemungkinan turunnya roda kearah bawah pada saat roda rel berada di atas terputusnya rel tersebut dicegah oleh sayap. Dengan adanya sayap ini maka roda saat berada diatas terputusnya rel tersebut disanggah oleh sayap. Sudut kelancipan jarum (α) disebut sudut simpang arah. Beberapa jenis jarum pada wesel, diantaranya:

- a) Jarum kaku dibaut (*bolled rigid frogs*), yang terbuat dari potongan-potongan rel standar yang dibaut.
- b) Jarum rel pegas (*spring rail frogs*).

- c) Jarum baja mangan cor (*cast manganese street frogs*), yang dipakai untuk lintas dengan tonase beban yang berat (lintas frekwensi kereta tinggi).
- d) Jarum keras terpusat (*hard centered frogs*).

3. Rel lantak

Rel lantak adalah rel induk yang tetap, yang berfungsi sebagai sandaran rel lidah. Agar supaya wesel dapat mengarahkan kereta api pada jalan rel yang dikehendaki maka lidah harus menempel dan menekan rel lantak.

Kira-kira 100 cm didepan ujung lidah, rel-rel lantak disambung dengan penyambung rel seperti pada sambungan rel biasa. Sambungan ini disebut sebagai awal wesel. Lidah-lidah dan rel-rel lantak yang bergerak bersama-sama disebut dengan gerakan lidah celah antara rel lantak dan rel paksa pada ujung jarum maksimum sebesar 3 mm pada posisi tertutup.

4. Rel paksa

Rel paksa dipasang berhadapan dengan jarum dan sayapnya. Pada saat roda berada diujung jarum diatas terputusnya rel, kemungkinan keluarnya roda kearah mendatar dicegah dengan rel paksa. Dengan demikian nama rel paksa lebih mengarah pada kemampuan rel dimaksud untuk memaksa roda kereta api tidak keluar ke arah mendatar.

Karena kegunaan rel paksa yang seperti tersebut diatas maka letak rel paksa ialah berhadapan dengan ujung jarum tempat terputusnya rel berada.

5. Penggerak wesel

Gerakan menggeser lidah dilakukan dengan menggunakan batang penarik. Kedua lidah bergerak diatas pelat tergelincir atau balok gelincir yang dipasang secara kuat diatas bantalan-bantalan wesel. Pada penggerak wesel bisa dilakukan dengan sistem mekanik maupun elektrik. Untuk menggerak wesel ada tiga cara yang ada meliputi:

- a) Dengan cara manual, biasanya langsung terletak ditepi sepur dan digerakkan oleh manusia.
- b) Dengan menggunakan kawat yang dapat digerakkan dari jarak jauh.

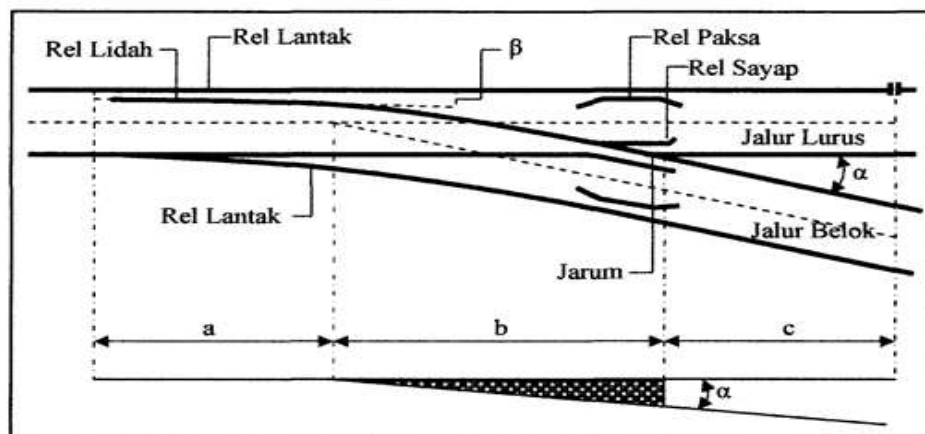
c) Dengan menggunakan motor listrik sehingga dapat dioperasikan dari jarak jauh.

6. Sudut tumpu (β)

Sudut tumpu adalah sudut antara lidah dan rel lantak. Sudut tumpu dinyatakan dengan tangennya yakni $\text{tg } \beta = 1 : m$, dengan m berkisar antara 25 sampai 100.

7. Bantalan pada wesel

Bantalan-bantalan tempat diletakkannya wesel haruslah siku-siku terhadap sumbu dari jalan kereta utama sampai ke ujung jarum. Panjang bantalan ditentukan seemikian rupa sehingga paling sedikit menonjol 0,5 meter keluar rel lantak. Dengan sendirinya, setiap bantalan perlu diberi ukuran yang berbeda-beda.



Gambar 2.21. Komponen wesel. (Peraturan Menteri No.60, 2012)

2.4.4. Kecepatan Izin dan Sudut Simpang Wesel

Kecepatan yang diijinkan saat kereta api melewati wesel tergantung pada sudut simpang arah weselnya. Untuk memudahkan dalam komunikasi teknik digunakan istilah nomor wesel. Tangen sudut simpang arah (α), nomor wesel dan kecepatan ijin dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 : Nomor wesel dan kecepatan ijinnya (Peraturan Dinas No.10, 1986)

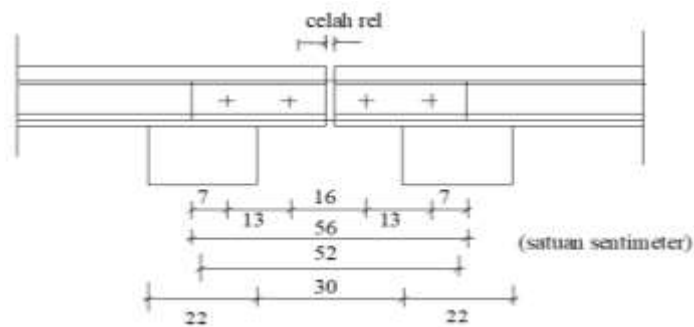
tg. A	1:8	1:10	1:12	1:14	1:16	1:20
No. wesel	W 8	W 10	W 12	W 14	W 16	W 20
Kecepatan ijin (km/jam)	25	35	45	50	60	70

2.5. Sambungan Rel

Sambungan rel adalah konstruksi yang mengikat dua ujung rel sedemikian rupa sehingga operasi kereta api tetap aman dan nyaman. Sambungan ini adalah sambungan yang menggunakan pelat penyambung dan baut-mur.

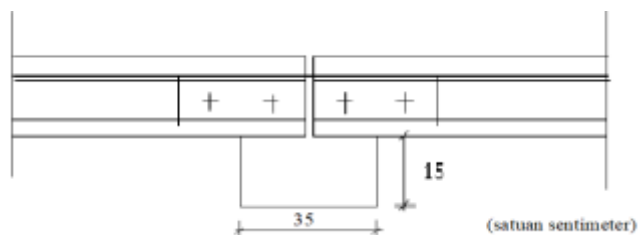
Sambungan dari kedudukan terhadap bantalan dibedakan dua macam sambungan rel, yaitu :

1. Sambungan melayang



Gambar 2.22. Sambungan melayang. (Peraturan Dinas No.10, 1986)

2. Sambungan menumpu



Gambar 2.23. Sambungan menumpu. (Peraturan Dinas No.10, 1986)

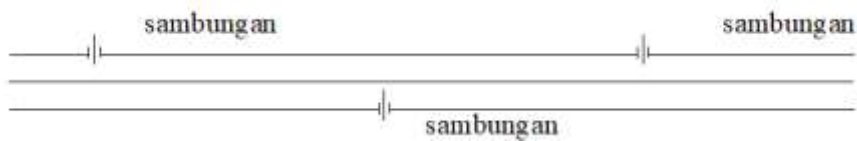
Penempatan sambungan di sepur ada dua macam yaitu :

1. Penempatan secara siku (gambar 2.24) dimana kedua sambungan berada pada satu garis yang tegak lurus terhadap sumbu sepur.

2. Penempatan secara berselang-seling (gambar 2.25) dimana kedua sambungan rel tidak berada pada satu garis yang tegak lurus terhadap sumbu sepur.



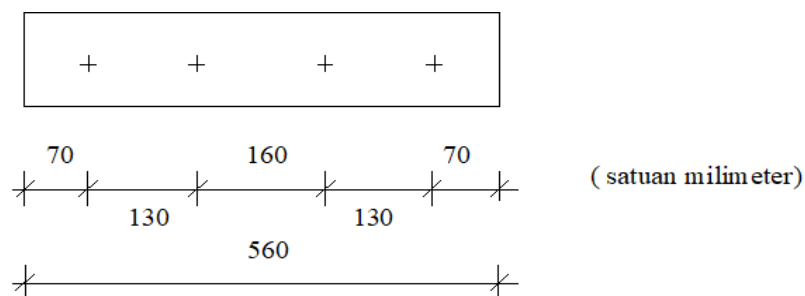
Gambar 2.24. Sambungan siku. (Peraturan Dinas No.10, 1986)



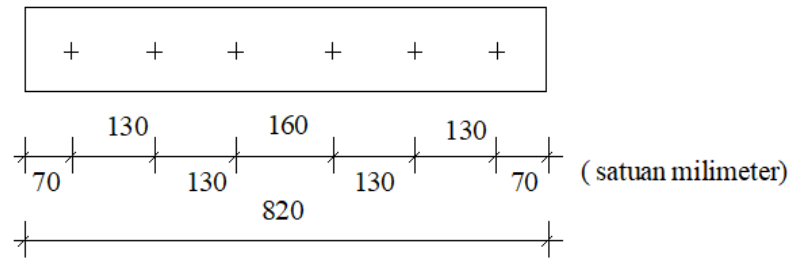
Gambar 2.25. Sambungan berselang-seling. (Peraturan Dinas No.10, 1986)

2.5.1. Plat Sambung Rel

Sepasang pelat penyambung harus sama panjang dan mempunyai ukuran yang sama. Bidang singgung antara pelat penyambung dengan sisi bawah kepala rel dan sisi atas kaki rel harus sesuai kemiringan, agar didapat bidang geser yang cukup. Baut pelat sambung harus dipenuhi seluruhnya, sekurang-kurangnya 4 buah baut per pelat sambung.



Gambar 2.26. Pelat penyambung untuk rel R.42, R.50 dan R.54. \emptyset lubang 24 mm tebal pelat 20 mm tinggi disesuaikan dengan masing-masing rel. (Peraturan Dinas No.10, 1986)



Gambar 2.27. Pelat penyambung untuk rel R.60. \varnothing lubang 25 mm tebal pelat 20 mm. (Peraturan Dinas No.10, 1986)

2.5.2. Suhu Pemasangan Rel

Yang dimaksud dengan suhu pemasangan adalah suhu rel waktu pemasangan.

Tabel 2.8 : Batas suhu pemasangan rel standard dan rel pendek (Peraturan Dinas No.10, 1986)

Panjang Rel (m)	Suhu (°C)	
	Min.	Max.
25	20	44
50	20	42
75	26	40
100	30	40

2.6. Stasiun

Moda transportasi kereta api dalam menjalankan fungsinya selain memerlukan ketersediaan jalan rel dan kendaraan jalan rel (lokomotif dan kereta/gerbong) juga memerlukan fasilitas untuk:

1. Memberikan pelayanan naik dan turunnya penumpang
2. Tempat muat dan bongkar barang angkutan
3. Menyusun lokomotif/kereta/gerbong menjadi rangkaian yang dikehendaki, dan menyimpan kereta
4. Memberikan kemungkinan dan kesempatan terhadap kereta api untuk berpapasan dan menyalip
5. Pemeliharaan dan perbaikan jalan rel

Stasiun dapat dikategorikan menurut fungsi, ukuran, letak, dan bentuknya yang akan diuraikan sebagai berikut.

1. Stasiun menurut fungsi

Berdasarkan atas fungsinya stasiun dapat dibedakan atas:

- a) Stasiun penumpang, yaitu untuk naik dan turunnya penumpang, memuat dan menurunkan barang yang dibawa penumpang (bagasi).
- b) Stasiun barang, berfungsi untuk bongkar muat barang-barang muatan.
- c) Stasiun langkiran, berfungsi untuk menyusun rangkaian kereta api.

2. Stasiun menurut ukuran

Menurut ukuran stasiun dapat dibedakan atas:

a) Stasiun kecil

Kereta api antar kota tidak berhenti di stasiun kecil. Stasiun seperti ini terutama untuk melayani penumpang lokal. Meskipun demikian stasiun kecil dapat menerima dan mengirimkan barang. Untuk memberikan fasilitas kereta api dapat bersusulan atau berpapasan, pada stasiun kecil terdapat dua tiga track jalan rel.

b) Stasiun sedang

Umumnya terdapat di kota kecil. Apabila dipandang perlu kereta api antar kota untuk berhenti, di stasiun sedang terdapat jalan rel yang jumlahnya relatif lebih banyak dibanding stasiun kecil.

c) Stasiun besar

Stasiun besar biasanya terdapat di kota besar, semua kereta api berhenti di stasiun ini. Stasiun besar ini melayani banyak sekali kereta api yang datang dan berangkat, sehingga diperlukan pula banyak jalan rel.

3. Stasiun menurut letak

Menurut letaknya terdapat empat jenis stasiun, yaitu:

- a) Stasiun akhir, merupakan tempat mulai dan berakhirnya jalan rel.
- b) Stasiun antara, terletak pada jalan rel yang menerus.

- c) Stasiun pertemuan, yaitu merupakan kombinasi dari stasiun akhir dan stasiun antara. Dapat juga dikatakan bahwa stasiun pertemuan ialah stasiun yang menghubungkan tiga jurusan.
- d) Stasiun persilangan, terletak di persilangan dua jalan rel.

2.7. Emplasemen

Emplasemen adalah bagian dari kompleks stasiun yang berupa lapangan terbuka dan terdapat susunan jalan-jalan rel kereta api beserta kelengkapannya. Selain itu dapat diartikan bahwa emplasemen adalah konfigurasi sepur-sepur untuk suatu tujuan tertentu, yaitu menyusun kereta atau gerbong menjadi rangkaian yang dikehendaki dan menyimpannya pada waktu tidak digunakan.

Terdapat beberapa tipe emplasemen, diantaranya:

1. Emplasemen stasiun/penumpang

Emplasemen penumpang yang gunanya untuk memberi kesempatan kepada penumpang untuk membeli karcis, menunggu datangnya kereta api sampai naik ke kereta api melalui peron.

2. Emplasemen Barang

Khusus melayani pengiriman dan penerimaan barang dan letaknya dekat dengan daerah industri, perniagaan, dan lalu lintas umum.

3. Emplasemen langsir

Kereta api barang dari semua jurusan yang menuju ke emplasemen langsir gerbong-gerbongnya dipisah-pisahkan dalam kelompok-kelompok menurut jurusan dan tempat tujuannya.

4. Emplasemen penyusun/depo kereta

Tempat untuk membersihkan, memeriksa, memperbaiki kerusakan kecil dan melengkapi kereta-kereta kembali menjadi rangkaian kereta api untuk disiapkan di sepur berangkat berangkat di emplasemen penumpang pada saat kereta api mulai atau mengakhiri perjalanannya.

5. Emplasemen depo lokomotif

Untuk kebutuhan lokomotif-lokomotif yang menginap.

6. Emplasemen Pelabuhan

Terdiri dari dua jurusan, yaitu dari daerah pedalaman ke pangkalan sebaliknya.

2.8. Persinyalan Kereta Api

Sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.10 Tahun 2011 pasal 1 menerangkan bahwa peralatan persinyalan perkeretaapian merupakan fasilitas pengoperasian kereta api yang berfungsi memberi petunjuk atau isyarat yang berupa bentuk, warna atau cahaya dengan arti tertentu yang dipasang pada tempat tertentu untuk mengatur dan mengontrol pengoperasian kereta api.

Persinyalan kereta api juga diartikan sebagai sebuah sistem yang digunakan untuk mengatur lalu lintas transportasi rel dan menjaga jarak aman antar kereta api. Pemakaian persinyalan kereta api dimaksudkan agar sistem transportasi rel bekerja dengan tetap mematuhi keamanan dan keselamatan kerja serta bekerja secara efisien dan efektif.

Peralatan persinyalan sebagaimana dimaksud dalam pasal 1 terdiri atas:

1. Sinyal

Sinyal adalah alat atau perangkat yang digunakan untuk menyampaikan perintah bagi pengaturan perjalanan kereta api dengan peragaan dan/atau warna/ cahaya.

2. Tanda/Semboyan

Tanda/Semboyan adalah isyarat yang berfungsi untuk memberi peringatan atau petunjuk kepada petugas yang mengendalikan pergerakan sarana kereta api.

3. Marka

Marka adalah tanda berupa gambar atau tulisan yang berfungsi sebagai peringatan atau petunjuk tentang kondisi tertentu pada suatu tempat yang terkait dengan perjalanan kereta api.

4. Peralatan Pendukung

Peralatan pendukung adalah peralatan pengendali, pengawasan dan pengamanan perjalanan kereta api.

Persinyalan terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Persinyalan elektrik

Persinyalan elektrik adalah isyarat lampu seperti halnya lampu lalu lintas untuk mengatur jalan/tidak jalannya kereta api.

2. Persinyalan mekanik

Persinyalan mekanik adalah perangkat sinyal yang digerakkan secara mekanik/manual, dengan menggunakan lengan semapur yang dinaikkan atau diturunkan untuk memberi perintah kepada masinis kereta api.

2.9. Penelitian Terdahulu

2.9.1. Perencanaan Jalur Lintasan Kereta Api Dengan Wesel Tipe R54 Pada Emplasemen Stasiun Antara Pasuruan – Jember (KM 62+976 – KM 197+285) (Suryo Wahyu Pranoto, 2013)

Saat ini pada lintas Pasuruan – Jember kondisi existing wesel di emplasemen masih menggunakan wesel dengan tipe R25, R33, dan R42 dengan sudut 1:10, maka harus direncanakan untuk mengganti wesel tersebut menggunakan wesel dengan tipe rel R54 sudut 1:12 untuk meningkatkan mutu pelayanan transportasi kereta api.

Setelah melakukan analisa data dan perhitungan terhadap perencanaan wesel tipe R54 maka diketahui bahwa rel tipe R54 mampu dan aman untuk digunakan, karena mampu menumpu beban operasional kereta api yang terberat yaitu lokomotif sebesar 7 ton, serta menggunakan plat sambungan tipe fish bold plate yang dapat menahan tegangan tarik sebesar 34937 kg, tegangan geser baut sebesar 773,67 kg, dan tegangan tarik baut sebesar 157,15 kg.

Untuk perencanaan geometri wesel secara keseluruhan juga aman digunakan, karena salah satu persyaratan wesel yaitu jarak antar lidah ke rel lantak sepanjang 4,22m harus lebih pendek dari panjang lidah itu sendiri yaitu 15,92m.

Kebutuhan lintas double track sangat diperlukan pada tahun 2023, karena pada 10 tahun mendatang kapasitas lintas Pasuruan – Jember tidak dapat memenuhi kebutuhan frekuensi kereta api yang beroperasi dengan asumsi adalah 65 KA/hari, sedangkan kapasitas lintas yang disediakan hanya 51 KA/hari.

2.9.2. Perencanaan Jalur Lintasan Kereta Api Dengan Wesel Tipe R54 Pada Stasiun Prupuk (Arifin Firmansyah, 2020)

Beberapa tahun belakangan Emplasemen Stasiun Prupuk tepatnya pada Koridor PrupukPurwokerto, dimana konstruksi wesel pada emplasmennya yang dipergunakan ialah wesel tipe rel R54, R33, dan R42 dengan sudut persilangan 1:10 dan 1:12, dengan bertambahnya mutu pelayanan perlintasan kereta api beberapa tahun terakhir ini, maka diperlukannya perencanaan wesel baru demi keamanan dan kenyamanan perlintasan tersebut, maka itu direncanakan wesel tipe R54 dengan sudut persilangan 1:14 untuk mengganti wesel lama.

Setelah dilakukan analisa dan perhitungan, dihasilkan bahwa dapat menahan beban dari lokomotif sebesar 7 ton, maka perencanaan tersebut dapat digunakan.

Perencanaan bantalan beton tipe N-67 dengan mutu beton 500 kg/ cm² dipilih karena mampu menahan beban gandar sebesar 18 ton, fish bold plat dipilih sebagai plat sambungan rel yang mana dalam perhitungan perencanaan dapat menahan tegangan tarik plat sebesar 38442,10 kg/cm², tegangan geser baut sebesar 773,67 kg/cm², dan tegangan tarik baut sebesar 483,54 kg/cm².

Selain itu juga diperhitungkan untuk perancangan geometri wesel, dalam perhitungan perencanaan ini sudah memenuhi dan aman untuk perencanaan, dimana diketahui panjang jarum wesel senilai 2,95 m, dan panjang lidah wesel senilai 4,23 m.

2.9.3. Pengaruh Karakteristik Penumpang Terhadap Kapasitas Angkut Kereta Api Jurusan Medan – Rantau Prapat (Erifan Armanda Putra, 2017)

Transportasi yang menyangkut pergerakan orang dan barang pada hakekatnya telah dikenal secara alamiah semenjak manusia ada di bumi. Sepanjang sejarah, transportasi baik volume dan teknologinya berkembang sangat pesat. sebagai akibat dari adanya kebutuhan pergerakan manusia dan barang, maka timbullah tuntutan untuk menyediakan sarana dan prasarana agar pergerakan tersebut bisa berlangsung dalam kondisi aman dan nyaman, serta ekonomis dari segi biaya. Dan kereta api merupakan salah satu moda transportasi yang dapat menjawab itu semua dan bisa mengangkut barang dan manusia secara massal.

Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui indikator-indikator yang dapat mempengaruhi penumpang memilih kereta api sebagai moda transportasi yang digunakan. Dengan persentase sebesar 62% menyatakan bahwa kereta api moda transportasi yang selalu tepat waktu, tidak heran kenapa moda ini menjadi favorit.

Dari segi pekerjaan pelajar/mahasiswa mendominasi banyaknya penumpang dengan persentase sebesar 38%, dari segi kenyamanan sebesar 56% menyatakan semua indikator kenyamanan yang dimiliki sebagai alasan mereka memilih kereta api sebagai transportasi favorit, dengan resiko kecelakaan kecil penyebab penumpang memilih kereta api sebagai moda transportasi dengan persentase responden sebesar 33%, dan tujuan pulang kampung merupakan alasan mereka melakukan perjalanan dengan persentase sebesar 46% dari 100% selebihnya memiliki alasan beragam.

BAB 3

METODE PENELITIAN

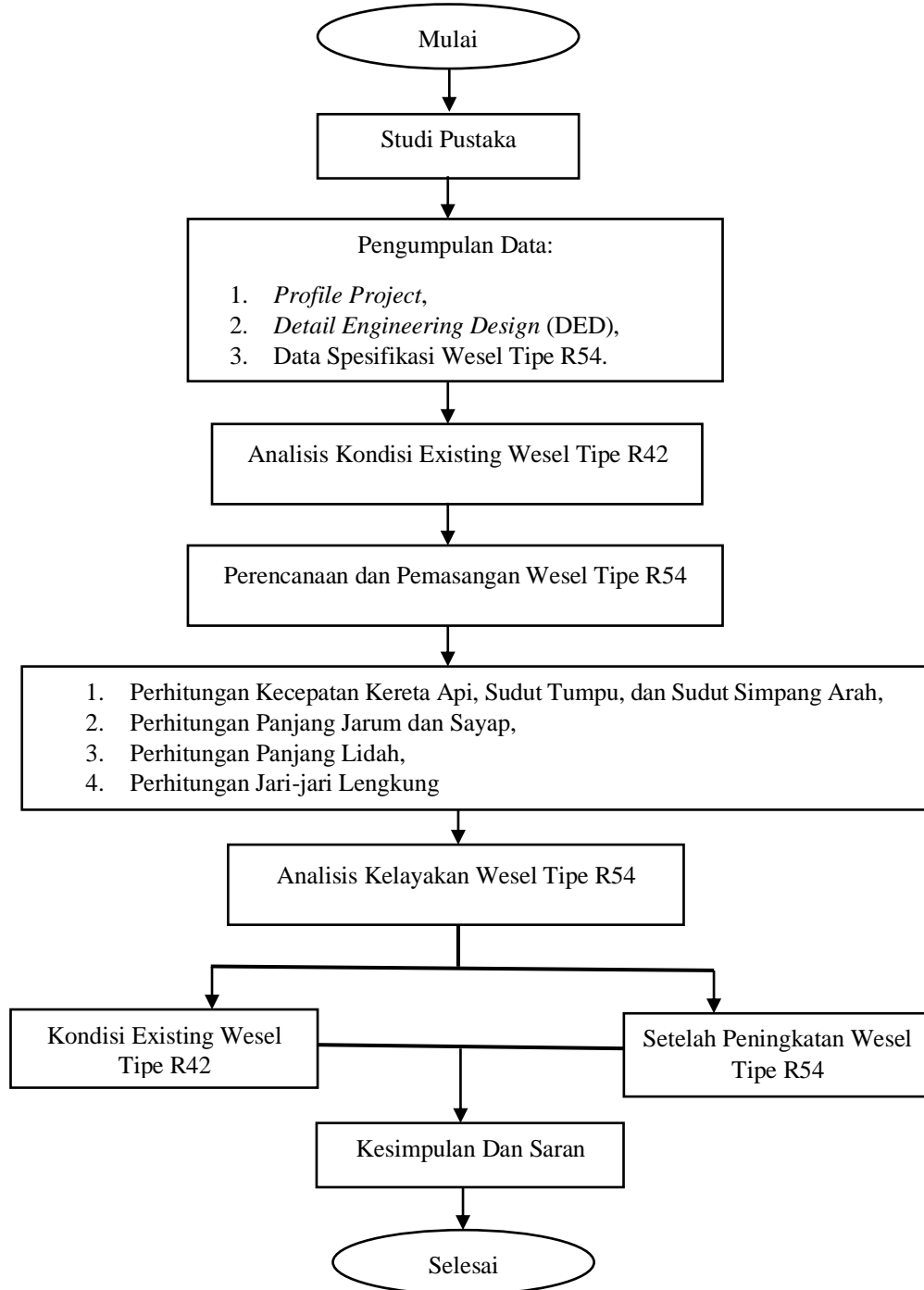
3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Balai Teknik Perkeretaapian kelas I wilayah Sumatera Bagian Utara untuk lintas stasiun Kisaran – stasiun Mambang Muda. Stasiun Kisaran adalah stasiun kereta api kelas besar tipe C yang terletak di perbatasan kelurahan Kisaran baru dan Mekar baru, kota Kisaran Barat, Asahan. Stasiun yang terletak pada ketinggian +19,87 meter ini termasuk dalam Divisi Regional I Sumatera Utara dan Aceh serta merupakan stasiun utama di Kabupaten Asahan. Sedangkan stasiun Mambang Muda adalah stasiun kereta api kelas II yang terletak di Aek Kanopan Timur, Kualuh Hulu, Labuanbatu Utara. Stasiun yang terletak pada ketinggian +27,50 meter ini termasuk dalam Divisi Regional I Sumatera Utara dan Aceh.



Gambar 3.1. Lokasi penelitian. (Google maps)

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian

3.4. Parameter Desain

Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api

Sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor : PM.60 Tahun 2012
bahwasanya :

1. Persyaratan Komponen,

Jalan rel terdiri atas beberapa komponen:

- a) Badan jalan;
- b) Sub balas ;
- c) Balas ;
- d) Bantalan;
- e) Alat Penambat;
- f) Rel; dan
- g) Wesel.

2. Wesel

Wesel merupakan konstruksi jalan rel yang paling rumit dengan beberapa persyaratan dan ketentuan pokok yang harus dipatuhi.

Untuk pembuatan komponen-komponen wesel yang penting khususnya mengenai komposisi kimia dari bahannya.

Persyaratan wesel adalah sebagai berikut:

- a) Kandungan mangan (Mn) pada jarum mono blok harus berada dalam rentang (11-14) %.
- b) Kekerasan pada lidah dan bagian lainnya sekurang-kurangnya sama dengan kekerasan rel.
- c) Celah antara lidah dan rel lantak harus kurang dari 3 mm.
- d) Celah antara lidah wesel dan rel lantak pada posisi terbuka tidak boleh kurang dari 125 mm.
- e) Celah (gap) antara rel lantak dan rel paksa pada ujung jarum 34 mm.

- f) Jarak antara jarum dan rel paksa (*check rail*) untuk lebar jalan rel 1067 mm:
 - Untuk wesel rel R54 paling kecil 1031 mm dan paling besar 1043 mm.
 - Untuk wesel jenis rel yang lain, disesuaikan dengan kondisi wesel.
- g) Pelebaran jalan rel di bagian lengkung dalam wesel harus memenuhi peraturan radius lengkung.
- h) Desain wesel harus disesuaikan dengan system penguncian wesel.

3.5. Perancangan Wesel

Spesifikasi teknis wesel R.54 untuk lebar jalan rel 1067 mm profil rel 54E1

1. Ruang lingkup:
 - a. Spesifikasi teknis ini menentukan persyaratan teknis untuk proses produksi, inspeksi/pemeriksaan dan pengujian komponen – komponen wesel dalam menjamin keselamatan dan kenyamanan pengoperasian kereta api;
 - b. Bagian ini mencakup persyaratan pengadaan dan tipe wesel yang digunakan termasuk kelengkapannya, persyaratan untuk pengadaan wesel, serta hal hal yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan track di lokasi yang ditunjukkan pada gambar;
 - c. Pabrikan dan penyedia harus bertanggung jawab untuk menentukan dan menyediakan kuantitas bahan yang diperlukan untuk pekerjaan yang akan dikerjakan sesuai yang tercantum dalam gambar teknis;
 - d. Sebelum dilakukan pengadaan, desain wesel harus mendapatkan persetujuan dari Direktorat Teknis;
 - e. Pabrikan dan penyedia menyerahkan Detailed Design Drawing wesel kepada Pejabat Penandatanganan Kontrak/ PPK;
 - f. Pabrikan bertanggung jawab atas pelaksanaan pengujian pada komponen wesel;
 - g. Pengujian dapat dilaksanakan di Badan Uji Independen/ Laboratorium Pabrikan yang sudah memiliki Akreditasi Internasional/ Sertifikat ISO;
 - h. Pabrikan dan penyedia bertanggung jawab atas pelaksanaan pengujian material, perakitan dan pengiriman barang;
 - i. Pabrikan melaksanakan instalasi di pabrikan;

- j. Pabrikan dan Penyedia melaksanakan pelatihan dan simulasi di lapangan untuk pemasangan dan perawatan wesel;
 - k. Pabrikan dan Penyedia melaksanakan pengujian material, supervise dan inspeksi, jaminan mutu serta pengiriman barang ke tempat yang telah ditentukan;
 - l. Pabrikan melaksanakan garansi mutu dan ketersediaan suku cadang selama lima tahun setelah Berita Acara Serah Terima;
 - m. Pabrikan memiliki dokumen yang menyatakan telah memiliki sertifikat tipe wesel dan rel dari badan independen yang terakreditasi atau hasil uji yang disahkan oleh Badan Akreditasi Independen International dan sesuai dengan standar spesifikasi teknis yang dipersyaratkan.
2. Jaminan dan pengendalian mutu:
- a. Sebelum dilakukan pengadaan wesel dan bantalan beton dipersyaratkan untuk mendapat persetujuan desain dari Direktorat Prasarana Perkeretaapian;
 - b. Pabrikan wajib membuat surat pernyataan bahwa dalam pengadaan wesel dengan menggunakan bantalan beton/ bantalan sintesis FFU/ bantalan plastik harus didesain untuk masa pemakaian (umur ekonomis) dan menjamin ketersediaan suku cadang sekurang-kurangnya selama 30 tahun;
 - c. Pabrikan harus memenuhi persyaratan ISO 9001:2008 dan memiliki sertifikat ISO 9001:2008, OHSAS 18001 dan ISO 14001 yang masih berlaku;
 - d. Material yang disupply harus sesuai dengan spesifikasi teknis yang dipersyaratkan, apabila material yang disupply tidak sesuai dengan Spesifikasi Teknis maka Pabrikan dan Penyedia akan dikenakan daftar hitam (black list) oleh Kementerian Perhubungan;
 - e. Pabrikan harus memiliki dan menyerahkan salinan sertifikasi keselamatan dari badan independent atau dari negara produsen bahwa produk yang akan dibuat telah mencukupi aspek keselamatan dan atau dapat dipergunakan untuk kereta penumpang maupun barang.

3. Kriteria desain:

- a. Lebar jalan rel 1067 mm;
- b. Beban gandar maksimum 18 ton;
- c. Pada keseluruhan layout wesel, cant = 0;
- d. Toleransi jarak antar bantalan adalah ± 10 mm;
- e. Bantalan yang dapat digunakan adalah bantalan beton/ bantalan sintetis FFU/ bantalan plastik;
- f. Layout dari bantalan wesel dapat digunakan untuk wesel kanan maupun wesel kiri;
- g. Kecepatan desain wesel:

Pada wesel 1:10 dengan $R = 195$ m, V yang diperkenankan $\max = 2,47\sqrt{R}$
 $= 2,47\sqrt{195} = 35$ km/jam untuk sepur belok.

Tabel 3.1 : Kecepatan Desain Wesel (spesifikasi teknis wesel R.54, 2022)

Geometri wesel (tangen)	Kecepatan		Radius
	Jalur lurus	Jalur belok	
1 : 12 th	120 km/jam	45 km/jam	Maksimum R300
1 : 10 th	120 km/jam	35 km/jam	Maksimum R195

- h. Wesel dapat dilanggar (*trailable*) dan menggunakan penguncian dalam point machine (pada saat tiba di indonesia harus dilakukan uji langgar);
- i. Connecting rod tidak digunakan;
- j. Desain rel lidah (switch rail) adalah tengensial dan fleksibel;
- k. Tidak diperkenankan terdapat sambungan las di sepanjang area fleksible dari rel lidah wesel (switch rail);
- l. Sambungan dari rel lidah (switch rail) ke rel lantak (closure rail) menggunakan fishplate;
- m. Rel lidah (switch rail) dapat dioperasikan secara normal dengan menggunakan satu lengan point machine dengan kekuatan dorong minimal 5000 N;
- n. Desain rel paksa (check rail) dapat mengakomodir penyesuaian arah lateral menggunakan shim (saat instalasi dan pengoperasian);
- o. Ukuran shim 2 – 3 mm dengan pemasangan maksimal 10 mm;

- p. Mudah dalam pengoperasian dan perawatan dalam area ke jalur lurus maupun jalur belok;
- q. Sebelum proses pengiriman, rel lantak (*closure rail*), rel paksa (*check rail*), rel lidah (*switch rail*) dan jarum (*frog*) wajib menggunakan coating (pelapis) anti karat;
- r. Rel lantak (*closure rail*), rel paksa (*check rail*), rel lidah (*switch rail*), jarum (*frog*), bantalan dan sistem penambat sudah terpasang dan beroperasi minimal selama 5 tahun dalam angkutan penumpang dan/atau angkutan barang;
- s. Pabrikan wajib menyerahkan daftar komponen dan sub-komponen dari wesel dan menyertakan referensi dengan standar EN atau standar JIS dan ISO yang relevan dengan standar EN kepada Pejabat Penandatanganan Kontrak/PPK dan dibuktikan dengan sertifikat standar tersebut.

4. Persyaratan teknis:

4.1. Material

- a. Komponen wesel yang dimaksud dalam spesifikasi teknis ini meliputi rel lantak (*closure rail*), rel paksa (*check rail*), rel lidah (*switch rail*), dan jarum (*frog*);
- b. Semua komponen yang digunakan harus diperiksa oleh Pabrikan menggunakan standar yang tercantum dalam spesifikasi teknis;
- c. Rel lantak (*closure rail*), rel paksa (*check rail*), rel lidah (*switch rail*), dan jarum (*frog*) di produksi pada tahun pengadaan yang sama (marking tahun produksi menggunakan pelat besi);
- d. Semua komponen harus menggunakan bahan/ material dan standar teknis yang sesuai dengan spesifikasi teknis. Adapun material khusus yang diperlukan dan tidak disebutkan di spesifikasi ini, maka harus memiliki standar umum yang relevan dengan EN, JIS dan ISO dan kualitasnya harus disesuaikan dengan spesifikasi yang berlaku serta harus diserahkan ke Pejabat Penandatanganan Kontrak/PPK untuk mendapatkan persetujuan.

4.1.1. Komponen

a. Rel

- 1) Rel Lantak (*stock/closure/running rails*):
 - a) Profil rel 54E1 dengan kelas baja (*steel grade*) 350HT;
 - b) Proses produksi, inspeksi/ pemeriksaan dan pengujian dilakukan sesuai dengan EN 13674 – 1;
 - c) Pengujian dilakukan oleh Badan Uji Independen/ Laboratorium Pabrik yang sudah memiliki Akreditasi Internasional/Sertifikat ISO;
 - d) Laporan hasil uji disampaikan kepada Pejabat Penandatangan Kontrak/PPK.
- 2) Rel Paksa (*check rail*):
 - a) Profil rel 33C1 dengan steel grade R320Cr;
 - b) Proses produksi, inspeksi/ pemeriksaan dan pengujian dilakukan sesuai dengan EN 13674 – 3;
 - c) Pengujian dilakukan oleh Badan Uji Independen/ Laboratorium Pabrik yang sudah memiliki Akreditasi Internasional/Sertifikat ISO;
 - d) Laporan hasil uji agar disampaikan kepada Pejabat Penandatangan Kontrak/PPK.
- 3) Rel Lidah (*Switch rail*):
 - a) Profil rel asimetris 54E1A1 dibentuk (*forged*) pada ujung (*heel end*) untuk menyesuaikan dengan rel profil 54E1 (*flat bottomed rail*) dan sesuai dengan persyaratan pada EN 16273;
 - b) Steel grade R350HT;
 - c) Proses produksi, pemeriksaan/ inspeksi dan pengujian sesuai dengan EN 13674-2;
 - d) Pengujian dilakukan oleh Badan Uji Independen/ Laboratorium Pabrik yang sudah memiliki Akreditasi Internasional/Sertifikat ISO;
 - e) Laporan hasil uji agar disampaikan kepada Pejabat Penandatangan Kontrak/PPK.

b. Jarum (*Frog*)

- 1) Jarum dibuat dari *monoblock high cast austenitic manganese steel*;
- 2) Proses produksi, pemeriksaan/ inspeksi dan pengujian sesuai dengan EN 15689;
- 3) Selain pengujian pada poin 2, pengujian tensile strength, elongation dan hardness di sub-surface dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 3.2 : Karakteristik dan material jarum (spesifikasi teknis wesel R.54, 2022)

<i>Tensile Strength</i>	Min. 800 MPa
<i>Elongation</i>	Min. 40%
<i>Surface Hardness on the running surface, down to 10 mm on the gauge corner</i>	Min. 321 HBW
<i>The Sub-surface hardness at a depth of 5 mm</i>	Min. 280 HBW

- 4) Pengujian dilakukan oleh Badan Uji Independen/ Laboratorium Pabrik yang sudah memiliki Akreditasi Internasional/Sertifikat ISO;
- 5) Laporan hasil uji agar disampaikan kepada Pejabat Penandatangan Kontrak/PPK;
- 6) Penyambungan antara jarum dengan “rel antara” harus menggunakan las flashbutt di Pabrik. “Rel antara” adalah potongan rel yang memisahkan jarum dengan rel utama;
- 7) Proses pengelasan, pemeriksaan/ inspeksi dan pengujian las pada poin 6 dilakukan mengacu pada EN 14587 – 3;
- 8) Pengujian las flashbutt dilakukan oleh Badan uji independent/Laboratorium Pabrik yang sudah memiliki Akreditasi Internasional/Sertifikat ISO;
- 9) Laporan hasil uji las flashbutt agar disampaikan kepada Pejabat Penandatangan Kontrak/PPK.

c. Sistem Penambat

- 1) Tipe sistem penambat yang digunakan adalah tipe elastis;
- 2) Sistem penambat dapat menggunakan baseplate (*indirect fastening system*) atau tanpa baseplate (*direct fastening system*);
- 3) Jika sistem penambat menggunakan baseplate, material baseplate terbuat dari cast iron sesuai dengan JIS G5502 grade FCD-400-18 atau DIN 1693 grade GGG- 40;
- 4) Penyedia melampirkan hasil pengujian material dari komponen sistem penambat;
- 5) Jenis pengujian sistem penambat memenuhi persyaratan dalam EN 13481;
- 6) Metode pengujian sistem penambat dilakukan sesuai EN 13146;
- 7) Pengujian dilakukan oleh Badan Uji Independen/ Laboratorium Pabrikasi yang sudah memiliki Akreditasi Internasional/Sertifikat ISO;
- 8) Laporan hasil uji agar disampaikan kepada Pejabat Penandatanganan Kontrak/PPK.

d. Bantalan pada Wesel

- 1) Untuk bantalan wesel yang terbuat dari beton, proses produksi, inspeksi/ pemeriksaan dan pengujian dilakukan sesuai dengan EN 13230 – 1 dan EN 13230 – 4;
- 2) Untuk bantalan sintetis FFU, proses produksi, inspeksi/ pemeriksaan dan pengujian dilakukan sesuai dengan JIS E 1203;
- 3) Untuk bantalan plastik proses produksi, inspeksi/ pemeriksaan dan pengujian dilakukan sesuai dengan EN 12856;
- 4) Pengujian dilakukan oleh Badan Uji Independen/ Laboratorium Pabrikasi yang sudah memiliki Akreditasi Internasional/Sertifikat ISO;
- 5) Laporan hasil uji agar disampaikan kepada Pejabat Penandatanganan Kontrak/PPK.

4.1.2. Pemeriksaan dan Toleransi

- a. Pemeriksaan dan toleransi geometri dilakukan sekurang – kurangnya meliputi:

Tabel 3.3 : Ukuran dan Toleransi Jarum dan Lidah (spesifikasi teknis wesel R.54, 2022)

Bagian	Ukuran	Toleransi
1) Jarum		Sesuai EN 13232
(a) Jarak antara rel paksa ke rel lantak	34 mm	
(b) Tinggi antara rel paksa dan rel lantak	12 mm	
(c) <i>Guard rail gauge</i> , diukur 200 mm dari ujung jarum	1033 mm	
2) Lidah		
(a) Keadaan terbuka	125 mm	
(b) Keadaan tertutup	0 mm	

- b. Pemeriksaan pada parameter lain diluar poin a, mengacu kepada Standard Operational Procedure (SOP) Pemeriksaan material dan perakitan;
- c. Pemeriksaan ukuran di wesel mengacu pada gambar Shop Drawing.

4.2. Pemeriksaan

4.2.1. Pemeriksaan Material

- a. Uji penerimaan dapat dilakukan pada saat proses produksi berlangsung atau dapat dilakukan setelah proses produksi selesai dalam pengawasan Pejabat Penandatangan Kontrak/PPK;
- b. Benda uji dipersiapkan dalam bentuk spesimen (rel lantak, rel paksa, rel lidah dan jarum);
- c. Benda uji yang dimaksudkan harus ditandai di bawah pengawasan Pejabat Penandatangan Kontrak/PPK;
- d. Benda uji harus dipersiapkan dalam keadaan dingin (cold state) dan tidak boleh dipalu atau mengalami deformasi (cold deformation) atau pengerasan atau annealing;

- e. Pengujian dilakukan di badan uji independent/ Laboratorium Pabrikan yang sudah memiliki Akreditasi Internasional/Sertifikat ISO;
- f. Semua alat uji yang digunakan harus terkalibrasi dengan masa kalibrasi masih berlaku;
- g. Mill certificate dan laporan hasil pengujian harus dikirimkan ke Pejabat Penandatangan Kontrak/PPK;
- h. Hasil inspeksi/ pemeriksaan harus didokumentasikan dan dituangkan dalam berita acara;
- i. Seluruh biaya yang terkait dengan proses pengujian ditanggung oleh Penyedia, termasuk proses pengawasan yang melewati waktu yang seharusnya.

4.2.2. Pemeriksaan Perakitan

- a. Uji perakitan harus dilakukan sebelum pengiriman;
- b. Wesel di rakit di Pabrikan untuk keperluan pemeriksaan;
- c. Pabrikan wajib bertanggung jawab terhadap perakitan dan pemeriksaan di pabrik;
- d. Tim pemeriksa akan melakukan pemeriksaan terhadap wesel yang dirakit sesuai dengan spesifikasi teknis. Ketidaksesuaian dengan spesifikasi teknis akan menyebabkan wesel ditolak;
- e. Jika Wesel menggunakan bantalan beton produksi Indonesia, Setelah wesel tiba di Indonesia dilakukan uji perakitan di site atau lokasi lain yang memungkinkan untuk menyesuaikan dengan bantalan beton yang diproduksi di Indonesia;
- f. Penyedia wajib bertanggungjawab terhadap perakitan dan pemeriksaan di site;
- g. Hasil inspeksi/ pemeriksaan perakitan di pabrikan maupun di site (Indonesia) harus didokumentasikan dan dituangkan dalam berita acara.

4.2.3. Standard Operational Procedure (SOP)

Standard Operational Procedure (SOP) pemeriksaan material dan perakitan serta pengujian dan pemeriksaan di Pabrikan, Pelabuhan dan tempat

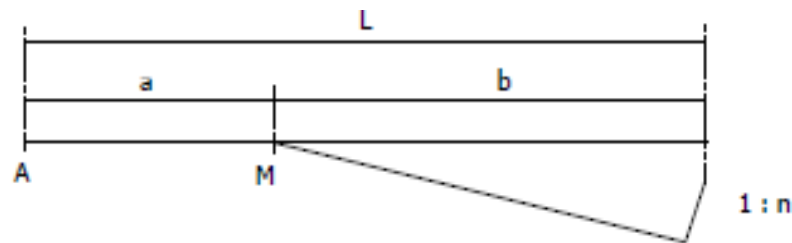
penumpukkan akhir merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Spesifikasi Teknis ini.

5. Bagan wesel

Dalam gambar-gambar rencana untuk pelaksanaan pembangunan, wesel-wesel biasanya Digambar hanya menurut bagannya.

a. Bagan ukuran

Bagan ukuran menjelaskan ukuran-ukuran wesel dan dapat digunakan untuk menggambar bagan emplasemen secara berskala.



Gambar 3.4. Bagan Ukuran Wesel.

Keterangan:

M = Titik tengah wesel = titik potong antara sumbu sepur lurus dengan sumbu sepur belok.

A = Permulaan wesel = tempat sambungan rel lantak dengan rel biasa.
Jarak dari A ke ujung lidah biasanya kira-kira 1000 mm.

B = Akhir wesel = sisi belakang jarum.

n = Nomor wesel.

6. Pemilihan wesel

Pemilihan wesel didasarkan pada kebutuhan pelayanan dengan memperlihatkan ketidaksediaan lahan, kecepatan, biaya pembangunan serta pemeliharaan.

7. Perawatan wesel

a. Wesel adalah bagian dari jalan KA yang merupakan titik rawan pada KA, maka harus diperhatikan dengan seksama pemeliharannya agar:

- 1) Semua komponen wesel harus pada posisi yang benar, tidak rusak dan aman dilalui KA.
- 2) Agar sedini mungkin diketahui setiap ada penyimpangan, kerusakan, kekurangan komponen cepat diatasi.

b. Ruang lingkup perawatan:

- 1) Bagian Lidah (Rel Lantak, Lidah, Stang Penghubung / Kopel, Stang Penarik, Klaw, Bandul, Sekat Wesel, Akar Lidah, Peluncur Lidah, Baut Tangen, Bantalan dari Ujung Lidah s/d Akar Lidah).
- 2) Bagian Jarum (Jarum, Rel Sayap, Rel Paksa, Klos Jarum Rel Paksa, Baut Jarum Rel Paksa, Bantalan Wesel dari Akar Lidah s/d Belakang Jarum, Plat-Plat Andas).

c. Alat-alat yang digunakan untuk pemeriksaan/ revisi wesel adalah sebagai berikut:

- 1) Dongkrak
- 2) Alat Ukur Elevasi
- 3) Meteran
- 4) HTT

d. Personil yang dibutuhkan:

- 1) Mandor
- 2) Tukang
- 3) Pekerja

e. Tata cara perawatan:

- 1) Bagian lidah wesel
 - Pengukuran terhadap jarak lidah terbuka dengan rel lantak.
 - Kedudukan klaw harus siku dengan kedudukan keiseinnya.
 - Kedudukan kedua ujung lidah dan kedua ujung rel lantak harus siku.

- Kedudukan kaki lidah wesel harus selalu rapat dengan plat peluncurnya.
 - Lebar sepur diujung lidah dan diujung rel lantak harus sesuai dengan tipe konstruksi.
 - Baut-baut tangent jangan sampai salah pasang, bila salah pasang akan mempengaruhi lebar sepur.
- 2) Bagian jarum wesel
- Pemeriksaan dimensi dan toleransi sesuai dengan yang telah ditetapkan.
- 3) Dalam melakukan perawatan wesel harus berkoordinasi dengan bagian fasilitas operasi terkait.

BAB 4

ANALISA DATA

4.1. Pembebanan Struktur Jalan Rel

Pembebanan jalan rel dan penentuan dimensi rel didasarkan pada tegangan lentur yang terjadi pada dasar rel akibat beban dinamis roda kendaraan (S_{base}). Tegangan ini tidak boleh melebihi tegangan ijin dasar rel (S_i).

Pada penelitian ini digunakan profil rel tipe R.54 dengan data-data perancangan sebagai berikut (tabel 2.1), (tabel 2.4), (tabel 2.5):

1. Kelas Jalan I dengan $V_{rencana} = 1,25 \times V_{maksimum} = 1,25 (120) = 150$ km/jam
2. Modulus kekakuan jalan rel (k) = 180 kg/cm²
3. momen inersia $I_x = 2346$ cm⁴ (tabel 2.4)
4. Modulus elastisitas rel (E) = $2,1 \times 10^6$ kg/cm²
5. Jarak tepi bawah (Y_b) = 76,20 mm = 7,62 cm (tabel 2.4)
6. Beban gandar maksimum (P_g) = 18 ton (tabel 2.1)
7. Tegangan ijin rel (σ_{ijin}) = 1325 kg/cm² (tabel 2.5)
8. Tegangan dasar rel (S_i) = 1176,8 kg/cm² (tabel 2.5)
9. Tahanan momen dasar (W_b) = $I_x/Y_b = 307,874$ cm³
10. Lokomotif jenis CC

Alur perhitungan dimensi rel akan dijelaskan menggunakan persamaan TALBOT sebagai berikut:

Perhitungan beban dinamis menggunakan persamaan TALBOT (P_d)

Beban dinamis (P_d) dihitung dengan mengkalikan beban statik gandar (P_s) dengan faktor dinamis (I_p). P_s merupakan beban roda kereta yang diperoleh dari beban statik gandar dibagi 2 (karena setiap gandar terdapat 2 komponen roda).

$$P_d = P_s \times I_p$$

$$I_p = 1 + 0,01 (V/1,609 - 5)$$

Jika berat lokomotif (W_{lok}) = 108 ton, maka ;

$$\text{Gaya bogie } (P_{bogie} = P_b) = W_{lok}/2 = 108/2 \text{ ton} = 54 \text{ ton};$$

Gaya gandar ($P_{\text{gandar}} = P_g$) = $P_b/3 = 54/3$ ton = 18 ton;

Gaya roda statis ($P_{\text{statis}} = P_s$) = $P_g/2 = 18/2$ ton = 9 ton = 9000 kg

Gaya gandar, lebih dikenal dengan beban gandar (axle load)

Lokomotif Jenis CC, lokomotif ditumpu 2 bogie, masing-masing bogie terdiri 3 gandar.

Beban aksial kereta yang bekerja pada struktur badan jalan rel dihitung menggunakan beban gandar maksimum. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, beban gandar maksimum statis yang diijinkan adalah sebesar $P_g = 18$ ton dan untuk menghitung beban roda statis (P_s) diperoleh dari beban gandar maksimum statis dibagi 2 yaitu sebesar $P_s = P_g/2 = 9$ ton. Sementara itu, dalam Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, spesifikasi kelas jalan 1, kecepatan maksimum kereta api sebesar 120 km/jam. Untuk perencanaan jalan rel digunakan V rencana 25% lebih tinggi dari kecepatan maksimum, sehingga V rencana sebesar 150 km/jam

Spesifikasi kelas jalan rel pada penelitian yaitu kelas jalan 1 dengan kecepatan rencana ($V_{\text{rencana}} = 1,25 \times V_{\text{maks}}(120 \text{ km/jam}) = 150 \text{ km/jam}$).

$$P_d = P_s \left(1 + 0,01 \left(\frac{V}{1,609} - 5 \right) \right)$$

$$P_d = 9000 \left(1 + 0,01 \left(\frac{150}{1,609} - 5 \right) \right) = 16940,30 \text{ kg}$$

Perhitungan faktor reduksi/pengurangan (*damping factor*) (λ)

Modulus kekakuan jalan rel $k = 180 \text{ kg/cm}^2$. Rel tipe R.54 dengan $E = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ dan momen inersia $I_x = 2346 \text{ cm}^4$ (tabel 2.4).

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI_x}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 2,1 \times 10^6 \times 2346}} = 0,0097761 \text{ cm}^{-1}$$

Perhitungan momen maksimum (M_a)

$$M_o = \frac{P_d}{4\lambda}$$

$$M_o = \frac{16940,30}{4 \times 0,0097761} = 433207,004 \text{ kgcm}$$

$$M_a = 0,82 \frac{P_d}{4\lambda}$$

$$M_a = 0,82 \times M_o$$

$$M_a = 0,82 \times 433207,004 = 355229,743 \text{ kgcm}$$

Perhitungan tegangan ijin jalan rel (σ)

$$\sigma = \frac{M_a \times Y_b}{I_x}$$

$$\sigma = \frac{355229,743 \times 7,62}{2346} = 1153,815 \text{ kg/cm}^2 (< 1325 \text{ kg/cm}^2) \dots \text{OK!}$$

Perhitungan tegangan dasar rel (S_{base})

$$S_{base} = \frac{M_a}{W_b}$$

$$S_{base} = \frac{355229,743}{307,874} = 1153,815 \text{ kg/cm}^2 (< 1176,8 \text{ kg/cm}^2) \dots \text{OK!}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, $\sigma < \sigma_{ijin}$ dan $S_{base} < S_i$ sehingga tipe rel R.54 dapat digunakan untuk perencanaan.

4.1.1. Perhitungan Pembebanan Berat Gandar Kereta Api

$$P = \frac{0,4}{1+\alpha} \times \frac{G}{a}$$

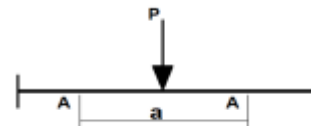
P = berat gandar lokomotif dalam ton

α = pengaruh kecepatan menurut "Varein" $\frac{V^2}{30.000}$ (V km/jam)

G = berat rel dalam kg/m (tabel 2.4)

a = jarak bantalan dalam m (tabel 2.1)

Untuk R.54, kecepatan 120 km/jam, jarak bantalan 0,60 m.



$$P = \frac{0,4}{1 + \alpha} \times \frac{54,43}{0,60} = \frac{0,4}{1 + 0,48} \times 90,7$$

$$P = \frac{36}{1,48} = \pm 24 \text{ ton},$$

Jika untuk $a = 0,80 \text{ m}$

$$P = \frac{0,4}{1 + \alpha} \times \frac{54,43}{0,80} = \frac{0,4}{1 + 0,48} \times 68$$

$$P = \frac{27}{1,48} = 18 \text{ ton}$$

Jarak pada bantalan sangat mempengaruhi besarnya P.

4.2. Perencanaan dan Penggantian Wesel

Pada perencanaan dan penggantian wesel dapat diperhitungkan dari data-data teknis yang didapat dari Balai Teknik Perkeretaapian Kelas I Medan.

4.2.1. Perencanaan Wesel

Perhitungan wesel didasarkan pada keadaan lapangan, rencana kecepatan, nomor wesel dan jenis lidah. Besar sudut tumpu (β) dan sudut simpang arah (α) dihitung / ditentukan dari nomor wesel dan jenis lidah yang dipilih. Ada 3 tahapan perhitungan, yaitu:

1. Perhitungan panjang jarum
2. Perhitungan panjang lidah
3. Perhitungan jari-jari lengkung

Dalam tahapan perhitungan tersebut diperlukan data-data teknis yaitu lebar kepala rel (C) (tabel 2.4), lebar kaki rel (B) (tabel 2.4), sudut simpang arah (α) (tabel 2.7), sudut tumpuan (β), lebar sepur (W), celah antara jarum dan ujung rel (d), kecepatan ijin pada wesel (V) (tabel 3.1).

Perancangan geometri wesel dibutuhkan untuk dapat menentukan dimensi dan ukuran wesel tersebut. Dengan menggunakan rel tipe R54 sudut 1:10, dimaksudkan perancangan wesel akan layak dan aman untuk digunakan. Berikut yang pertama yaitu perhitungan panjang jarum, perhitungan panjang jarum pada wesel tergantung

pada lebar kepala rel, kaki rel, besar celah antara jarum dan ujung rel, dan sudut simpang arah.

1. Perhitungan Panjang Jarum

a. Ketentuan dan data yang digunakan:

- 1) Nomor wesel menyatakan tangent sudut simpang arah yaitu tangent 1 : n
Tg α = 1 : 10 (tabel 2.7)
- 2) Sudut tumpu = Tg β
Tg β = 1 : m dengan m antara 25-100
Maka di dapat sudut tumpu = 1 : 30
Tg β = 1 : 30
- 3) No. Wesel W10 (tabel 2.7)
- 4) Kecepatan ijin wesel = 35 km/jam (tabel 3.1)
- 5) Tipe rel R54 (C = 70 mm dan B = 140 mm) dan bantalan rel dari beton
- 6) Jenis lidah pegas
- 7) Jarum terbuat dari baja dan celah antara jarum dan ujung rel 16 mm
- 8) Kelas jalan 1 dan jenis rel standart dengan panjang 25000 mm

b. Perhitungan sudut

$$\text{Tg } \alpha = 1:10 = 0,1 = \alpha = 5^{\circ}42'38,1'' = 5,710593$$

$$\text{Tg } \beta = 1:30 = 0,03333 = \beta = 1^{\circ}54'32,94'' = 1,909152$$

$$\sin \alpha = 0,0995, \quad \sin \beta = 0,0333$$

$$\cos \alpha = 0,9950, \quad \cos \beta = 0,9994$$

c. Hasil perhitungan panjang jarum (P)

Panjang jarum ditentukan dengan persamaan (2.19):

$$P = \frac{(B + C)}{2\text{tg}(\alpha/2)} - d$$

Dengan tipe rel R54, B = 140 mm dan C = 70 mm (tabel 2.4).

$$P = \frac{(140 + 70)}{2\text{tg}\left(\frac{5,710593}{2}\right)} - 16$$

$$P = 2089,236 \text{ mm}$$

Keterangan:

B = lebar kaki rel (tabel 2.4)

C = lebar kepala rel (tabel 2.4)

α = sudut simpang arah (tabel 2.7)

d = celah antara jarum dan ujung rel

2. Perhitungan Panjang Lidah

Pada perhitungan wesel lidah pegas diketahui panjang lidah pegas untuk tipe wesel R54 dengan sudut 1:10 adalah 11,176 m dan untuk sudut tumpu adalah 1:30. Maka data sebagai berikut:

Panjang lidah (t) = 11,176 m

Lebar kepala rel (C) = 0,07 m

Sudut tumpu (β) = 1:30

$$\text{Tg } \beta = \frac{1}{30}$$

$$\beta = \text{arc tan } \frac{1}{30}$$

$$\beta = 1,909152 \text{ derajat}$$

Pada celah antara lidah dan rel lantak harus kurang dari 3 mm pada posisi tertutup atau sebaiknya 0 mm, dan celah antara lidah wesel dan rel lantak pada posisi terbuka tidak boleh kurang dari 125 mm (tabel 3.3).

Untuk lidah berpegas panjang lidah ditentukan oleh persamaan (2.21):

$$t > C \cotg \beta$$

$$t > 0,07 \cotg 1,909152$$

$$11,176 \text{ m} > 4,364834 \text{ m}$$

$$11176 \text{ mm} > 4364,834 \text{ mm}$$

Jadi untuk panjang lidah wesel tipe R54 dengan sudut 1:10 dapat dioperasikan karena telah memenuhi persyaratan.

3. Perhitungan Jari-Jari Lengkung

Pada perhitungan jari-jari lengkung untuk tipe wesel R54 dengan sudut 1:10 adalah maksimum R195 (tabel 3.1). Maka data sebagai berikut:

Dengan W standart rel Indonesia yaitu W	= 1067 mm
Panjang lidah (t)	= 11176 mm
Panjang jarum (P)	= 2089,236 mm
$\sin \beta$	= 0,0333
$\sin \alpha$	= 0,0995
$\cos \beta$	= 0,9994
$\cos \alpha$	= 0,9950

Pada wesel 1:10 dengan $R = 195$ m, V yang diperkenankan $\max = 2,47\sqrt{R} = 2,47\sqrt{195} = 35$ km/jam untuk sepur belok.

Untuk menghitung jari-jari lengkung luar ditentukan oleh persamaan (2.22):

$$R_u = \frac{W - t \cdot \sin \beta - P \cdot \sin \alpha}{\cos \beta - \cos \alpha}$$

$$R_u = \frac{1067 - (11176 \cdot 0,0333) - (2089,236 \cdot 0,0995)}{0,9994 - 0,9950}$$

$$R_u = 110672,776 \text{ mm}$$

$$R_u = 110,672 \text{ m}$$

Cek jari-jari lengkung luar tidak boleh kurang dari R ditentukan dengan persamaan (2.23):

$$R = \frac{V^2}{7,8}$$

Dengan $V =$ kecepatan ijin pada wesel (tabel 2.7) dan (tabel 3.1)

$$V = 35 \text{ km/jam}$$

$$R = \frac{35^2}{7,8} = 157,05 \text{ m} = 157 \text{ m}$$

Maka digunakan R_u yang terbesar yaitu 157 m

4.2.2. Penggantian Wesel

Pada penggantian wesel diperlukan peralatan perlengkapan yang memadai dan sesuai Standard Operational Procedure (SOP). Berikut daftar peralatan untuk mengganti wesel dan beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggantian wesel R.42 menjadi wesel R.54 serta pelaksanaan penggeseran wesel.

1. Daftar peralatan switch over wesel R.42 menjadi wesel R.54
 - a. Peralatan sinyal

Tabel 4.1 : Peralatan pada Sinyal

No	Peralatan	Jumlah	Satuan	Keterangan
1.	Apitan lidah wesel	1	buah	Baik
2.	Kunci ring/pas	3	set	Baik
3.	Obeng min/kembang	3	set	Baik
4.	Kunci inggris	2	buah	Baik
5.	Blander potong	1	set	Baik
6.	Gergaji besi	2	buah	Baik
7.	Kikir	2	buah	Baik
8.	Gerinda	2	buah	Baik
9.	Bor listrik	2	buah	Baik
10.	Genset	1	unit	Baik
11.	Peralatan tukang batu	2	set	Baik
12.	Meteran pendek	2	buah	Baik
13.	Baut/pen stel	2	buah	Baik
14.	Cat/spidol	2	buah	Baik
15.	HT	3	buah	Baik
16.	Tambang manila	20	m	Baik

b. Peralatan wesel

Tabel 4.2 : Peralatan pada Wesel

No	Peralatan	Jumlah	Satuan	Keterangan
1.	Dongkrak pal 5/10 ton	4	buah	Baik
2.	Gol pipa/Linggis	20	buah	Baik
3.	Besi as ϕ 45 mm, p = 50 cm	20	batang	Baik
4.	Lier	5	buah	Baik
5.	Kunci TN	4	buah	Baik
6.	Kunci pandrol	4	buah	Baik
7.	Plat sambung R.54	6	stel	Baik
8.	Genset	2	unit	Baik
9.	Kunci ring/pas	2	set	Baik
10.	Garpu ballas	4	buah	Baik
11.	Garukan ballas	15	buah	Baik
12.	Pen puller	3	buah	Baik
13.	Palu/godem	10	buah	Baik
14.	Mesin potong rel	1	unit	Baik
15.	Blander potong	1	set	Baik
16.	Bor listrik	2	unit	Baik
17.	Penerangan	1	set	Baik
18.	Lampu semboyan	2	buah	Baik
19.	Kunci inggris	2	buah	Baik
20.	Plat sambung R.33	2	set	Baik
21.	Baut sambung ϕ 7/8, p = 6"	48	buah	Baik
22.	Mesin HTT	2	unit	Baik
23.	Alat komunikasi (HT)	4	buah	Baik
24.	Peralatan kerja jalan regu jalan rel	2	set	Baik
25.	Karung/goni	100	buah	Baik

2. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penggantian wesel R.42 menjadi wesel R.54

Sebelum setting wesel ke bantalan, diperlukan gambar desain dari pabrikan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mengganti wesel yaitu:

- a. Jarak bantalan
- b. Nomor bantalan
- c. Nomor baut/skrup pengikat shoulder ke bantalan
- d. Baut pengikat plat sambung
- e. Nomor clip/penambat
- f. Rubber pad
- g. Posisi wesel (kanan/kiri)
- h. Posisi jarum (kanan/kiri)

Semua poin yang perlu diperhatikan diatas harus cocok/sesuai dengan keadaan dilapangan pada saat pekerjaan persiapan, apabila tidak sesuai, wesel akan sulit di stel pada saat sudah masuk ke jalan rel.

3. Pelaksanaan Penggeseran Wesel

Metode pelaksanaan switch over wesel R.42 menjadi wesel R.54 dengan sudut 1:10.

Pekerjaan penggantian wesel R.42 menjadi wesel R.54 dengan sudut 1:10 dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. Pekerjaan persiapan:

Sebelum pelaksanaan pekerjaan penggantian wesel R.42 menjadi wesel R.54 dengan sudut 1:10, maka terlebih dahulu diperhatikan:

- 1) Komponen wesel sudah selesai dirakit diatas stapling.
- 2) Stapling dan besi luncuran dari wesel baru ke wesel lama sudah harus terpasang.
- 3) Komponen dan penguncian lidah wesel dinyatakan aman oleh dinas sintelis Divre I Sumatera Utara.

- 4) Kabel kontak rel telah tergelar dan joint box telah tersedia dilokasi geseran wesel.
- 5) Lier dipastikan dalam keadaan baik dan dapat dipakai.
- 6) Jug/stapling penerima wesel lama dan lier telah terpasang disisi jalan rel/wesel eksisting.
- 7) Persiapan peralatan semboyan sudah tersedia.
- 8) Persiapan penerangan yang memadai.
- 9) Ballas untuk wesel baru telah tersedia di lokasi pekerjaan.
- 10) Team supreme memeriksa persiapan tenaga kerja, peralatan, material pendukung lainnya sebelum pelaksanaan pekerjaan penggantian wesel.
- 11) Jumlah tenaga kerja untuk masing-masing pekerjaan sudah tersedia sebelum hari pelaksanaan.
- 12) Peralatan kerja : terlampir.

b. Kondisi wesel R.54 baru

- 1) Roda penggerak, box roda, as penggerak roda, stang penggerak wesel, plat penahan lebar spoor telah tersedia.
- 2) Penguncian lidah wesel telah diuji terlebih dahulu.

c. Pelaksanaan penggeseran wesel

- 1) Sebelum pekerjaan penggeseran wesel, pekerjaan persiapan dilaksanakan pengorekan ballas lama rata disisi dibawah bantalan dan pengendoran sebagian alat penambat sepanjang 45 m' sp dan harus dilindungi semboyan 2B untuk pembatasan kecepatan maksimal kereta api 20 km/jam, setelah kereta terakhir lewat dipasang semboyan 3 untuk menandakan sedang adanya pekerjaan dijalan rel dan harus berhenti.
- 2) Mengangkat wesel baru R.54 keatas luncuran dengan menempatkan besi as ϕ 45 mm diantara bantalan wesel dan luncuran.
- 3) Pemasangan seling lier pada wesel R.54 sebanyak 4 titik di jug penerima.
- 4) Merucat wesel R.42 menjadi 3 bagian dan penggerak wesel existing berikut kontak rel.
- 5) Membongkar wesel R.42 1:10 existing.

6) Setelah pembongkaran wesel existing selesai, maka dilanjutkan dengan pekerjaan meratakan ballas pada bekas kedudukan wesel lama.

7) Memasukkan wesel R.54 baru menggunakan lier.

Metode pelaksanaan:

a) Wesel baru R.54 baru yang telah distapling dan dibuat luncuran sedemikian rupa, diikat dengan menggunakan lier.

b) Kemudian wesel baru ditarik bersamaan dengan lier dibantu dengan dorongan pekerja disatu sisinya menggunakan linggis.

c) Setelah wesel tergeser pada as jalan rel, maka dilanjutkan dengan penyetelan manual dengan menggunakan linggis dan dongkrak pal.

d) Lidah wesel R.54 baru ditongklem.

e) Mengganti semboyan 3 menjadi semboyan 2C untuk pembatasan kecepatan maksimal 5 km/jam yang dijaga oleh Pegawai Dinas resort jalan dan jembatan.

f) Pemasangan kembali penggerak wesel.

g) Memasukkan ballas dan pekerjaan angkat listring dengan HTT dari 5 km/jam s/d 20 km/Jam.

8) Mengganti semboyan 2C menjadi 2B (20 Km/jam).

9) Memasang kembali kontak rel pada kedudukan wesel baru.

10) Penambahan ballas, pemecokan dan pengangkatan listring berulang ulang sampai kecepatan yang diizinkan.

11) Penggeseran wesel di Emplasemen Stasiun berikutnya apabila taspas semboyan terdahulu telah dicabut.

d. Skema penggeseran wesel/ penggantian wesel

Untuk penggantian wesel R.42 menjadi wesel R.54 dapat dilakukan sebagai berikut:

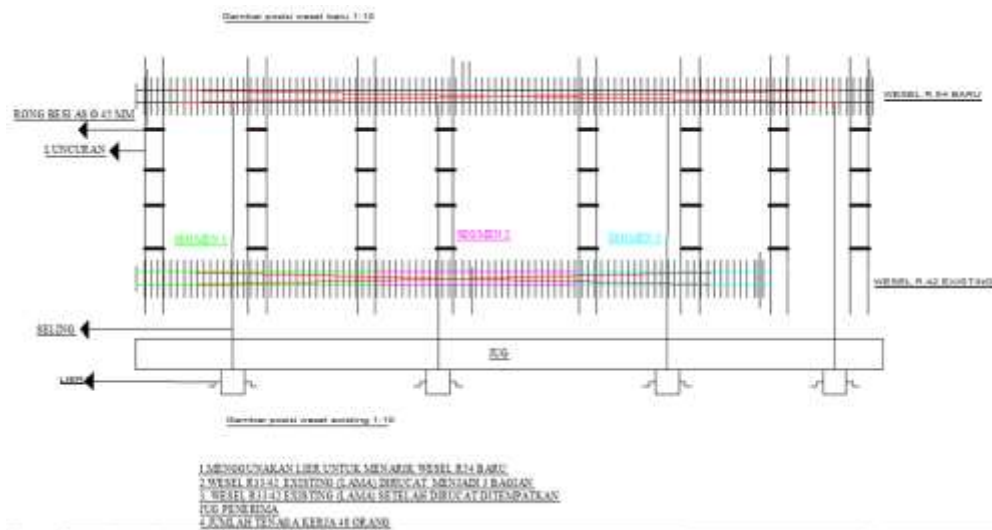
1) Siapkan lapangan yang rata dan bebas gangguan pada wesel yang akan diganti.

2) Usahakan sudut wesel sama yaitu 1 : 10.

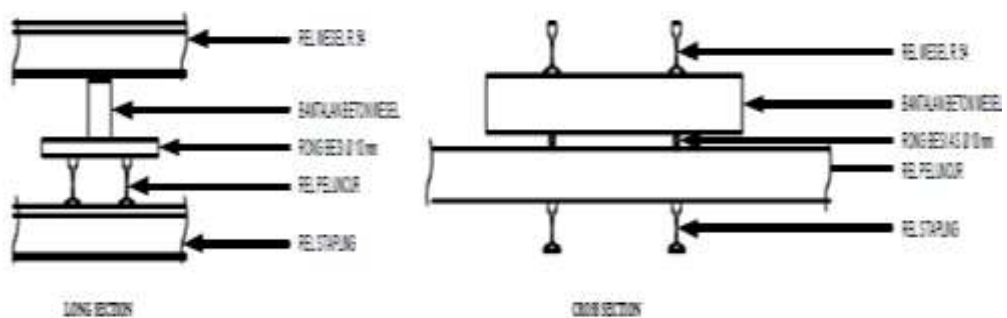
3) Titik matematis sama.

4) Siapkan rel peralihan 3 stel sesuai kondisi rel yang ada.

- 5) Siapkan wesel baru di samping wesel lama yang akan diganti dan berada di atas *stapling* dan di luar ruang bebas.
- 6) Pada wesel lama baut – baut sambung depan, tengah dan belakang semua dilicini untuk memudahkan pembukaaan.
- 7) Menggorek ballas pada wesel lama dan buat rel peluncur untuk mengeluarkan wesel lama.
- 8) Siapkan peluncur wesel baru ke wesel lama, dapat sekaligus atau dibagi dua.
- 9) Hubungi bagian sinyal telkom untuk pengamanannya dan sekat – sekatnya.
- 10) Setelah waktu yang ditentukan, dapat dilakukan penggantian dan pemasangan rel – rel peralihan harus baik dan sempurna, sambungan – sambungan dan baut – bautnya juga bantalan – bantalannya terikat dengan baik untuk kecepatan sesuai Gapeka.



Gambar 4.1. Metode Penggantian Wesel R.42 menjadi Wesel R.54.



Gambar 4.2. Section Penggantian Wesel R.42 menjadi Wesel R.54.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan untuk perencanaan jalur kereta api dengan menggunakan wesel tipe R.54 adalah sebagai berikut:

1. Wesel rel tipe R.54 aman dan mampu untuk dipergunakan, karena dapat menahan beban kereta api dengan beban gandar maksimum 18 ton dengan jarak bantalan 60 cm dan dengan kecepatan 120 km/jam.
 - a. Didapatkan perhitungan beban dinamis (P_d) sebesar 16940,30 kg, perhitungan faktor reduksi (*dumping factor*) (λ) sebesar $0,0097761 \text{ cm}^{-1}$, perhitungan momen maksimum (M_a) sebesar 355229,743 kgcm, tegangan (σ) sebesar $1153,815 \text{ kg/cm}^2$ ($< 1325 \text{ kg/cm}^2$) OK!, tegangan dasar rel (S_{base}) sebesar $1153,815 \text{ kg/cm}^2$ ($< 1176,8 \text{ kg/cm}^2$) OK!
 - b. Berdasarkan hasil perhitungan, $\sigma < \sigma_{\text{ijin}}$ dan $S_{\text{base}} < S_i$ sehingga tipe rel R.54 dapat digunakan untuk perencanaan.
2. Perencanaan geometri wesel rel tipe R.54 dapat digunakan dan dioperasikan dengan sudut 1:10, karena telah memenuhi persyaratan dengan hasil perhitungan panjang jarum (P) sebesar 2089,236 mm, panjang lidah (t) dihitung sebesar 11176 mm $> 4364,834 \text{ mm}$ (...OK!), dan perhitungan pada jari-jari lengkung (R) yang dapat digunakan adalah 157 m s/d 195 m dengan kecepatan max 35 km/jam untuk sepur belok.
 - a. Pada penggantian wesel diperlukan peralatan perlengkapan yang memadai dan sesuai Standard Operational Procedure (SOP) serta SDM/tenaga kerja yang terlatih dan ahli dibidangnya.
 - b. Dalam pelaksanaan penggantian wesel R.42 menjadi wesel R.54 perlu diperhatikan pada nomor-nomor komponen dan material wesel harus dipasang sesuai dengan keadaan dilapangan.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan dan hasil Analisa yang ada, maka saran yang dapat diperhatikan adalah sebagai berikut:

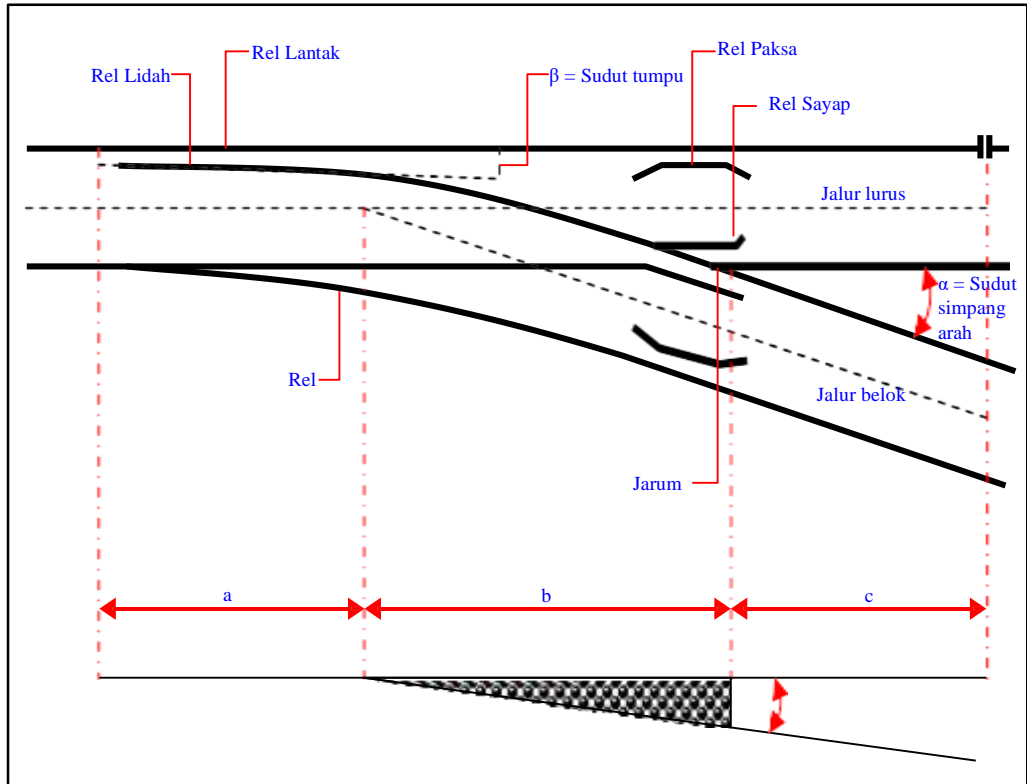
1. Setelah penggantian wesel telah terlaksana maka perlu diadakan dan dilakukannya perawatan secara berkala terhadap wesel guna menjaga kekuatan dan fungsi yang optimal dari wesel ataupun komponen rel kereta api lainnya.
2. Bahan material pada wesel yang akan digunakan harus memperhatikan ketentuan dari Peraturan Bahan Jalan Rel Indonesia (PBJRI) atau Peraturan Dinas No.10.
3. Sama-sama menjaga kelengkapan komponen rel jalan kereta api, dengan mengikuti peraturan yang telah ditetapkan, dan tidak melakukan hal-hal yang dapat menimbulkan kerusakan pada rel kereta api agar tidak menimbulkan kecelakaan kereta api dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bridge, V. T. (2012). *Buku Saku Perawatan Jalan Rel*. Bandung: PT. Kereta Api Indonesia.
- Darma, B. (2020). Rek Jalan Rel Pembebanan Jalan Rel. In *Rek Jalan Rel Pembebanan Jalan Rel*. Palembang: Universitas Bina Darma.
- Divre 1 Railfans. (2013). *Sejarah Perkeretaapian di Sumatera Utara*. Retrieved from <https://divre1railfans.wordpress.com>
- Firmansyah, A. (2020). Perencanaan Jalur Lintasan Kereta Api Dengan Wesel Tipe R54 Pada Stasiun Prupuk. *Science And Engineering National Seminar 5 (SENS 5)- Semarang, 17 Desember 2020, 575-584*.
- Kushardiyanto, N. (2016, Juni). Analisis Kekuatan Gandar Pada Kereta Api Penumpang. *SINERGI Vol. 20, No. 2, Juni 2016: 101-108, 20, 101-108*.
- Menteri Perhubungan. (2011). PM No 32 Tahun 2011 Tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian. *PM No 32 Tahun 2011*.
- Menteri Perhubungan. (2012). PM 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. *PM no.60 Tahun 2012, (pp. 1-57)*.
- Muthohar, I., & Susanto, N. B. (2015). Analisis Distribusi Beban Kereta Api Pada Konstruksi Timbunan Jalur Kereta Api. *The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung, August 28, 2015*.
- Nasution, M. N. (2004). *Manajemen Jasa Terpadu*. Bogor: Ghalia Indonesia.
- Perkeretaapian, S. P. (n.d.). Spesifikasi Teknis Wesel R.54 Untuk Lebar Jalan Rel 1067 mm Profil Rel 54E1. *Satker Pengembangan Peningkatan Dan Perawatan Prasarana Perkeretaapian*.
- Philip, F. J. (n.d.). Rekayasa Jalan Rel. In K. S. Pembebanannya. Universitas Pembangunan Jaya.
- Pranoto, S. W. (2013). *Perencanaan Jalur Lintasan Kereta Api Dengan Wesel Tipe R54 Pada Emplasemen Stasiun Antara Pasuruan-Jember*. Jawa Timur: Fakultas Teknik. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Presiden Republik Indonesia. (1992). Undang-Undang Republik Indonesia No.13 Tahun 1992 Tentang Perkeretaapian. *Undang-Undang Republik Indonesia No.13 Tahun 1992, (pp. 1-41)*.
- Prof. Dr. Ir. Danang Parikesit, M., & Dkk. (2021). *Jalan Rel*. (M. Dr. Ir. R. Sony S. Wibowo, & Dkk, Eds.) Jakarta: FSTPT, Scopindo Media Pustaka.

- PT. Kereta Api Indonesia (Persero). (1986). Peraturan Dinas no.10 Tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel., (pp. 1-62).
- Purwaamijaya, I. M. (2014, Juli). Perancangan Wesel Biasa Pada Emplasemen Stasiun. *Jurnal Sipil Kokoh Volume 12 Nomor 1 Juli 2014*, 12, 24-36.
- Putra, E. A. (2017). *Pengaruh Karakteristik Penumpang Terhadap Kapasitas Angkut Kereta Api Jurusan Medan-Rantau Prapat*. Medan: Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Rel, P. T. (n.d.). *Pembebanan Pada Struktur Jalan Rel*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil UMY.
- Rosyidi. (2005). Struktur Jalan Rel dan Pola Distribusi Beban. In K. P. Transportasi. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Rosyidi. (2015). *Rekayasa Jalan Kereta Api*. Yogyakarta: LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Rosyidi, S. A. (2005). Komponen dan Desain Rel. In K. P. Transportasi. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil UMY.
- Sitorus, O. R. (2021). *Analisa Pemeliharaan Jalan Kereta api Medan-Tebing Tinggi*. Medan: Fakultas Teknik. Universitas Medan Area.
- Surakim. (n.d.). Ilmu Jalan Rel. In I. J. Rel.
- Utomo, S. H. (2009). *Jalan Rel*. Yogyakarta: Beta Offset.

LAMPIRAN



Lampiran 1. Komponen dan Bagan Wesel.



Lampiran 2. Lidah Wesel dan Mesin Penggerak Wesel.



Lampiran 3. Jarum beserta Sayap Wesel dan Rel Paksa pada Wesel.



Lampiran 4. Komponen Wesel R.54 ditempat penyimpanan.



Lampiran 5. Pengecekan Jarum dan Sayap Wesel bersama dengan Satker.



Lampiran 6. Bantalan Beton untuk Wesel R.54.


LEMBAR ASISTENSI

Perencanaan Jalur Kereta Api Dengan Menggunakan Wesel Tipe R.54 Pada Lintas Kisaran – Rantau Prapat

Nama : Riki Ramadhana Zuha

NPM : 2107210204P


Dosen Pembimbing : Assoc. Prof. Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

**FAKULTAS TEKNIK**
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI

Nama : RIKI RAMADHANA ZUHA
Npm : 2107210204P
Program Studi : TEKNIK SIPIL
Judul : PERENCANAAN JALUR KERETA API DENGAN MENGGUNAKAN WESEL TIPE R.54 PADA LINTAS KISARAN - RANTAU PRAPAT

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

Dosen Pembimbing

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



LEMBAR ASISTENSI

Nama : Riki Ramadhana Zuha
Npm : 2107210204P
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : PERENCANAAN JALUR KERETA API DENGAN
MENGUNAKAN WESEL TIPE R.54 PADA LINTAS
KISARAN - RANTAU PRAPAT

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1.	27 Februari 2023	Asistensi hasil bab 4	ls
2.	28 Februari 2023	Revisi hasil bab 4	ls
3.	28 Maret 2023	Asistensi hasil bab 4 & 5	ls
4.	4 & 7 Maret 2023	Revisi hasil bab 4 & 5	ls
5.	9 Maret 2023	ACC hasil pada bab 4 & 5	ls
6.	11 Maret 2023	Presentasi Seminar Hasil	ls

Dosen Pembimbing

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

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Biodata Mahasiswa

Nama : Riki Ramadhana Zuha
NPM : 2107210204P
Tempat/ Tanggal Lahir : Medan, 16 Januari 1997
Alamat : Jl. Haratulisian, Dusun III Tj. Selamat Percut SeiTuan
Email : rikiramadhana16@gmail.com

Riwayat Pendidikan

1. Tahun 2003-2009 : SD MIN Medan
2. Tahun 2009-2012 : SMPN 27 Medan
3. Tahun 2012-2015 : SMAN 7 Medan
4. Tahun 2015-2018 : Politeknik Negeri Medan D3 Jurusan Teknik Sipil
5. Melanjutkan Sarjana di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2021-2023