

TUGAS AKHIR

TINJAUAN PERENCANAAN TRASE JALAN KA LINTAS MAKASSAR-PAREPARE (Studi Kasus Km.71+900 s.d 73+600)



Disusun Oleh :

ADINUGROHO SULISTYO

45 16 041 187

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR**

2021

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

LEMBAR PENGAJUAN UJIAN TUTUP
TUGAS AKHIR

Tugas Akhir :

“TINJAUAN PERENCANAAN TRASE JALAN KA LINTAS MAKASSAR-PAREPARE (STUDI
KASUS KM.71+900 S/D 73+600)”

Disusun dan diajukan oleh :

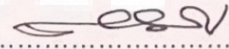
Nama Mahasiswa : **ADI NUGROHO SULISTYO**

No. Stambuk : **45 16 041 187**

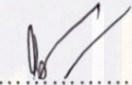
Sebagai salah satu syarat, untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi
Teknik Sipil / Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

Telah Disetujui Komisi Pembimbing

Pembimbing I : Ir. H. Syahrul Sariman, MT.

(.....)

Pembimbing II : Fauzy Lembang, ST.MT.

(.....)

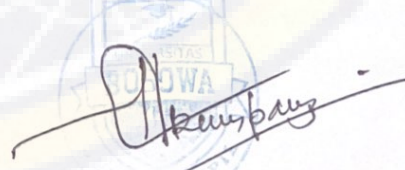
Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. H. Nasrullah, ST.MT.
NIDN : 09 080773 01



Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT
NIDN : 00 010565 02



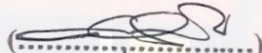
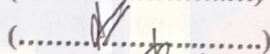
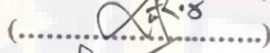
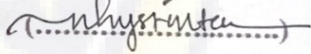
LEMBAR PENGESAHAN

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar No. A.1203/FT/Unibos/VIII/2022, Tanggal 18 Agustus 2022, perihal Pengangkatan Panitia dan tim Penguji Tugas Akhir, maka pada :

Hari / Tanggal : Jum'at / 19 Agustus 2022
Nama : **ADI NUGROHO SULISTYO**
Nomor Stambuk : **45 16 041 187**
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : "Tinjauan Perencanaan Trase Jalan KA Lintas Makassar - Parepare (Studi Kasus KM 71+900 s.d 73+600)"

Telah diterima dan disahkan oleh Panitia Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar setelah dipertahankan di depan tim Penguji Ujian Sarjana Strata Satu (S-1) untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Ketua (Ex. Officio) : **Dr. Ir. H. Syahrul Sariman, MT** 
Sekretaris (Ex. Officio) : **Ir. Fauzy Lebang, ST. MT** 
Anggota : **Dr. Suryani Syahrir, ST. MT** 
Ir. Nurhadijah Yuniarti, ST. MT 

Makassar, 20 Agustus 2022

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Univ. Bosowa Makassar


Dr. H. Nasrullah, ST. MT
NIDN. 09 080773 01

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Univ. Bosowa Makassar


Rumpang Yusuf, MT
NIDN. 00 010565 02

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : **ADINUGROHO SULISTYO**
Nomor Stambuk : **45 16 041 187**
Program Studi : **TEKNIK SIPIL**
Judul Tugas Akhir : **TINJAUAN PERENCANAAN TRASE JALAN KA LINTAS
MAKASSAR-PAREPARE (Studi Kasus Km 71+900 s/d 73+600)**


mengatakan dengan sebenarnya bahwa

1. Tugas akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa menyimpan, megalihmediakan / mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk data base, mendistribusikan dan menampilkannya untuk kepentingan akademik.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Jurusa Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa dari semua bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam tugas akhir ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, September 2022

Yang membuat pernyataan



(ADINUGROHO SULISTYO)

45 16 041 187

Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi

Available online at:

Vol X, No, X, Month 20xx, pp xx-xx

p-ISSN:XX dan e-ISSN: XX

Tinjauan Perencanaan Trase Jalan KA Lintas Makassar Pare-Pare (Studi kasus : Km. 71+900 - Km.73+600)

Adinugroho Sulisty¹, Syahrul Sariman², Fauzi Lebang³

¹ Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa Makassar

² Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa Makassar

³ Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa Makassar

Adinugrohosulistyo@gmail.com

Artikel info

Artikel history:

Diterima; xx-xx

Direvisi:xx-xx

Disetujui;xx-xx

Abstract. *The construction of the Trans Sulawesi railway line phase 3, which began in 2019 across two regencies, namely Maros and Pangkajene and Islands regencies with a track length of 67.1 km. The Trans-Sulawesi railway line which was built in phase 3 is divided into two segments, the first segment crosses Maros district between km 14+400 to km 44+100, while the second segment crosses Pangkajene and Islands districts between km 44+100 to km 73+600. The railway line that crosses Pangkajene and Islands regencies along 29.5 km crosses various regional conditions such as residential areas, plantations, rice fields, rivers, roads, hills and valleys. Based on these conditions, the condition of the vertical alignment on this line has a steep condition because it passes through hills and valleys which allows the train speed on the line to be low and not in accordance with the operating speed. For this reason, this research review aims to find other alternative routes by redesigning the route so that the train speed can match the planned speed, because on time schedule is one indicator of train scheduling performance.*

Abstrak. *Pembangunan Jalur kereta api Trans Sulawesi tahap 3 yang dimulai pada tahun 2019 melintasi dua kabupaten yaitu kabupaten Maros dan Pangkajene dan Kepulauan dengan panjang jalur 67.1 km. Jalur kereta api Trans-Sulawesi yang dibangun pada tahap 3 terbagi menjadi dua segmen, segmen pertama melintasi kabupaten Maros antara km 14+400 sd km 44+100, sedangkan segmen kedua melintasi kabupaten Pangkajene dan Kepulauan antara km 44+100 sd km 73+600. Jalur kereta api yang melintasi kabupaten Pangkajene dan Kepulauan sepanjang 29.5 km melintasi beberapa kondisi wilayah yang beragam seperti permukiman penduduk, lahan perkebunan, lahan persawahan, sungai, jalan raya, bukit dan lembah. Berdasarkan kondisi tersebut membuat kondisi alinyemen vertikal pada jalur ini memiliki kondisi curam karena melewati perbukitan dan lembah yang memungkinkan kecepatan kereta api pada jalur tersebut rendah dan tidak sesuai dengan kecepatan operasi. Untuk itu peninjauan penelitian ini bertujuan untuk mencari jalur alternatif lain dengan mendesain ulang trase tersebut agar kecepatan kereta api bisa sesuai dengan kecepatan yang direncanakan, karena ketepatan waktu merupakan salah satu indikator dari performansi penjadwalan kereta api.*

Keywords:

Transport

Corresponden author:

Email: xxxx@gmail.com



artikel dengan akses terbuka dibawah lisensi CC BY -4.0

KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-nya sehingga proposal skripsi ini dapat terselesaikan. Proposal skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana pada Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Bosowa Makassar.

Dalam menyelesaikan Proposal Skripsi ini, Penulis memilih bidang transportasi yang merupakan salah satu bagian disiplin ilmu teknik sipil. Proposal skripsi ini berjudul: **'TINJAUAN PERENCANAAN TRASE JALAN KA LINTAS MAKASSAR-PAREPARE (Studi Kasus Km.71+900 s.d 73+600)**. Untuk menyelesaikan proposal ini saya menerima bimbingan serta arahan dari berbagai pihak, maka melalui kesempatan ini, saya mengucapkan banyak terima kasih kepada bapak/ibu dosen.

Maka dengan senang hati, saya menerima segala kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan proposal ini. Besar harapan semoga apa yang saya paparkan dalam proposal ini dapat memberikan sesuatu yang bermanfaat. Terima kasih.

Makassar, Agustus 2022

ADINUGROHO SULISTYO

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-5
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	I-5
1.3.1 Tujuan Penelitian.....	I-5
1.3.2 Manfaat Penelitian.....	I-6
1.4 Pokok Pembahasan dan Batasan Masalah	I-6
1.4.1 Pokok Pembahasan	I-6
1.4.2 Batasan Masalah.....	I-6
1.5 Sistematika Penulisan	I-7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	II-1
2.1 Transportasi	II-1
2.2 Kereta Api.....	II-1
2.1.1 Sarana Kereta Api	II-2
2.1.2 Prasarana Kereta Api	II-2
2.3 Komponen Struktur Jalan Rel	II-3
2.4 Geometrik Jalan Rel.....	II-11
2.4.1 Alinyemen Vertikal.....	II-12

2.4.2 Kelandaian.....	II-13
2.4.3 Kelandaian Berdasarkan Peraturan Pemerintah Negara Jepang	II-14
2.4.4 Alinyemen Horizontal.....	II-17
2.4.5 Lebar Sepur.....	II-18
2.4.6 Peninggian Rel.....	II-18
2.4.7 Pelebaran Sepur.....	II-21
2.4.8 Lengkung S.....	II-22
III. BAB III METODE PENELITIAN.....	III-1
3.1 Bagan Alir.....	III-1
3.2 Lokasi Penelitian.....	III-2
3.3 Populasi dan Instrumen Penelitian.....	III-3
3.3 Tinjauan Perencanaan.....	III-4
IV. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	IV-1
4.1 DED Jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600.....	IV-1
4.1.1 Alinyemen Horizontal.....	IV-2
4.1.2 Alinyemen Vertikal.....	IV-3
4.1.3 Elevasi Kop Rel.....	IV-13

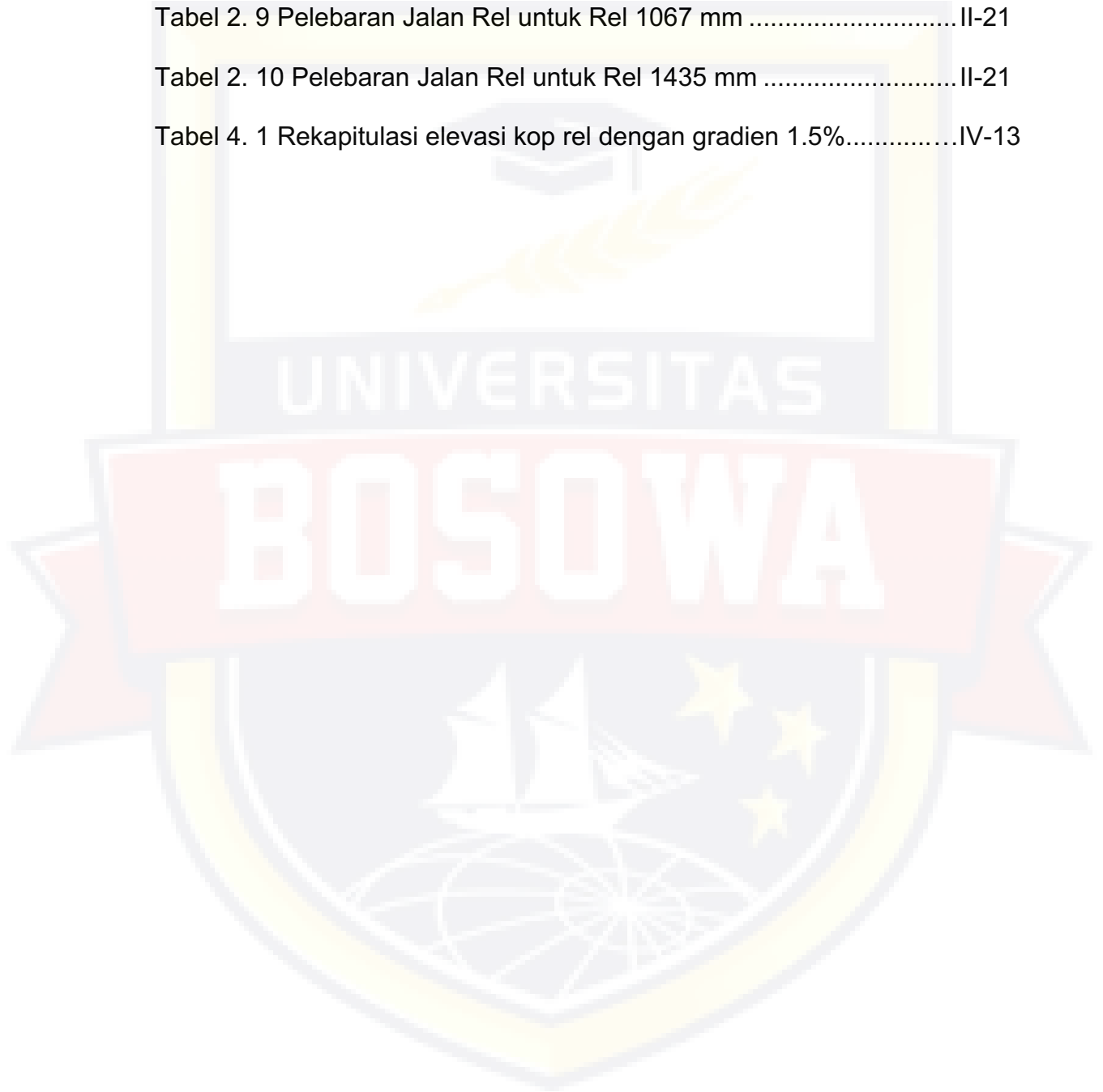
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ukuran Penampang Rel berbagai tipe.....	II-4
Gambar 2. 2 Komponen-komponen wesel.	II-7
Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian.....	III-1
Gambar 4. 1 Alinyemen Horizontal Jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600	IV-3
Gambar 4. 1 Alinyemen Horizontal Jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600..	IV-3
Gambar 4. 2 Long section Rencana Jalur Kereta Api KM. 71+900 s.d. 73+600.....	IV-4
Gambar 4. 3 Perubahan alinyemen Horizontal jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600.....	IV-16
Gambar 4. 4 Alinyemen vertical Trase baru Km. 71+900 sd 73+600..	IV-20
Gambar 4. 5 Tipikal cross section jalan KA pada Km. 71+900 s.d 73+600	IV-22
Gambar 4. 6 Rencana alinyemen jalan raya Poros Pangkep-Barru....	IV-23

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Dimensi Penampang	II-4
Tabel 2. 2 Komponen jalan Rel	II-11
Tabel 2. 3 Kelas jalan rel	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 4 Jari-jari minimum lengkung vertikal	II-12
Tabel 2. 5 Landai Penentu maksimum	II-14
Tabel 2. 6 Jari jari minimum lengkung horizontal	II-17

Tabel 2. 7 Peninggian rel lebar spoor 1067	II-19
Tabel 2. 8 peninggian rel lebar spoor 1435	II-20
Tabel 2. 9 Pelebaran Jalan Rel untuk Rel 1067 mm	II-21
Tabel 2. 10 Pelebaran Jalan Rel untuk Rel 1435 mm	II-21
Tabel 4. 1 Rekapitulasi elevasi kop rel dengan gradien 1.5%.....	IV-13



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring perkembangan waktu, manusia selalu memerlukan sesuatu yang dapat memberikan kenyamanan dan kemudahan yang dapat dilakukan secara efisien dan seefektif untuk menjalani kehidupannya. Hal tersebut yaitu tersedianya sarana dan prasarana infrastruktur yang memadai, dimana infrastruktur memiliki peranan yang sangat penting dalam kelancaran penggerak pembangunan nasional seperti dalam transportasi.

Transportasi merupakan sebuah kebutuhan pokok manusia. Hal ini dikarenakan manusia bukan makhluk *stasioner* (menetap), mereka perlu melakukan perpindahan dari satu tempat ke tempat lain untuk memenuhi kebutuhan mereka. Berdasarkan hal tersebut diciptakanlah alat transportasi untuk mempermudah manusia untuk memenuhi kebutuhannya. Salah satu contoh alat transportasi adalah kereta api, kereta api merupakan transportasi yang sangat dominan dan diandalkan di Indonesia. Hal ini dikarenakan kereta api memiliki banyak kelebihan dari angkutan lain terutama sebagai solusi dari masalah kemacetan yang terjadi di tanah air. (Abu Ismail, dkk 2014)

Kereta api adalah bentuk transportasi rel yang terdiri dari serangkaian kendaraan yang ditarik sepanjang jalur kereta api untuk mengangkut kargo atau penumpang. Gaya gerak disediakan oleh lokomotif yang terpisah atau motor individu dalam beberapa unit. Meskipun propulsi historis mesin uap mendominasi, bentuk-bentuk modern yang paling umum adalah mesin diesel dan listrik lokomotif, yang disediakan oleh kabel overhead atau rel tambahan. Sumber energi lain termasuk kuda, tali atau kawat, gravitasi, pneumatik, baterai, dan turbin gas. Rel kereta api biasanya terdiri dari dua, tiga atau empat rel, dengan sejumlah monorel dan *guideways maglev* dalam campuran. Kata 'train' berasal dari Bahasa Prancis Kuno *trahiner*, dari bahasa latin *trahere* 'tarik, menarik'. (Ketut Biomantara, 2019)

Kereta api merupakan salah satu alat transportasi utama di seluruh dunia. Ketepatan waktu (*on time schedule*) merupakan salah satu indikator dari performansi penjadwalan kereta api. Keterlambatan waktu keberangkatan suatu kereta api dapat menimbulkan efek beruntun yang menyebabkan kereta api lain mengalami keterlambatan pada jadwal keberangkatannya. (Pamor Gunoto, 2013)

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 Vennootschap Nederlandsch Indische Spoorweg Maatschappij (NV. NISM) menggunakan lebar sepur 1435 mm.

Jalur kereta api Trans-Sulawesi adalah jaringan jalur kereta api yang dibangun untuk menjangkau daerah-daerah penting di Pulau Sulawesi. Sebagai upaya pemenuhan kebutuhan akan moda transportasi yang handal jalur KA Trans-Sulawesi di desain dengan kecepatan operasi KA sebesar 160 km/jam dengan lebar spoor 1405 mm, hal ini merupakan terobosan baru dalam perkeretaapian di Indonesia, dimana seluruh jalur KA lintas Jawa dibangun menggunakan lebar spoor 1067 mm.

Pembangunan jalur kereta api Trans-Sulawesi dimulai pada tahap 1 tahun 2015 yang di bangun melintasi kabupaten Barru dengan panjang jalur 18.5 km, kemudian tahap 2 pada tahun 2016 sd 2018 yang melintasi kabupaten Barru dengan panjang jalur 16 km dan pembangunan tahap 3 yang dimulai pada tahun 2019 melintasi dua kabupaten yaitu kabupaten Maros dan Pangkajene dan Kepulauan dengan panjang jalur 67.1 km. Jalur kereta api Trans-Sulawesi yang dibangun pada tahap 3 terbagi menjadi dua segmen, segmen pertama melintasi kabupaten Maros antara km 14+400 sd km 44+100, sedangkan segmen kedua melintasi kabupaten Pangkajene dan Kepulauan antara km 44+100 sd km 73+600. Jalur kereta api yang melintasi kabupaten Pangkajene dan Kepulauan sepanjang 29.5 km melintasi beberapa kondisi wilayah yang beragam seperti permukiman penduduk, lahan perkebunan, lahan persawahan, sungai, jalan raya, bukit dan lembah. Berdasarkan kondisi wilayah yang dilintasi tersebut maka

desain alinyemen jalur KA lintas kabupaten Pangkajene menyesuaikan kondisi lingkungan yang ada. Paket pekerjaan pembangunan jalur KA lintas Makassar-Parepare yang melintasi kabupaten Pangkajene dan Kepulauan terbagi menjadi tujuh paket pekerjaan yaitu :

1. CT.410 yaitu KM. 44+100 sd 49+100
2. CT.411 yaitu KM. 49+100 sd 52+300
3. CT.412 yaitu KM. 52+300 sd 56+500
4. CT.413 yaitu KM. 56+500 sd 60+500
5. CT.414 yaitu KM. 60+500 sd 66+500
6. CT.415 yaitu KM. 66+500 sd 71+900
7. CT.416 yaitu KM. 71+900 sd 73+600

Pada penelitian ini penulis melakukan penelitian pada paket pekerjaan CT.416 yaitu pada km 71+900 sd 73+600 dimana jalur KA melintasi bukit batuan dan lembah yang mengakibatkan kondisi alinyemen vertikal pada jalur ini memiliki kondisi yang curam. Berdasarkan desain alinyemen vertikal pada km 71+900 sd 72+725 memiliki gradien 15 permil dengan kondisi eksisting berupa bukit batuan. Sedangkan pada km 72+725 sd 73+600 memiliki gradien 0% dengan kondisi eksisting berupa lembah yang menggunakan jembatan beton sebagai struktur perlintasannya. gradien 15 permil pada jalur KA lintas kabupaten Pangkajene berada 1,6 km dari stasiun Mandale, hal ini memungkinkan kecepatan kereta api pada jalur tersebut rendah dikarenakan berada pada jalur transisi antara stasiun dan lintas.

Kondisi alinyemen jalan KA yang lintas Makassar-Parepare pada Km. 71+900 sd 73+600 memiliki gradien yang ekstrim di karenakan melintasi lembah dan bukit batuan, sehingga pada penelitian ini penulis akan mendesain ulang trase tersebut agar tidak melintasi bukit dan lembah batuan, dan judul pada penelitian ini adalah **“Tinjauan Perencanaan Trase Jalan KA Lintas Makassar Pare-Pare (Studi kasus : Km. 71+900 - Km.73+600)”**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dikemukakan pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana trase jalur KA antara km 71+900 sd 73+600 agar memenuhi syarat sesuai peraturan
2. Bagaimana perubahan alinyemen vertikal dan horizontal akibat dari perubahan trase jalur KA antara km 71+900 sd 73+600

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah pada penelitian ini, berikut tujuan dari penelitian yang dilakukan:

1. Untuk mengetahui trase jalur KA antara km 71+900 sd 73+600 agar memenuhi syarat sesuai peraturan
2. Untuk mengetahui perubahan alinyemen vertikal dan horizontal akibat dari perubahan trase jalur KA antara km 71+900 sd 73+600

1.3.2 Manfaat Penelitian

Adapun Manfaat yang bisa didapat dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai sarana dalam menambah wawasan penulis dan pembaca khususnya di bidang kontruksi jalan KA
2. Sebagai pengetahuan tentang hubungan alinyemen jalan KA dan kecepatan rencana KA.
3. Sebagai referensi dalam menentukan biaya konstyruksi yang efisien dan memenuhi standar desain pembangunan jalur KA.

1.4 Pokok Pembahasan dan Batasan Masalah

1.4.1 Pokok Pembahasan

Adapun pokok pembahasan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Pengumpulan data (Gambar desain)
2. Pengumpulan referensi alinyemen jalan KA dan kecepatan operasi KA dari standar di Indonesia dan Luar Negeri

1.4.2 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan tulisan ini, penulis membatasi masalah sebagai berikut :

1. Perubahan trase tidak mengikuti ROW kereta api
2. Perubahan trase tidak mempertimbangkan kondisi lahan eksisting kecuali jalan poros Makassar-Parepare

1.5 Sistematika Penulisan

Rancangan sistematika penulisan secara keseluruhan pada tugas akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab, uraian masing-masing bab adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Merupakan gambaran singkat tentang pola umum penyajian tugas akhir yang berisi uraian latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan mafaat peneltian, serta sistematika penulisan.

BABII : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori dasar yang mendukung studi yang digunakan dalam laporan tugas akhir ini.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini membahas tentang lokasi penelitian, pengumpulan data, teknik pengumpulan dan diagram alur penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang perubahan trase jalan KA agar trase jalan KA tidak melintasi lembah dan bukit batuan sehingga alinyemen yang terbentuk memiliki gradien yang sesuai dengan standard peraturan yang berlaku.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang rangkuman dari beberapa pembahasan yang diambil dari literatur, serta memberikan kesimpulan dari hasil perubahan trase jalan KA.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transportasi

Transportasi adalah perpindahan manusia atau barang dari suatu tempat ke tempat lain dengan menggunakan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Transportasi merupakan suatu bagian yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia karena transportasi bermanfaat untuk mendukung manusia dalam melakukan aktivitas sehari-hari. Dalam kaitannya dengan kehidupan manusia, transportasi memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai aspek seperti aspek sosial, ekonomi, lingkungan hingga pertahanan dan keamanan. (Pranata, Joni, 2019)

2.2 Kereta Api

Kereta api merupakan alat transportasi massal yang terdiri dari serangkaian kendaraan kereta atau gerbong yang ditarik lokomotif (kendaraan dengan tenaga gerak yang berjalan sendiri) sepanjang jalur kereta api untuk mengangkut kargo atau penumpang. Rangkaian kereta atau gerbong ini berukuran relatif luas sehingga mampu memuat barang atau penumpang dalam skala besar. Karena sifatnya yang efektif sebagai angkutan massal maka beberapa negara di dunia memanfaatkan kereta api secara maksimal sebagai alat transportasi utama baik di dalam kota, antar kota, bahkan antar negara. (Setiawan, 2012)

2.1.1 Sarana Kereta Api

Sarana adalah segala sesuatu yang dapat dijadikan alat dalam mencapai maksud dan tujuan. Dalam hal ini yang dimaksud dengan sarana kereta api adalah kendaraan yang dapat bergerak (berjalan) diatas jalan rel. Menurut UU No.23 Tahun 2007 pasal 96, ada beberapa jenis sarana perkeretaapian diantaranya :

- a) Lokomotif;
- b) Kereta;
- c) Gerbong; dan
- d) Peralatan khusus

Sarana kereta api merupakan suatu unsur pokok dalam kegiatan perkeretaapian sehingga kegiatan perkeretaapian dapat terlaksana dengan baik tergantung dari pengelolaan sarana kereta api tersebut.

2.1.2 Prasarana Kereta Api

Prasarana adalah segala sesuatu yang merupakan penunjang utama terselenggaranya suatu proses (usaha, pembangunan proyek, dan sebagainya). Prasarana kereta api adalah jalur kereta api, stasiun kereta api dan fasilitas lain yang diperlukan untuk mendukung pengoperasian sarana kereta api. Jalur kereta api adalah jalur yang terdiri dari rangkaian petak jalan rel yang meliputi ruang manfaat jalan rel, ruang milik jalur kereta api, dan ruang pengawas jalur kereta api, termasuk bagian atas dan bawahnya yang memang diperuntukkan bagi lalu lintas kereta api.

Penyelenggaraan prasarana perkeretaapian umum sebagaimana seperti yang dimaksud dalam pasal 18 UU No.23 Tahun 2007 dilakukan oleh Badan Usaha sebagai penyelenggara, baik secara mandiri ataupun dapat melalui hubungan kerjasama. Dalam hal ini apabila tidak ada badan usaha yang menyelenggarakan prasarana perkeretaapian umum maka Pemerintah atau Pemerintah Daerah dapat menyelenggarakan prasarana perkeretaapian.

2.3 Komponen Struktur Jalan Rel

Struktur jalan rel adalah suatu konstruksi yang direncanakan sebagai prasarana infrastruktur dalam perjalanan kereta api. Konsep struktur jalan rel merupakan rangkaian superstruktur dan substruktur menjadi suatu kesatuan yang saling berhubungan untuk menerima dan mendukung pergerakan kereta api secara aman (Rosyidi, 2015).

Secara garis besar, struktur jalan rel dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu,

a. Struktur bangunan atas (*Super structure*) yang terdiri dari rel (*rail*), penambat (*fastening*), dan bantalan (*sleeper, tie, crosstie*)

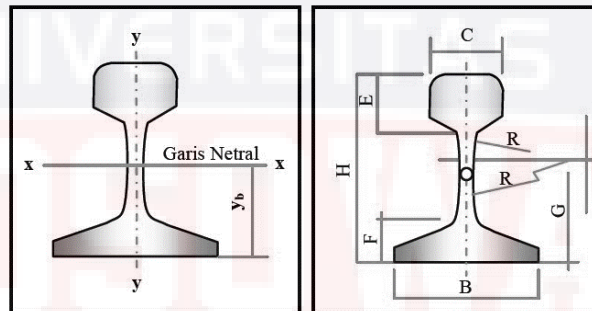
i. Rel (*rail*)

Rel merupakan batangan baja longitudinal yang diletakkan diatas tumpuan bantalan yang berfungsi sebagai landasan roda kereta api. Rel juga berfungsi menerima secara langsung dan menyalurkan beban kereta api kepada bantalan tanpa menimbulkan efek defleksi yang berarti pada bagian balok rel diantara tumpuan bantalan. Selain itu, rel juga berfungsi menyalurkan aliran listrik untuk tujuan persinyalan pada jalan rel.

Rel yang digunakan sebagai jalan kereta api harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1) Minimum perpanjangan (*elongation*) 10%
- 2) Kekuatan Tarik (*tensile strength*) minimum 1175 N/mm²
- 3) Kekerasan kepala rel tidak boleh kurang dari 320 BHN.

Berikut adalah tabel macam-macam dimensi penampang rel berdasarkan tipe rel yang digunakan di Indonesia.



Gambar 2. 1 Ukuran Penampang Rel berbagai tipe
(Sumber: PM No.60 Tahun 2012)

Tabel 2. 1 Dimensi Penampang

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R42	R50	R54	R60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34

I_x (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y_b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
A	= Luas penampang			
W	= Berat rel per meter			
I_x	= Momen inersia terhadap sumbu X			
Y_b	= Jarak tepi bawah rel ke garis netral			

(sumber : PM No. 60 Tahun 2012)

ii. Penambat rel (*fastening*)

Penambat rel adalah suatu komponen yang berfungsi menahan atau menambat rel pada bantalan sehingga kedudukan rel terhadap bantalan menjadi kokoh dan tetap (tidak bergeser). Persyaratan Teknik penambat :

- 1) Bahan material penambat harus mempunyai kualitas yang baik agar dapat mempertahankan kekenyalan penambat dalam jangka panjang setelah waktu pemasangan dan pembongkaran.
- 2) Rel dan pengencangan penambat sebaiknya dilakukan dengan cepat dan mudah serta dapat dilakukan oleh bukan tenaga ahli khusus.
- 3) Frekuensi getaran alami dari penambat harus lebih besar dari frekuensi getaran alami rel, hal ini bertujuan untuk mencegah setiap kehilangan kontak antara penambat dengan rel selama lalulintas melalui jalan rel.

iii. Bantalan (*sleeper*)

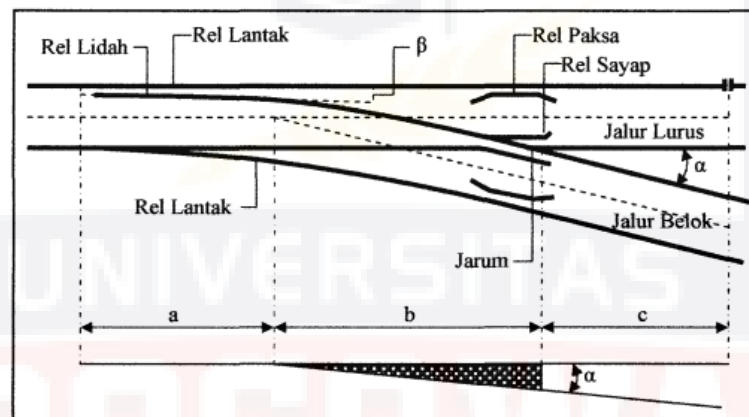
Bantalan adalah suatu komponen jalan rel yang berfungsi untuk mengikat rel dengan penambat sehingga rel tetap pada kedudukannya dan menahan pergerakan rel arah longitudinal, lateral dan vertikal. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja, ataupun beton. Pemilihan jenis bantalan yang akan digunakan didasarkan pada kelas dan kondisi lapangan serta ketersediaan bantalan. Spesifikasi masing-masing tipe bantalan harus mengacu pada persyaratan teknik yang berlaku. Bantalan beton untuk lebar jalan rel 1067 mm dengan kuat tekan karakteristik beton tidak kurang dari 500 kg/cm, dan mutu baja prategang dengan tegangan putus (*tensile strength*) minimum sebesar 16.876 kg/cm² (1.655 Mpa). Bantalan beton harus mampu memikul momen minimum sebesar ±1500 kg.m pada bagian dudukan rel dan 930 kg.m pada bagian tengah bantalan (Wahyuni, 2020).

iv. Wesel

Wesel merupakan bagian dari konstruksi jalan rel yang paling rumit dengan beberapa persyaratan dan ketentuan pokok yang harus dipenuhi. Wesel berfungsi untuk mengalihkan kereta api dari satu sepur ke sepur lainnya. Wesel terletak pada pertemuan beberapa sepur, baik sepur bercabang maupun persilangan antar dua sepur. Wesel terdiri atas komponen-komponen sebagai berikut :

- 1) Lidah
- 2) Jarum beserta sayap-sayapnya

- 3) Rel lantak
- 4) Rel Paksa
- 5) Sistem Penggerak



Gambar 2. 2 Komponen-komponen wesel.

(Sumber: PM No. Tahun 2012)

- b. Struktur bangunan bawah (*Substructure*) yang terdiri dari komponen-komponen seperti balas (*ballast*), subbalas (*subballast*), tanah dasar (*improve subgrade*) dan tanah asli. Struktur bagian bawah harus memenuhi persyaratan stabilitas dan daya dukung.
 - i. Balas (*ballast*)

Lapisan balas adalah lapisan yang berada diatas tanah dasar yang berfungsi untuk meneruskan beban bantalan dan menyebarkannya ke tanah dasar serta meloloskan air untuk mencegah adanya genangan air disekitar bantalan rel. Balas memiliki kemiringan lereng lappisan balas atas tidak boleh lebih curam dari 1 : 2.

Persyaratan material balas :

- 1) Balas harus terdiri dari batu pecah (25-60)mm dan memiliki kapasitas ketahanan yang baik, ketahanan gesek yang tinggi dan mudah dipadatkan;
- 2) Material balas harus bersudut banyak dan tajam;
- 3) Porositas maksimum 3%;
- 4) Kuat tekan rata-rata maksimum 1000 kg/cm²;
- 5) *Specific gravity* minimum 2,6;
- 6) Kandungan tanah, lumpur dan organik maksimum 0,5%;
- 7) Kandungan minyak maksimum 0,2%;
- 8) Keausan balas sesuai dengan test *Los Angeles* tidak boleh lebih dari 25%.

ii. Sub-balas (*Subbalast*)

Sub-balas adalah lapisan dibawah balas yang berfungsi sebagai filter antara tanah dasar dan lapisan tanah balas. Sub-balas harus mampu mengalirkan air.

Persyaratan material sub-balas :

- 1) Material sub-balas dapat berupa campuran agregat pecah (kerikil) dan pasir.
- 2) Memiliki kandungan material organik kurang dari 5%.

3) Khusus untuk material sub-balas yang merupakan kumpulan kerikil dan pasir, maka harus mengandung minimum 30% agregat pecah.

4) Lapisan subbalas harus dipadatkan hingga mencapai 100% $\pi.d$ (ASTM D 698).

iii. Tubuh Badan Jalan Kereta Api

Badan jalan kereta api dapat berupa badan jalan di daerah timbunan ataupun badan jalan di daerah galian. Badan jalan di daerah timbunan terdiri atas :

- 1) Tanah dasar; dan
- 2) Lapisan tanah dasar (*sub-grade*).

Persyaratan material tanah dasar :

- 1) Tanah dasar harus mampu memikul lapis dasar dan bebas dari penurunan (*settlement*). Jika terdapat lapisan tanah lunak berbutir halus dengan nilai N-SPT <4 , maka tidak boleh termasuk dalam lapisan 3m diukur dari permukaan formasi jalan pada kondisi apapun. Permukaan tanah dasar harus memiliki kemiringan 5% ke arah luar badan jalan kereta api.
- 2) Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan metode ASTM D 1196 (Uji coba beban plat dengan menggunakan plat dukung berdiameter 30cm) tidak boleh kurang dari 70 MN/m² pada permukaan tanah pondasi daerah galian. Apabila nilai K30 < 70

MN/m² maka tanah pondasi harus diperbaiki dengan metode yang sesuai.

Tanah dasar yang dibentuk dari timbunan juga harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1) Tanah yang digunakan untuk timbunan tidak boleh mengandung material bahan organik, gambut dan tanah mengembang.
- 2) Kepadatan tanah timbunan harus tidak boleh kurang dari 95% kepadatan kering maksimum dan memiliki nilai CBR minimum 6% pada uji dalam kondisi terendam (*soaked*).

Persyaratan material lapis tanah dasar :

- 1) Material tanah dasar harus bebas dari bahan organik, gambut dan tanah mengembang.
- 2) Material lapis dasar minimal memiliki nilai kepadatan kering maksimum sebesar 95% dan memiliki nilai CBR minimal 8% pada uji terendam (*soaked*).
- 3) Lapis tanah dasar harus terdiri dari lapisan tanah yang seragam dan memiliki daya dukung yang cukup. Kekuatan CBR material lapis dasar yang ditentukan menurut ASTM D 1883 atau SNI 03-1744-1989 minimal 8% pada contoh tanah yang telah dipadatkan hingga 95% dari berat isi kering maksimum sebagaimana diperoleh dari pengujian ASTM D 698 atau SNI 03-1742-1989.

2.4 Geometrik Jalan Rel

Geometrik jalan rel adalah bentuk dan ukuran jalan rel, baik arah memanjang maupun arah melebar yang meliputi lebar sepur, kelandaian, lengkung vertikal dan horizontal, peninggian rel serta pelebaran sepur. Geometri jalan rel harus dirancang seoptimal mungkin supaya mencapai hasil yang efisien, aman dan nyaman. Segala ketentuan yang berkaitan dengan jenis dan komponen jalan rel dalam perancangan geometrik jalan rel tertuang dalam tabel dibawah ini

Tabel 2. 2 Komponen jalan Rel

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks ganda r (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penamb at	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)			
I	$> 20.10^6$	120	18	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	$10.10^6 - 20.10^6$	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu 60	Elastis Ganda	30	50
III	$5.10^6 - 10.10^6$	100	18	R.54/R.50/ R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda	30	40
IV	$2,5.10^6 - 5.10^6$	90	18	R.54/R.50/ R.42	Beton/Kayu/Baja 60	Elastis Ganda/ Tunggal	25	40
V	$< 2,5.10^6$	80	18	R.42	Kayu/Baja 60	Elastis Tunggal	25	35

(Sumber: PM No. Tahun 2012)

Tabel 2. 3 Kelas jalan rel

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penamban	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak antar sumbu bantalan (cm)			
I	$> 20 \cdot 10^6$	160	22,5	R.60	Beton 60	Elastis Ganda	30	60
II	$10 \cdot 10^6 - 20 \cdot 10^6$	140	22,5	R.60	Beton 60	Elastis Ganda	30	50
III	$5 \cdot 10^6 - 10 \cdot 10^6$	120	22,5	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	40
IV	$< 5 \cdot 10^6$	100	22,5	R.60/R.54	Beton 60	Elastis Ganda	30	40

(Sumber: PM No. Tahun 2012)

2.4.1 Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal melalui sumbu jalan rel. Alinyemen vertikal terdiri dari garis lurus dengan atau tanpa kelandaian dan lengkung vertikal yang berupa busur lingkaran. Letak lengkung vertikal diusahakan tidak berhimpit dengan lengkung horizontal. Besar jari-jari minimum lengkung bergantung pada seberapa besarnya kecepatan rencana seperti yang tercantum pada tabel.

Tabel 2. 4 Jari-jari minimum lengkung vertikal

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal (m)
Lebih besar dari 100	8000
Sampai 100	6000

(Sumber: PM No. 60 Tahun 2012)

Adapun kriteria dalam membentuk alinyemen vertikal adalah :

- a) Beberapa kelandaian yang berlainan dalam jarak pendek disederhanakan menjadi satu kelandaian.
- b) Jika penurunan beralih ke pendakian atau pendakian beralih ke penurunan disediakan bagian mendatar dengan panjang minimum 200m.
- c) Tinggi puncak rel sedapat mungkin tidak diturunkan, kecuali tidak memenuhi syarat-syarat yang disebutkan sebelumnya.

Panjang lengkung vertikal berupa busur lingkaran yang menghubungkan dua kelandaian lalu lintas yang berbeda dan ditentukan berdasarkan besarnya jari-jari lengkung vertikal dan perbedaan kelandaian.

2.4.2 Kelandaian

Dalam geometri jalan rel terdapat dua jenis landai yaitu :

1) Landai penentu (*rulling grade*)

Landai penentu adalah suatu kelandaian tanjakan terbeesar yang ada pada satu lintasan lurus. Besarnya landai penentu terutama berpengaruh pada kombinasi daya lokomotif dan rangkaian yang dioperasikan. Kelandaian di emplasemen maksimum yang diijinkan adalah 1,5% dan dalam keadaan yang memaksa kelandaian (pendakian) dari lintas lurus dapat melebihi landai penentu. Landai penentu ditentukan berdasarkan kelas jalan rel.

Tabel 2. 5 Landai Penentu maksimum

Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum
1	10%
2	10%
3	20%
4	25%
5	25%

(Sumber: PM No. 60 Tahun 2012)

2) Landai curam

Landai curam adalah suatu kelandaian yang melebihi landai penentu. Landai curam biasanya terdapat pada lintas yang melintasi pegunungan sehingga kelandaian (tanjakan) pada suatu lintas melebihi landai penentu.

2.4.3 Kelandaian Berdasarkan Peraturan Pemerintah Negara Jepang

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Negara Jepang terkait kelandaian jalan kereta api gradien maksimum lintasan di area perjalanan dan area perhentian (termasuk parkir area dan area untuk koping dan pelepasan *rolling stock*) harus ditentukan di pertimbangan kinerja alat penggerak, alat pengereman, kecepatan operasi dan lainnya faktor-faktor seperti kereta api.

- a. Kemiringan maksimum jalur kereta api biasa (tidak termasuk Shinkansen) harus sesuai dengan standar berikut:
 - i. Kemiringan maksimum di area perjalanan kereta api adalah sebagai berikut:

- 1) 25/1000 di rel yang dilalui kereta yang ditarik dengan lokomotif (terbatas pada bagian jalur di mana kereta barang melaju).
(Termasuk di mana gradien yang dinilai setara adalah 25/1000).
 - 2) 35/1000 di trek selain (1).
 - 3) Selain dari ketentuan (1) dan (2) di atas, gradien maksimum lintasan yang hanya digunakan oleh kereta api yang digerakkan oleh rangkaian motor induksi linier harus 60/1000.
 - 4) Terlepas dari ketentuan (1) - (3) di atas, gradien maksimum di area pemilih harus 25/1000.
- ii. Kemiringan maksimum di area perhentian harus 5/1000. Namun, mungkin 10/1000 di area yang tidak digunakan untuk parkir atau penggandengan / pelepasan lokomotif, tetapi hanya jika tidak ada kemungkinan gangguan pada keberangkatan dan kedatangan kereta.
- b. Gradien maksimum Shinkansen (tidak termasuk rel levitasi magnetik superkonduktor) harus sesuai dengan standar berikut:
- i. Kemiringan maksimum di area perjalanan kereta api adalah sebagai berikut:
 - 1) 25/1000.
 - 2) Jika standar diatas tidak dapat diterapkan untuk topografi atau alasan teknis lain, maka dipakai 35/1000 dengan mempertimbangkan kinerja perangkat penggerak, perangkat transmisi daya, roda gigi yang sedang berjalan, dan perangkat pengereman.

- ii. Kemiringan maksimum di area pemberhentian untuk kereta api harus $3/1000$.
- c. Kemiringan maksimum dari rel gantung, monorel tipe *straddle* dan tipe rel pemandu harus sesuai dengan standar berikut:
 - i. Kemiringan maksimum di area perjalanan kereta api harus $60/1000$. Namun hal ini tidak berlaku jika kondisi topografi tidak mendukung atau alasan tak terelakkan lainnya.
 - ii. Kemiringan maksimum di area pemberhentian untuk kereta api adalah $5/1000$. Namun, mungkin $10/1000$ di area yang tidak digunakan untuk parkir atau penggandengan / pelepasan lokomotif, tetapi hanya jika tidak ada kemungkinan gangguan pada keberangkatan dan kedatangan kereta.
- d. Gradien maksimum dari rel levitasi magnetik konduksi normal harus sesuai dengan standar berikut :
 - i. Kemiringan maksimum di area perjalanan kereta api harus $60/1000$.
 - ii. Di area perhentian kereta, tidak boleh ada kemiringan.
- e. Gradien maksimum dari rel levitasi magnetik super konduksi harus sesuai dengan standar berikut :
 - i. Kemiringan maksimum ruas perjalanan untuk kereta api harus $40/1000$. Namun, hal ini tidak berlaku jika kondisi topografi tidak mendukung dan tidak ada kemungkinan gangguan dengan kereta keliling.

- ii. Kemiringan maksimum di area pemberhentian untuk kereta api harus 3/1000.
- f. Gradien maksimum dari perkeretaapian jenis yang dipandu secara elektromagnetik harus sesuai dengan standar berikut:
- i. Kemiringan maksimum di area perjalanan kereta api 70/1000.
 - ii. Kemiringan maksimum di area perhentian kereta api 10/1000.

2.4.4 Alinyemen Horizontal

Alinyemen horizontal merupakan 2 jalur saling membentuk sudut dan dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran, dengan atau tanpa lengkung-lengkung peralihan. Pada tabel dijelaskan jari-jari minimum yang dapat digunakan sesuai kecepatan rencana dan dengan atau tanpa lengkung peralihan.

Tabel 2. 6 Jari jari minimum lengkung horizontal

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

(Sumber: PM No. Tahun 2012)

Lengkung peralihan adalah lengkung yang memiliki jari-jari berubah beraturan. Lengkung ini terdapat pada peralihan antara bagian lurus dan bagian lingkaran dan sebagai peralihan dua jari-jari lingkaran yang berbeda. Adanya lengkung peralihan ini berfungsi untuk mengeliminasi perubahan gaya sentrifugal secara teratur. Panjang minimum lengkung peralihan ditetapkan dengan rumus :

$$L_n = 0,01 h V$$

L_n = Panjang minimum lengkung (m)

H = Peninggian relatif antara dua bagian yang dihubungkan

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

2.4.5 Lebar Sepur

Lebar sepur adalah jarak minimum kedua sisi kepala rel yang diukur pada 0-14mm dibawah permukaan teratas rel. Berdasarkan PM No.60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, lebar jalan rel dibedakan menjadi 2 yaitu lebar rel 1435 dan 1067mm. Untuk jalan rel 1435mm toleransi pelebaran jalan rel adalah sebesar ± 3 mm sedangkan untuk jalan rel 1067mm mempunyai toleransi -2mm untuk jalan rel baru dan +4m dan -2mm untuk jalan rel yang sudah dioperasikan.

2.4.6 Peninggian Rel

Peninggian jalan rel pada lengkung horisontal diperlukan untuk mengimbangi timbulnya gaya sentrifugal yang dialami oleh rangkaian kereta. Timbulnya gaya sentrifugal ini mengakibatkan kereta cenderung terlempar ke luar dari lengkung. Besar kecilnya gaya sentrifugal ini

sebanding dengan massa dan kuadrat kecepatan kereta api dan berbanding terbalik dengan jari-jari lengkung horisontal. Meninggikan rel luar secara relatif terhadap rel sisi dalam lengkung horisontal ini merupakan salah satu cara untuk mereduksi gaya sentrifugal yang membebani kereta.

Tabel 2. 7 Peninggian rel lebar spoor 1067

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) pas (km/hr)						
	120	110	100	90	80	70	60
100							
150							
200							110
250							90
300						100	75
350					110	85	65
400					100	75	55
450				110	85	65	50
500				100	80	60	45
550			110	90	70	55	40
600			100	85	65	50	40
650			95	75	60	50	35
700		105	85	70	55	45	35
750		100	80	65	55	40	30
800	110	90	75	65	50	40	30
850	105	85	70	60	45	35	30
900	100	80	70	55	45	35	25
950	95	80	65	55	45	35	25
1000	90	75	60	50	40	30	25
1100	80	70	55	45	35	30	20
1200	75	60	55	45	35	25	20
1300	70	60	50	40	30	25	20
1400	65	55	45	35	30	25	20
1500	60	50	40	35	30	20	15
1600	55	45	40	35	25	20	15
1700	55	45	35	30	25	20	15
1800	50	40	35	30	25	20	15
1900	50	40	35	30	25	20	15
2000	45	40	30	25	20	15	15
2500	35	30	25	20	20	15	10
3000	30	25	20	20	15	10	10
3500	25	25	20	15	15	10	10
4000	25	20	15	15	10	10	10

(Sumber : PM No. 60 Tahun 2012)

Tabel 2. 8 peninggian rel lebar spoor 1435

Jari-jari (m)	Peninggian (mm) Pada Setiap Kecepatan Rencana (km/jam)											
	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	
100												
150												
200												150
250												120
300											135	100
350									150	115		85
400									130	100		75
450								150	120	90		65
500								135	105	80		60
550							150	120	95	75		55
600							135	110	90	70		50
650							125	105	80	65		50
700						145	120	95	75	60		45
750						135	110	90	65	55		45
800					150	125	105	85	65	50		40
850					140	120	95	80	65	50		40
900					130	110	90	75	60	45		35
950				145	125	105	85	70	55	45		35
1000				140	120	100	80	70	55	40		35
1100			145	125	110	90	75	60	50	40		30
1200			135	115	100	85	70	55	45	35		30
1300		145	125	110	90	80	70	55	40	35		25
1400	150	135	115	100	85	75	60	50	40	30		25
1500	140	125	110	95	80	70	55	45	35	30		25
1600	130	115	100	90	75	65	55	45	35	25		20
1700	125	110	95	85	70	60	50	40	35	25		20
1800	120	105	90	80	65	55	45	40	30	25		20
1900	110	100	85	75	65	55	45	35	30	25		20
2000	105	95	80	70	60	50	45	35	30	20		15
2500	85	75	65	55	50	40	35	30	25	20		15
3000	70	65	55	50	40	35	30	25	20	15		10
3500	60	55	50	40	35	30	25	20	15	15		10
4000	55	50	40	35	30	25	25	20	15	10		10

(Sumber : PM No. 60 Tahun 2012)

2.4.7 Pelebaran Sepur

Pelebaran rel dilakukan supaya roda kereta dapat melewati lengkung dengan lancar. Pelebaran ini dilakukan dengan menggeser rel kearah dalam. Ketentuan mengenai pelebaran sepur ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 2. 9 Pelebaran Jalan Rel untuk Rel 1067 mm

Jari-jari Tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R > 600$	0
$550 < R \leq 600$	5
$400 < R < 550$	10
$350 < R \leq 400$	15
$100 < R \leq 350$	20

(Sumber: PM No. Tahun 2012)

Tabel 2. 10 Pelebaran Jalan Rel untuk Rel 1435 mm

Jari-jari Tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R > 400$	0
$350 < R \leq 400$	5
$300 < R \leq 350$	10
$250 < R \leq 300$	15
$R \leq 250$	20

(Sumber: PM No. Tahun 2012)

Terdapat tiga faktor yang sangat berpengaruh terhadap besarnya pelebaran rel :

- 1) Jari-jari lengkung (R)
- 2) Ukuran atau jarak gandar muka-belakang yang kokoh (*rigid wheel base*)
- 3) Kondisi keausan jalan rel.

Ketentuan pemasangan pelebaran sepur :

- 1) Jika terdapat lengkung peralihan, maka pengurangan dilakukan sepanjang lengkung peralihan.
- 2) Jika tidak terdapat lengkung peralihan, maka pengurangan yang dilakukan menurut standar 5 atau lebih diukur dari ujung lengkung. Kemudian untuk lengkung wesel maka panjang pengurangan ditentukan secara terpisah tergantung kondisi di lapangan.

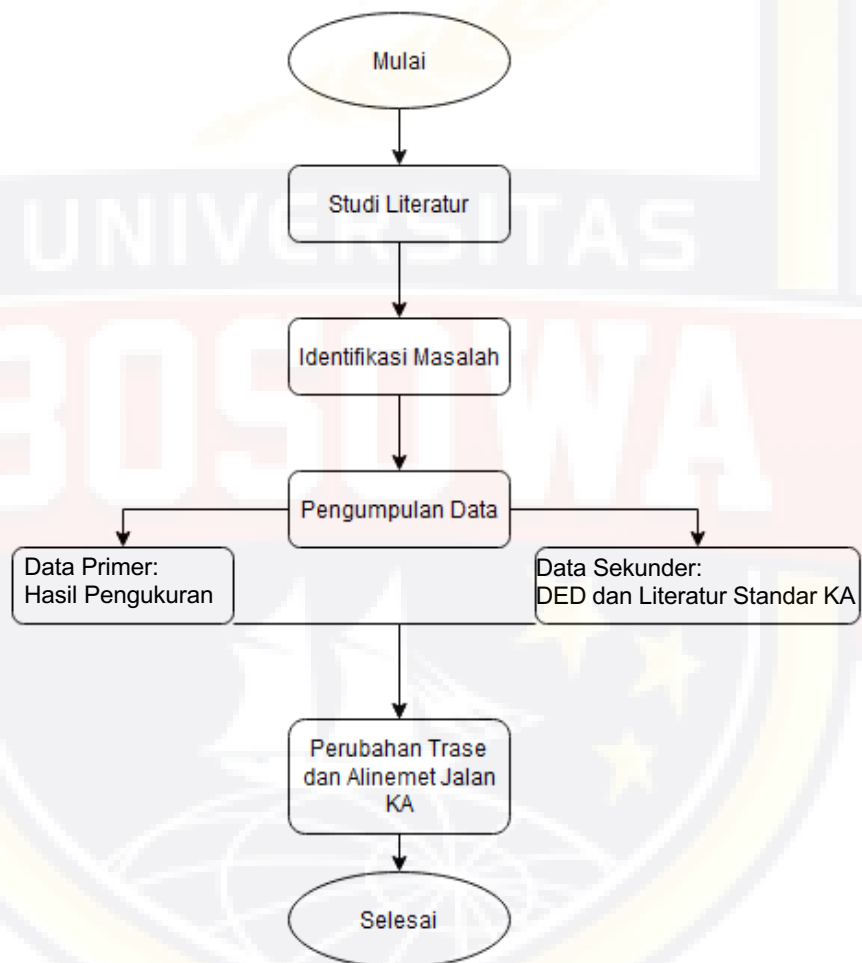
2.4.8 Lengkung S

Lengkung S merupakan suatu lengkung yang terjadi Ketika ada dua lengkung di satu lintas yang berbeda arahnya dan teletak bersambungan. Kedua lengkung ini harus dipisahkan dengan bagian lurus minimal sepanjang 20 meter diluar lengkung peralihan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Bagan Alir



Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian
(Sumber: Dokumen penulis, 2021)

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis data yang dimulai dengan mengidentifikasi masalah dengan cara mengumpulkan data-data primer terkait DED jalan KA lintas makassar-parepare. Berdasarkan informasi yang diperoleh dari data DED mengenai gradien desain selanjutnya nilai gradien tersebut akan di bandingkan dengan standar peraturan yang berlaku baik peraturan di Indonesia maupun peraturan yang berlaku di negara negara lain yang menggunakan transportasi kereta api. Dari hasil analisa tersebut selanjutnya akan di tentukan nilai gradien baru apabila gradien jalan KA dalam DED melebihi gradien maksimum dalam standar yang berlaku.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada pada jalur kereta api lintas Makassar-Parepare di Paket CT.4-16 (KM.71+900 s.d 73+600) tepatnya di Desa Mandalle, Kecamatan Mandalle, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Provinsi Sulawesi Selatan.



Gambar 3.2 Desain Trase Kereta Api KM. 71+900 s.d. 73+600

(Sumber: Google maps)

3.3 Populasi dan Instrumen Penelitian

Berikut tahap penelitian yang dilakukan dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini, antara lain:

a. Tahap 1 : Persiapan

Langkah yang dilakukan dalam tahap persiapan yaitu mengidentifikasi dan merumuskan masalah, merumuskan tujuan penelitian, menggali keputuskaan dan literatur yang berkaitan dengan topik pada penelitian ini.

b. Tahap 2 : Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Data primer pada penelitian ini berupa data perhitungan alinyemen baru pada jalur KA lintas Makasar-Pare pare KM.71+900 s.d 73+600.

2. Data Sekunder

Data sekunder pada penelitian ini meliputi data DED jalur eksisting yang terdiri dari BOQ atau *bill of quantity* item pekerjaan dan gambar kerja atau *Shop Drawing* pada pembangunan jalur KA lintas Makasar-Parepare pada KM.71+900 s.d 73+600 . Gambar kerja terdiri dari beberapa item gambar meliputi: gambar potongan memanjang atau *long section*, gambar potongan melintang atau *cross section* dan gambar struktur jembatan. Literatur yang berhubungan dengan topik penelitian ini diantaranya :

- a. Peraturan Dinas No.10 Tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel.
- b. Peraturan Menteri Perhubungan No.60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.
- c. Undang-undang No. 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian.
- d. Standar Perkeretaapian Negara Jepang.
- e. Beberapa literatur lain yang berhubungan dengan topik penelitian.

3.3 Tinjauan Perencanaan

Pada penelitian ini akan dilakukan tinjauan perencanaan trase jalan KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 agar trase tersebut tidak melintasi lembah dan bukit batuan sehingga alinyemen vertical yang terbentuk dapat memiliki gradien yang sesuai dengan standar peraturan yang berlaku di Indonesia.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 DED Jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600

Jalur Kereta Api lintas Makassar-Parepare yang berada pada KM. 71+900 s.d 73+600 merupakan proyek *multiyear* tahun anggaran 2019-2020. Pembangunan pada jalur tersebut merupakan program lanjutan pengembangan perkeretaapian Pulau Sulawesi yang sudah dimulai pada tahun 2015. Jalur KA pada Km. 71+900 s.d 73+600 yang melintasi Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan merupakan jalur yang di desain oleh konsultan perencana PT. Dardela Yasa Guna pada tahun 2014.

Jalur KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 merupakan jalur KA yang memiliki alinyemen vertical yang ekstrem, hal tersebut disebabkan karena trase jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600 melintasi bukit batuan dan lembah. Jalur tersebut memiliki gradien sebesar 1.5%. Jika melihat referensi desain jalur KA yang berlaku di Negara Indonesia yaitu Peraturan Mentri no. 60 tahun 2012 dan Peraturan Dinas no. 10 tahun 1986 tentang standar teknis jalan KA di jelaskan bahwa kelandaian maksimum untuk kelas jalan rel 1 adalah 1%. Pada kondisi ini pembangunan jalur KA lintas Makassar-Parepare pada Km, 71+900 s.d 73+600 memiliki dua item pekerjaan pokok yaitu pekerjaan galian batu dan pekerjaan jembatan sepanjang 450 meter.

4.1.1 Alinyemen Horizontal

Trase jalur KA lintas Makassar-Parepare pada Km. 71+900 s.d 73+600 merupakan jalur yang berada pada kondisi lengkung penuh atau *Full Circle* dengan jari-jari lengkung sebesar 4000 meter. Trase tersebut berada di sisi timur jalan raya poros Makassar-Parepare dengan jarak sekitar sekitar 200 meter. Berdasarkan kondisi kontur di sekitar trase jalan KA lintas Makasar-Parepare pada Km. 71+900 s.d 73+600 sepanjang 1,7 Km terbagi menjadi tiga segmen. Segmen pertama pada Km. 70+900 s.d 72+540 trase melintasi bukit batuan dengan ketinggian 30 meter, segmen ke dua pada Km. 72+540 s.d 73+050 trase melintasi lembah dan segmen ke tiga pada pada Km. 73+050 s.d 73+600 trase Kembali melintasi bukit batuan dengan ketinggian 30 meter. Secara alinyemen horizontal jalur KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 telah memenuhi kriteria desain alinyemen untuk kelas jalan rel 1. Hal tersebut dikarenakan besarnya jari-jari lengkung lebih besar dari persyaratan minimal jari-jari lengkung yang disyaratkan dalam peraturan PM. No 60 yaitu sebesar 1900 meter untuk kelas jalan rel 1 dengan kecepatan rencana 160 km/jam

Alinyemen horizontal jalaur KA lintas Makassar-Parepare pada Km. 71+900 s.d 73+600 yang berada di wilayah kabupaten Pangkajene dan Kepulauan dapat di lihat pada gambar di bawah ini :



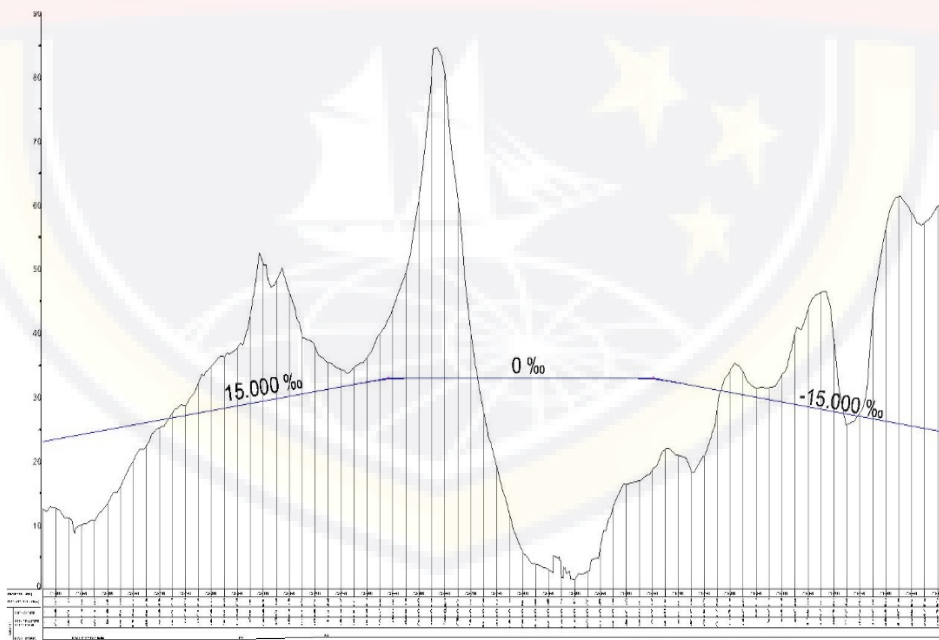
Gambar 4. 1 Alinyemen Horizontal Jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600

4.1.2 Alinyemen Vertikal

Desain alinyemen pada lokasi KM. 71+900 s.d 73+600 merupakan desain yang cukup kompleks, hal ini di karenakan perlu mempertimbangkan faktor kondisi geografis yang merupakan bukit batu dan lembah. Selain dari faktor geografis pada lokasi ini berdekatan dengan lokasi Stasiun Ma'rang dimana berdasarkan peraturan yang berlaku di Indoneisa yang terdapat dalam Peraturan Dinas No. 10 bahwa gradien yang harus di penuhi pada jalur emplasemen adalah 0-0,15%.

Pada jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600 penentuan gradien sangat berpengaruh terhadap kecepatan operasi KA dan biaya pembangunannya, semakin tinggi gradien suatu jalur KA maka kecepatan operasi KA akan semakin berkurang namun sebaliknya semakin landai jalur KA maka kebutuhan biaya pembangunan akan meningkat akibat bertambahnya volume galian batu.

Merujuk pada dokumen *shop drawing* no. AA-CT416-SPL-02/R.1 jalur Kereta Api lintas Makassar-Parepare pada Km. 71+900 s.d 73+600 memiliki gradien sebesar 1,5% pada Km. 70+900 s.d 72+540 dan 0% pada Km. 72+540 s.d 73+050 dan -1,5% pada Km. 73+050 s.d 73+600 Potongan memanjang (*Long Section*) jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600 dapat sesuai pada gambar di bawah ini.

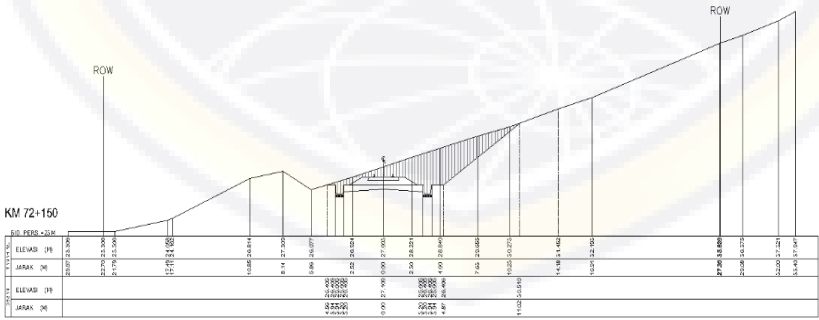


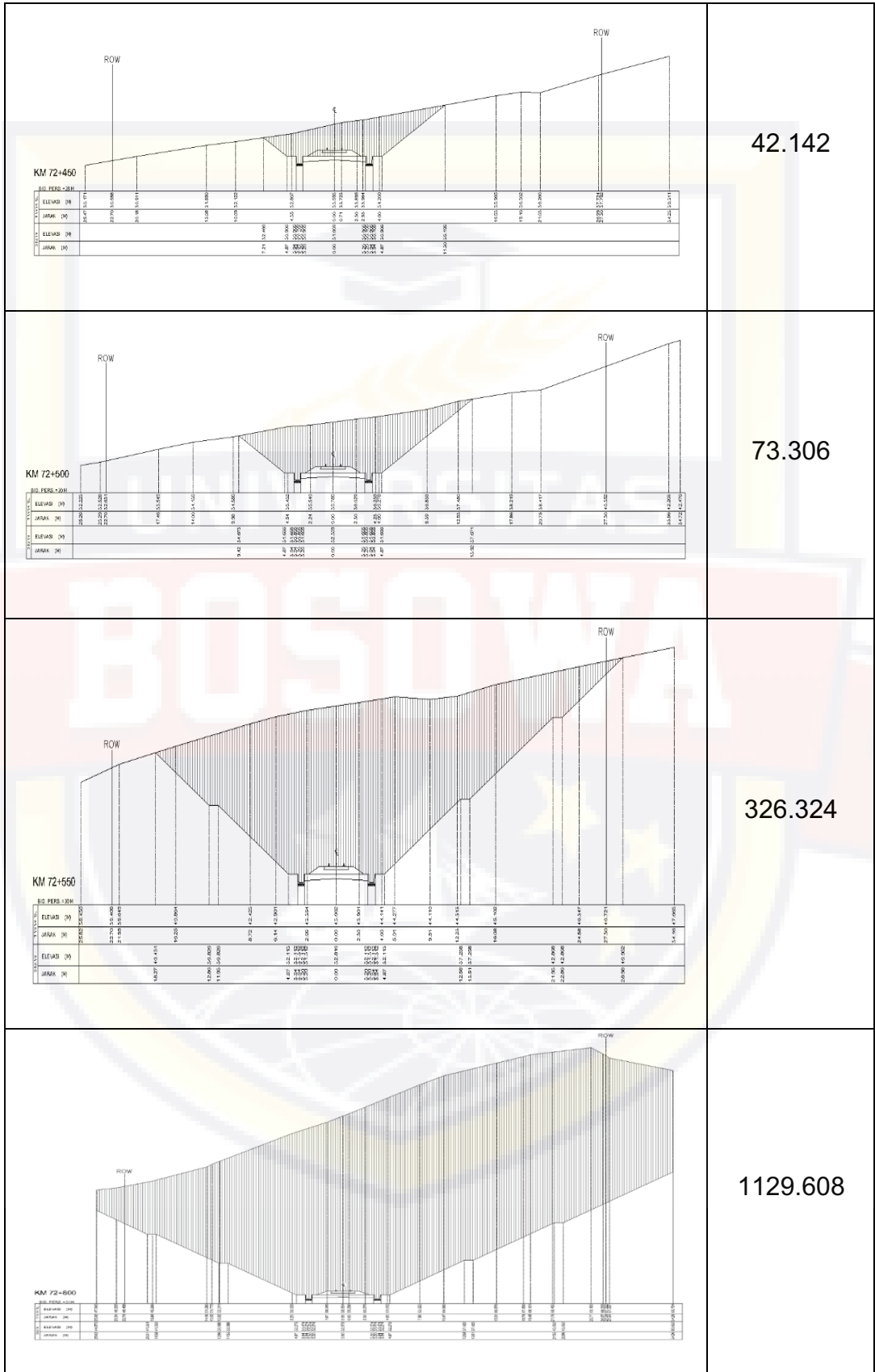
Gambar 4. 2 Long section Rencana Jalur Kereta Api KM. 71+900 s.d. 73+600.

Berdasarkan desain alinemen vertikal jalur KA lintas Makassar-Parepare pada Km. 71+900 s.d 73+600 terdapat dua lengkung vertical yang terjadi akibat perubahan gradien. Lengkung vertical pertama pada Km. 72+450 terjadi akibat perubahan gradien dari +1.5% menjadi 0% dan lengkung vertical yang kedua pada Km. 73+050 terjadi akibat perubahan gradien dari 0% menjadi -1.5%.

4.1.3 Volume Galian Batu Berdasarkan Alinyemen Desain

Berdasarkan alinemen desain jalur KA lintas Makassar-Parepare pada Km. 71+900 s.d 73+600 memiliki gradien desain sebesar 1.5% yang melintasi bukit batuan, sehingga terdapat item pekerjaan mayor berupa galian batu dengan volume sebagai berikut :

Gambar Potongan Melintang	Luas Area (m ²)																																																				
 <p>The diagram shows a cross-section of a railway track. The ground profile is shown as a solid line, and the proposed track bed is shown as a dashed line. The area between the ground and the track bed is shaded with diagonal lines, representing the excavation volume. The diagram includes a table with the following data:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Stasiun</th> <th>Jarak (m)</th> <th>Elevasi (m)</th> <th>ROW (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>71+900</td> <td>0</td> <td>10.00</td> <td>10.00</td> </tr> <tr> <td>72+000</td> <td>100</td> <td>10.50</td> <td>10.50</td> </tr> <tr> <td>72+100</td> <td>200</td> <td>11.00</td> <td>11.00</td> </tr> <tr> <td>72+200</td> <td>300</td> <td>11.50</td> <td>11.50</td> </tr> <tr> <td>72+300</td> <td>400</td> <td>12.00</td> <td>12.00</td> </tr> <tr> <td>72+400</td> <td>500</td> <td>12.50</td> <td>12.50</td> </tr> <tr> <td>72+450</td> <td>550</td> <td>12.50</td> <td>12.50</td> </tr> <tr> <td>72+500</td> <td>600</td> <td>12.50</td> <td>12.50</td> </tr> <tr> <td>72+600</td> <td>700</td> <td>12.50</td> <td>12.50</td> </tr> <tr> <td>73+000</td> <td>1000</td> <td>12.50</td> <td>12.50</td> </tr> <tr> <td>73+400</td> <td>1400</td> <td>12.50</td> <td>12.50</td> </tr> <tr> <td>73+600</td> <td>1600</td> <td>12.50</td> <td>12.50</td> </tr> </tbody> </table>	Stasiun	Jarak (m)	Elevasi (m)	ROW (m)	71+900	0	10.00	10.00	72+000	100	10.50	10.50	72+100	200	11.00	11.00	72+200	300	11.50	11.50	72+300	400	12.00	12.00	72+400	500	12.50	12.50	72+450	550	12.50	12.50	72+500	600	12.50	12.50	72+600	700	12.50	12.50	73+000	1000	12.50	12.50	73+400	1400	12.50	12.50	73+600	1600	12.50	12.50	23.046
Stasiun	Jarak (m)	Elevasi (m)	ROW (m)																																																		
71+900	0	10.00	10.00																																																		
72+000	100	10.50	10.50																																																		
72+100	200	11.00	11.00																																																		
72+200	300	11.50	11.50																																																		
72+300	400	12.00	12.00																																																		
72+400	500	12.50	12.50																																																		
72+450	550	12.50	12.50																																																		
72+500	600	12.50	12.50																																																		
72+600	700	12.50	12.50																																																		
73+000	1000	12.50	12.50																																																		
73+400	1400	12.50	12.50																																																		
73+600	1600	12.50	12.50																																																		

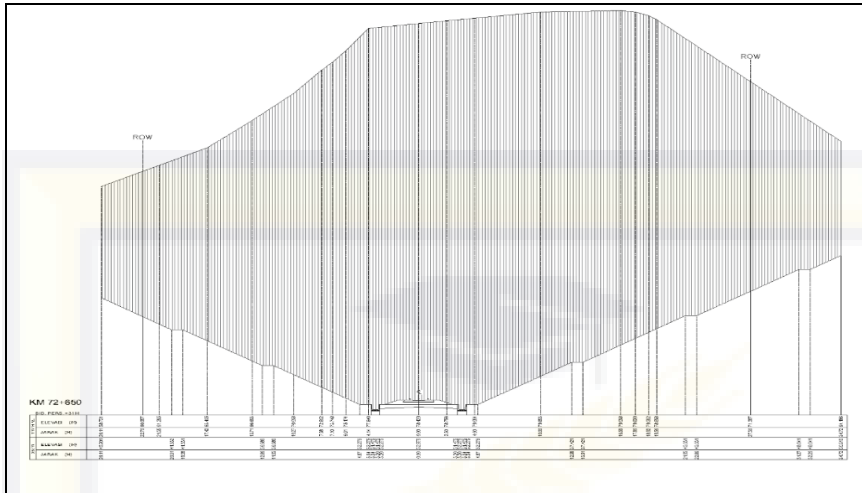


42.142

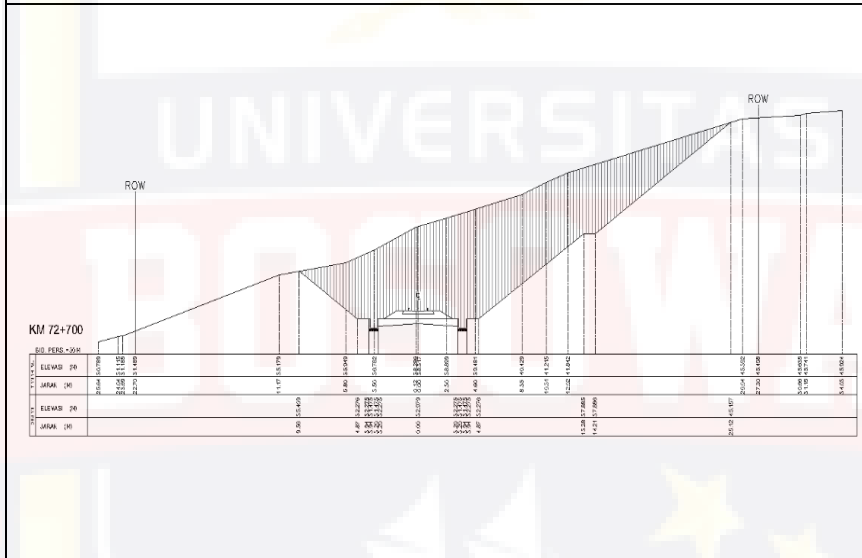
73.306

326.324

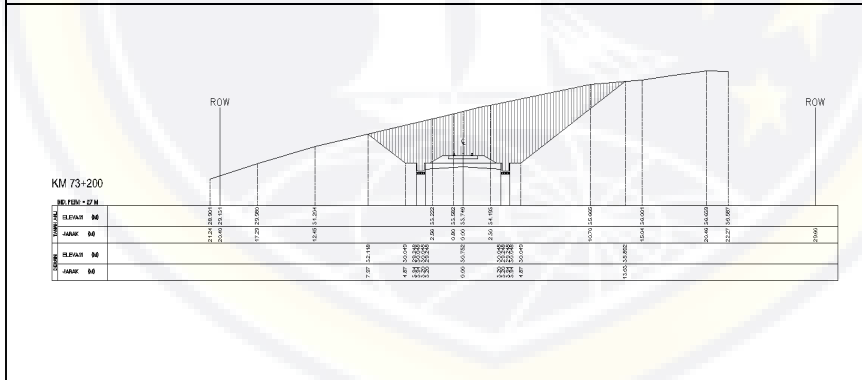
1129.608



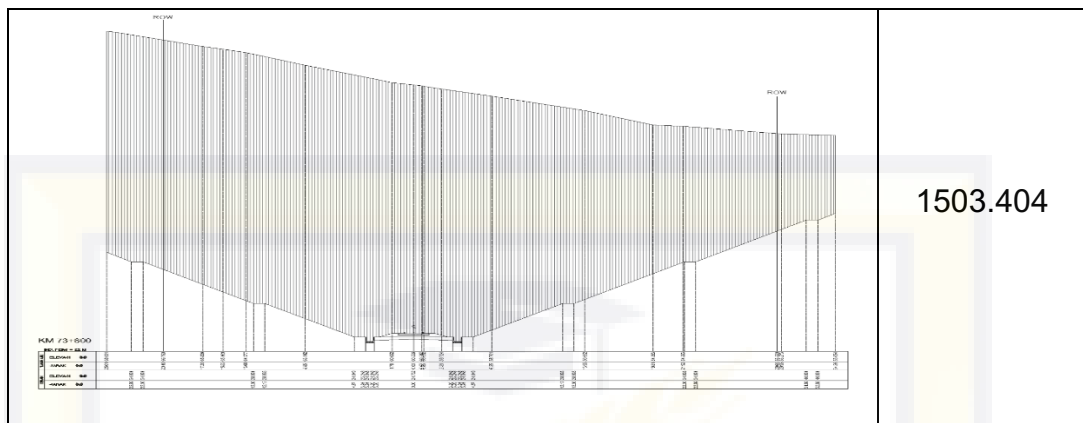
1851.688



146.134



64.567



Tabel 4. 1. Rekapitulasi perhitungan volume galian dengan gradien 1.5%

No	KILOMETER	LUAS AREA (m ²)	JARAK (m)	VOLUME (m ³)
1	72+000	23.046	50	
2	72+050	180.200	50	5,081.15
3	72+100	255.655	50	10,896.38
4	72+150	841.174	50	27,420.73
5	72+200	629.245	50	36,760.48
6	72+250	139.364	50	19,215.23
7	72+300	42.142	50	4,537.65
8	72+350	73.306	50	2,886.20
9	72+400	326.324	50	9,990.75
10	72+450	1129.608	50	36,398.30
11	72+500	1851.688	50	74,532.40
12	72+550	146.134	50	49,945.55
13	72+600	64.567	50	5,267.53

14	72+650	28.207	50	2,319.35
15	72+700	64.611	50	2,320.45
Total				287,572.13
16	73+200	520.864	50	
17	73+250	300.474	50	20,533.45
18	73+300	7.273	50	7,693.68
19	73+350	1257.810	50	31,627.08
20	73+400	1446.473	50	67,607.08
21	73+450	1503.404	50	73,746.93
22	73+500	520.864	50	50,606.70
23	73+550	300.474	50	20,533.45
24	73+600	7.273	50	7,693.68
Total				280,042.025
Volume Galian Total				567,614.150

4.1.4 Elevasi Kop Rel

Elevasi kop rel merupakan informasi yang sangat penting dalam suatu desain jalan KA, informasi ini berguna sebagai kontrol pada pelaksanaan pekerjaan pada tahap pembangunan. Penentuan elevasi kop rel tergantung pada titik mati sebuah jalur KA. Titik mati tersebut seperti jembatan, stasiun, *box culvert* maupun bangunan-bangunan lainnya yang memiliki elevasi yang telah ditentukan.

Desain Jalur Kereta Api lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 memiliki elevasi kop rel yang bervariasi karena pada jalur tersebut memiliki gradien yang bervariasi. Berikut rekapitulasi nilai elevasi kop rel berdasarkan data desain jalur KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600.

Tabel 4. 2 Rekapitulasi elevasi kop rel dengan gradien 1.5%

KM	Elevasi Kop Rel	KM	Elevasi Kop Rel	KM	Elevasi Kop Rel
71+900	23.359	72+475	31.984	73+050	32.767
71+925	23.734	72+500	32.339	73+075	32.545
71+950	24.109	72+525	32.617	73+100	32.244
71+975	24.484	72+550	32.816	73+125	31.877
72+000	24.859	72+575	32.936	73+150	31.502
72+025	25.234	72+600	32.978	73+175	31.127
72+050	25.609	72+625	32.979	73+200	30.752
72+075	25.984	72+650	32.979	73+225	31.377
72+100	26.359	72+675	32.979	73+250	30.002
72+125	26.734	72+700	32.979	73+275	29.627
72+150	27.109	72+725	32.979	73+300	29.252

72+175	27.484	72+750	32.979	73+325	28.877
72+200	27.859	72+775	32.979	73+350	28.502
72+225	28.234	72+800	32.979	73+375	28.127
72+250	28.609	72+825	32.979	73+400	27.752
72+275	29.894	72+850	32.979	73+425	27.377
72+300	29.359	72+875	32.979	73+450	27.002
72+325	29.734	72+900	32.979	73+475	26.627
72+350	30.109	72+925	32.979	73+500	26.252
72+375	30.484	72+950	32.979	73+525	25.877
72+400	30.859	72+975	32.979	73+550	25.502
72+425	31.234	73+000	32.974	73+575	25.127
72+450	31.609	73+025	32.91	73+600	24.752

Penentuan elevasi kop rel pada desain jalur KA lintas Makassar-Parepare telah disesuaikan dengan elevasi bakosurtanal Indonesia.

4.2 Trase Baru Km. 71+900 s.d 73+600

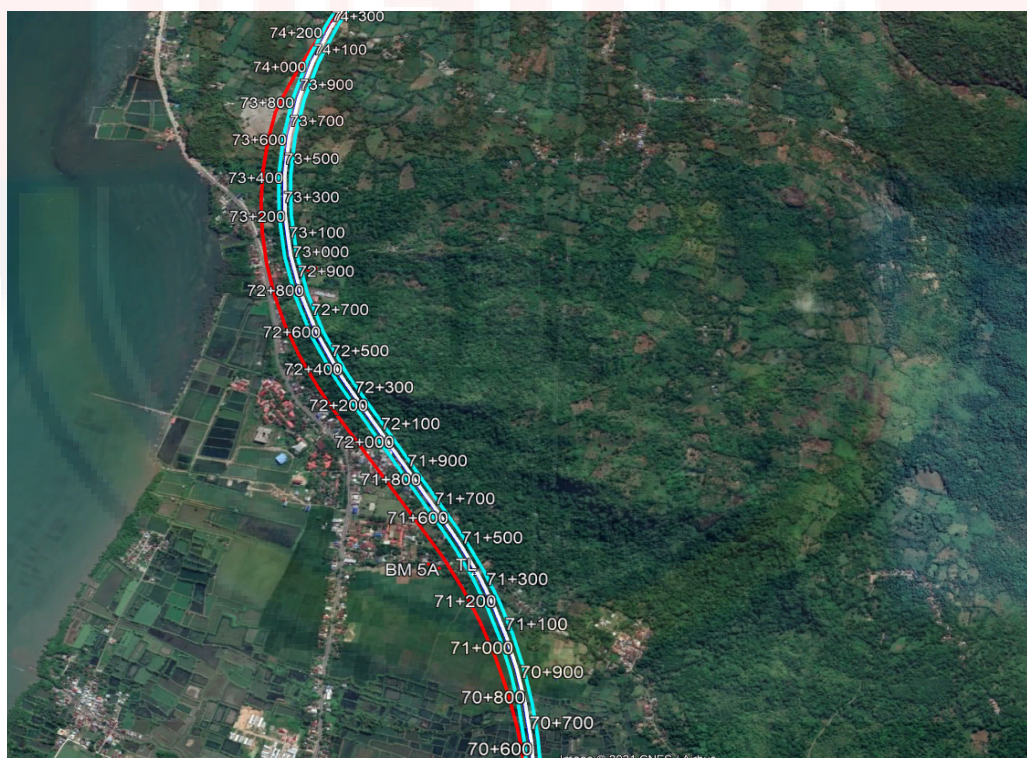
Jalur KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 merupakan jalur KA yang memiliki alinyemen vertical yang ekstrem, hal tersebut disebabkan karena trase jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600 melintasi bukit batuan dan lembah. Jalur tersebut memiliki gradien sebesar 1.5%. Jika melihat referensi desain jalur KA yang berlaku di Negara Indonesia yaitu Peraturan Mentri no. 60 tahun 2012 dan Peraturan Dinas no. 10 tahun 1986 tentang standar teknis jalan KA di jelaskan bahwa kelandaian maksimum untuk kelas jalan rel 1 adalah 1%. Pada kondisi ini pembangunan jalur KA lintas Makassar-Parepare pada Km, 71+900 s.d

73+600 memiliki dua item pekerjaan pokok yaitu pekerjaan galian batu dan pekerjaan jembatan sepanjang 450 meter.

Dengan kondisi tersebut untuk menghindari adanya gradien yang melebihi standar maka trase jalur KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 di geser sejauh 100 meter ke arah barat atau mendekati jalan raya poros Makassar-Parepare. Dengan pergeseran trase tersebut menyebabkan perubahan pada alinyemen horizontal dan vertical jalur KA serta perubahan elevasi kop rel. Perubahan tersebut juga mengakibatkan perbedaan item pekerjaan yaitu menghilangkan beberapa item pekerjaan pokok seperti pekerjaan galian bukit batu dan pekerjaan jembatan bentang 450 meter.

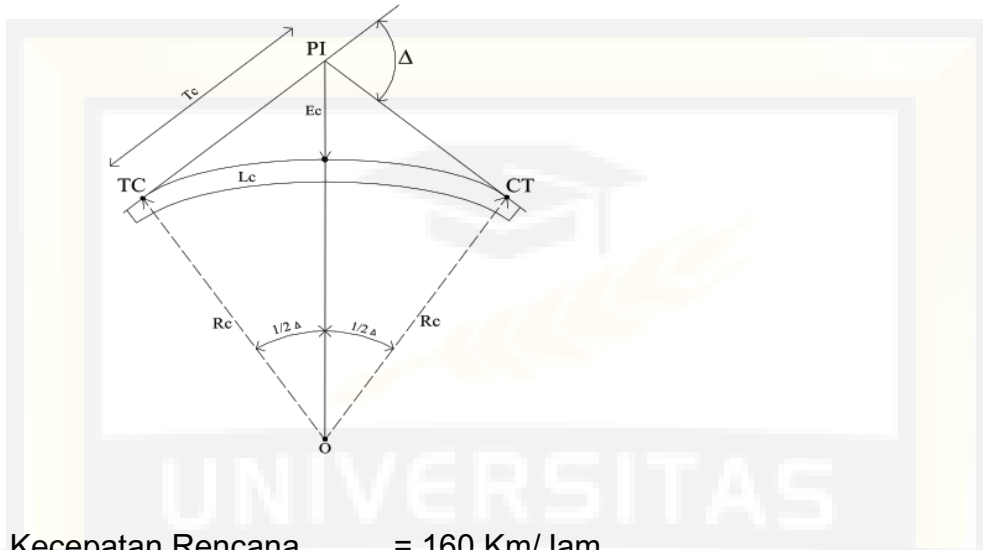
4.2.1 Perubahan Alinyemen Horizontal

Perubahan alinyemen horizontal pada jalur KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 adalah perbesaran diameter jari-jari lengkung lingkaran penuh dari kondisi desain awal 2000 meter menjadi 2100 meter. Akibat dari perbesaran jari jari lengkung tersebut trase jalur KA bergeser sejauh 100 meter ke arah jalan raya poros Makassar-Parepare. Perubahan alinyemen horizontal pada jalur KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4. 3 Perubahan alinyemen Horizontal jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600

Perhitungan alinyemen horizontal



Kecepatan Rencana = 160 Km/Jam

Jari-jari Lengkung (R) = 2100 m

Sudut Tikungan (Δ) = $43^{\circ}32'48.2''$

Jarak TC ke P1 (Tc) = $R (\tan \Delta/2)$
 $= 2100 (\tan 43^{\circ}32'48.2''/2)$
 $= 2100 (\tan 21.77)$
 $= 838.81 \text{ meter}$

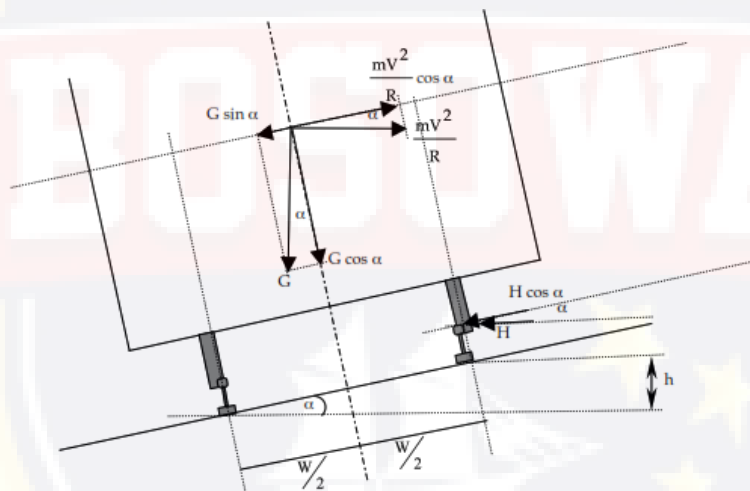
Jarak PI ke Puncak (E) = $T (\tan \Delta/4)$
 $= 838.81 (\tan 43^{\circ}32'48.2''/4)$
 $= 838.81 (\tan 10.88)$
 $= 161.32 \text{ meter}$

$$\text{Panjang Lengkung (LC)} = 0.01745 \wedge R$$

$$= 0.01745 (43.55) (2100)$$

$$= 1595.77 \text{ meter}$$

Perhitungan Peninggian Rel



Gaya Sentrifugal = Gaya Berat

$$G \sin \alpha = \frac{mV^2}{R} \cos \alpha$$

$$G \sin \alpha = \frac{GV^2}{gR} \cos \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{V^2}{gR}$$

$$\text{jika : } \tan \alpha = \frac{h}{W}$$

$$\frac{mV^2}{R} \cos \alpha = G \sin \alpha$$

$$h = \frac{WV^2}{gR}$$

Dengan memasukkan satuan praktis :

- W = jarak diantara kedua titik kontak roda dan rel = 1120 mm
- R = jari-jari lengkung horizontal (m)
- V = kecepatan rencana (km/jam)
- h = peninggian rel pada lengkung horizontal (mm)
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/detik²)

maka :

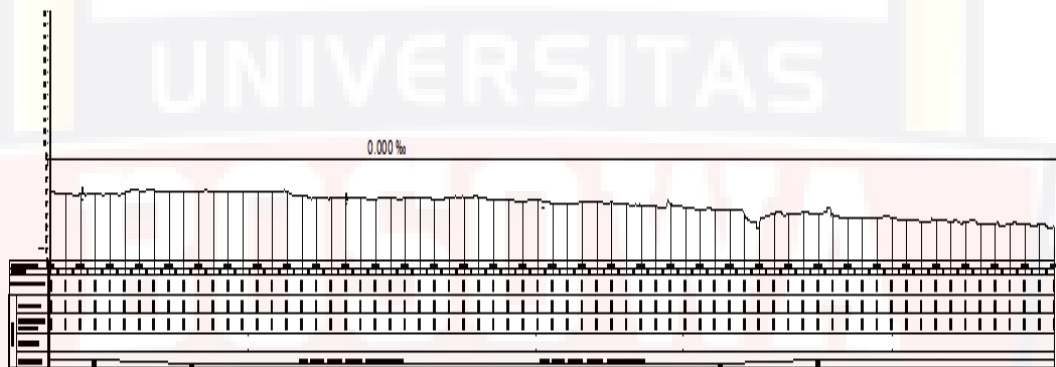
$$h_{\text{normal}} = \frac{8,8V^2}{R} \text{ (dalam mm)}$$

$$H_{\text{normal}} = 8,8 (160)^2 / (2100)$$

$$= 107.27 \text{ mm} < h_{\text{maksimal}} (110 \text{ mm}) \text{ Oke!}$$

4.2.2 Perubahan Alinyemen Vertikal

Perubahan alinyemen vertical pada jalur KA lintas Makassar-Parepare disebabkan karena perbedaan lintasan trase jalur KA. Trase jalur KA yang baru melintasi permukiman penduduk yang memiliki medan kontur yang relatif datar. Perubahan alinyemen vertical jalur KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 dapat dilihat sesuai dengan gambar di bawah ini :



Gambar 4. 4 Alinyemen vertical Trase baru Km. 71+900 sd 73+600

Berdasarkan trase perubahan yang terjadi di jalur KA Km. 71+900 s.d 73+600 terdapat perubahan gradien, perubahan tersebut di sesuaikan dengan kontur tanah yang di lewati oleh trase tersebut. Dalam menentukan elevasi mengacu pada elevasi di titik akhir stasiun Mandale tepatnya pada Km. 70+900 dengan elevasi desain 8.539 m. Perubahan alinyemen vertical pada desian alinyemen Km. 71+900 s.d 73+600 akibat pergeseran trase

adalah jalan KA memiliki gradien 0 % atau datar dengan elevasi kop rel berada pada +8.539 m. Terkait perubahan gradien dari 1.5‰ menjadi 0‰ maka kondisi lengkung vertikal pada Km. 71+900 s.d 73+600 menjadi hilang atau datar, hal ini dikarenakan elevasi kop rel menyesuaikan elevasi di akhir stasiun mandale.

4.3.3 Perubahan Elevasi Kop Rel

Dalam menentukan elevasi kop rel baru yang disesuaikan dengan trase baru jalur KA lintas Makassar-Parepare pada Km. 71+900 s.d 73+600 di tentukan berdasarkan elevasi acuan yang berada pada titik akhir stasiun Mandale yang berada pada Km. 70+900 dengan elevasi +8.539. Perubahan elevasi kop rel pada jalur KA lintas Makassar-Parepare pada Km. 71+900 s.d 73+600 dapat dilihat pada table di bawah ini :

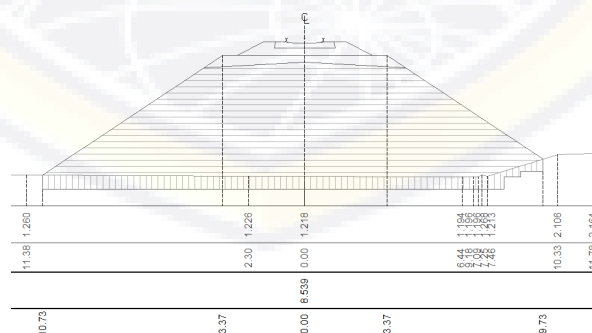
Tabel 4.3 Perbandingan elevasi kop rel trase jalan KA lama dan trase jalan KA baru

KM	Elevasi Kop Rel	KM	Elevasi Kop Rel	KM	Elevasi Kop Rel
71+900	8.539	72+475	8.539	73+050	8.539
71+925	8.539	72+500	8.539	73+075	8.539
71+950	8.539	72+525	8.539	73+100	8.539
71+975	8.539	72+550	8.539	73+125	8.539
72+000	8.539	72+575	8.539	73+150	8.539
72+025	8.539	72+600	8.539	73+175	8.539
72+050	8.539	72+625	8.539	73+200	8.539
72+075	8.539	72+650	8.539	73+225	8.539
72+100	8.539	72+675	8.539	73+250	8.539
72+125	8.539	72+700	8.539	73+275	8.539
72+150	8.539	72+725	8.539	73+300	8.539

72+175	8.539	72+750	8.539	73+325	8.539
72+200	8.539	72+775	8.539	73+350	8.539
72+225	8.539	72+800	8.539	73+375	8.539
72+250	8.539	72+825	8.539	73+400	8.539
72+275	8.539	72+850	8.539	73+425	8.539
72+300	8.539	72+875	8.539	73+450	8.539
72+325	8.539	72+900	8.539	73+475	8.539
72+350	8.539	72+925	8.539	73+500	8.539
72+375	8.539	72+950	8.539	73+525	8.539
72+400	8.539	72+975	8.539	73+550	8.539
72+425	8.539	73+000	8.539	73+575	8.539
72+450	8.539	73+025	8.539	73+600	8.539

4.3.4 Volume Timbunan Pada Alinment Jalan Baru

Akibat perubahan trase jalan KA pada Km. 71+900 s.d 73+600 elevasi jalan KA mengalami perubahan, pada kondisi desain lama pada lokasi tersebut merupakan area galian bukit sedangkan berdasarkan trase baru pada lokasi tersebut berubah menjadi timbunan. Adapun tipikal timbunan pada trase yang berubah dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 5 Tipikal cross section jalan KA pada Km. 71+900 s.d 73+600

Berdasarkan gambar tipikal cross section di atas elevasi tanah eksisting berada pada +1.218 sedangkan elevasi kop rel berada pada +8.539. Berdasarkan gambar cross section di atas di dapatkan nilai luasan tanah timbunan adalah 65.76 m², sehingga volume timbunan pada jalan KA Km. 71+900 s.d 73+600 adalah :

$$V = 65.76 \times L = 65.76 \times 1,700$$

$$V = 111,792 \text{ m}^3$$

4.3 Dampak dari Perubahan Alinyemen

Akibat yang timbul dari perubahan alinyemen jalur KA lintas Makassar-Parepare yang berada pada Km. 71+900 s.d 73+600 adalah trase tersebut sangat dekat dengan jalan raya poros Makassar-Parepare. Sehingga diperlukan pergeseran jalan raya poros Makassar-Parepare ke arah barat sepanjang 1000 meter tepatnya yang bersinggungan dengan jalur KA yang berada pada Km. 72+900 s.d 73+100.



Gambar 4. 6 Rencana alinyemen jalan raya Poros Pangkep-Barru

4.4 Perbandingan Desain Jalan KA

Perubahan alinyemen jalan KA lintas Makassar Pare-pare pada Km. 71+900 s.d 73+600 dari desain awal memiliki dampak pada kriteria desain dan biaya pembebasan lahan. Pada desain lama jalur KA pada Km. 71+900 s.d 73+600 melintasi wilayah bukit batuan sedangkan trase baru jalan KA berdekatan dengan jalan Poros Pangkep-Barru. Berikut perbandingan antara trase jalan KA lama dengan trase baru :

Tabel 4. 4 Perbandingan kriteria desain dan biaya pembebasan lahan antara trase jalan KA lama dan trase jalan KA baru

Item Perbandingan	Trase Jalan KA Lama	Trase Jalan KA Baru
Kecepatan KA (Km/jam)	70	160
Gradien Jalan KA (%)	1.5	0
Kebutuhan Pembebasan Lahan (m ²)	85,000	34,000
Harga lahan per m ²	500,000	1,300,000
Biaya Pembebasan Lahan (Rupiah)	42,500,000,000	44,200,000,000

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian terkait Tinjauan perencanaan trase jalan KA lintas Makassar Pare-Pare yang berada pada Km. 71+900 - Km.73+600 maka dapat di ambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Jalur KA lintas Makassar Pare-Pare yang berada pada Km. 71+900 - Km.73+600 melintasi bukit batuan dengan gradien desain sebesar 1.5% dimana gradien tersebut melebihi gradien maksimum berdasarkan peraturan Menteri no.60 tahun 2012 sebesar 1.0%. Untuk menghindari gradien curam tersebut maka trase jalur KA lintas Makassar Pare-Pare yang berada pada Km. 71+900 - Km.73+600 perlu dialihkan ke arah jalan poros agar mendapatkan gradien datar dan mendapatkan kecepatan sesuai yang direncanakan.
2. Dengan adanya Perubahan trase pada jalur KA lintas Makassar Pare-Pare yang berada pada Km.71+900 - Km.73+600 maka diperlukan juga pergeseran jalan poros yang bersinggungan dengan Jalur Kereta Api yang berada pada Km.72+900 – Km.73+100 sepanjang 200 meter.

5.2 Saran

Pada penelitian ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan-kekurangan yang perlu disempurnakan, sehingga penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Akibat dari perubahan trase pada jalur KA lintas Makassar Pare-Pare yang berada pada Km. 71+900 - Km.73+600 dimana jalur KA pada lokasi tersebut melintasi permukiman warga sehingga dapat mengakibatkan permasalahan sosial dan penambahan biaya pembebasan lahan
2. Akibat dari perubahan trase pada jalur KA lintas Makassar Pare-Pare yang berada pada Km. 71+900 - Km.73+600 dimana jalur KA pada lokasi tersebut bersinggungan langsung dengan jalan Provinsi maka di butuhkan analisis dampak lingkungan yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi W, Bahtiar (2018). Evaluasi Geometrik dan Struktur Jalan Rel Kereta Api Bandara Soekarno Hatta. Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- Anonimus. (2012). Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, Jakarta.
- Biomantara, K., & Herdiansyah, H. (2019). Peran Kereta Api Indonesia (KAI) sebagai Infrastruktur Transportasi Wilayah Perkotaan. *Jurnal Humaniora Bina Sarana Informatika Cakrawala*, 19(1), 1–8.
- C. Jotin Khisty & B. Kent Lall. (2003). Dasar-dasar Rekayasa Transportasi Jilid 1 edisi ketiga. Erlangga. Jakarta.
- Gunoto, P. (2013). *Optimasi Kecepatan Kereta Api Menggunakan Metode Kontrol Model Prediksi*. 5(1), 33–37.
- PJKA. (1986). Peraturan Dinas No. 10 Tentang Peraturan Perencanaan Konstruksi Jalan Rel. Bandung.
- Pribadi, A. I. (2014). *Sistem Penghitung Jarak dan Kecepatan Kereta Api Menggunakan Sensor Accelerometer MMA7361 Sebagai Sarana Informasi Bagi Penumpang*. 1, 3.
- PT. KAI. (2016). Profil PT. KAI. <http://www.kereta-api.co.id/> diakses pada Selasa, 9 Maret 2021.
- Rosyidi, S, A, P. (2015). Rekayasa Jalan Kereta Api, LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Sekretariat Negara. (2017). Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian. Lembaran Negara RI Tahun 2007, No.23. Jakarta : Republik Indonesia.
- Utomo, S, H, T. (2009). Jalan Rel, Cetakan Kedua. Beta Offset, Yogyakarta.
- Wahyuni, Indah Dwi (2020). Evaluasi Geometri Jalan Rel dan Pengaruh Pada Emplasemen (Studi Kasus: Jalur Baru di Stasiun Manggarai). Universitas Mercu Buana, Jakarta.