

# Perencanaan Geometrik Dan Analisis Kebutuhan Material Badan Jalan Rel *Double Track* Pada Lintasan KM 309+260 – KM 302+600 Divre IV Tanjung Karang

## *Double Track Railway Planning On the Track KM 309+260 – KM 302+600 Section Divre IV Tanjung Karang*

Febriyadi<sup>1</sup>, Arif Setyaji<sup>1</sup>, Exaudi<sup>1</sup>, Nur Anisa Mardhotila<sup>1</sup>, Muhammad Riski Arif<sup>1</sup>,  
Nurwanda Sari<sup>1</sup>, Siti Maulidina<sup>1</sup>, Hadyan Arifin Bustam<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Perkeretaapian, Fakultas Infrastruktur dan kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera,  
Lampung Selatan, Lampung, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik sipil , Universitas Teknokrat Indonesia, Lampung, Indonesia

Email: [febriyadi@ka.itera.ac.id](mailto:febriyadi@ka.itera.ac.id)

### Abstrak

Distribusi Batu-Bara pada PT Bukit Asam menggunakan transportasi kereta api. Hal tersebut dinilai cukup efisien sesuai dengan kemampuan kereta api yang mampu mengangkut penumpang maupun barang dalam jumlah muatan besar dalam satu kali perjalanan. Namun dalam hal keunggulan, kereta api hanya bergantung pada sebuah jalur yang mengakibatkan jarak, beban dan kapasitas lintas yang terbatas. Perencanaan jalur *Double Track* memiliki keunggulan dalam menghadapi permasalahan terkait beban dan kapasitas lintas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui solusi terkait beban lintas yang diterima pada sebuah lintasan dengan menambah sebuah jalur Kereta Api (*Double Track*) tanpa merubah *existing* jalur yang telah ada. Pada perencanaan jalan rel menggunakan kelas jalan rel dengan klasifikasi kelas I, lebar sepur 1067 mm dan panjang Trase 6,40 km. Jalan rel ini direncanakan dengan 4 lengkung *Alinyemen Horizontal* menggunakan tipe lengkung *Spiral Circle Spiral* (jari jari 850 m) dan lengkung *Full Circle* (jari jari 1650 m). Perencanaan *Alinyemen Vertikal* terapat 2 lengkung dengan jari-jari rencana 7000 m dengan nilai kelandaian sebesar 6,6%. Kebutuhan material Struktur jalan rel yang direncanakan terdiri dari Rel R60 (497 unit), Penambat elastic ganda (41.400 unit), Bantalan Beton (10.350 unit), Volume Balas (7,173 m<sup>3</sup>), Volume Balas (15.897 m<sup>3</sup>), Volume Galian (567.743 m<sup>3</sup>), dan Volume Timbunan (205.269 m<sup>3</sup>).

**Kata Kunci:** *Alinyemen Horizontal; Alinyemen Vertikal; Double Track; Trase, rel.*

### Abstract

Coal distribution at PT Bukit Asam uses railway transportation. This is considered quite efficient given the capability of trains to carry both passengers and goods in large quantities in a single trip. However, in terms of advantages, trains on a single track face limitations in distance, load, and traffic capacity. Planning a *Double Track* route offers advantages in addressing issues related to load and traffic capacity. This study aims to find solutions regarding the traffic load on a track by adding a railway line (*Double Track*) without changing the existing track. In rail track planning, the track uses rail classes with a Class I classification, a track gauge of 1067 mm, and a route length of 6.40 km. This railway is planned with 4 Horizontal Alignment curves using the *Spiral Circle Spiral* curve type (radius 850 m) and *Full Circle* curve (radius 1650 m). The Vertical Alignment planning includes 2 curves with a planned radius of 7000 m and a gradient value of 6.6%. The material requirements for the planned railway structure consist of R60 Rails (497 units), Double Elastic Fasteners (41,400 units), Concrete Sleepers (10,350 units), Ballast Volume (7,173 m<sup>3</sup>), Ballast Volume (15,897 m<sup>3</sup>), Cut Volume (567,743 m<sup>3</sup>), and Fill Volume (205,269 m<sup>3</sup>).

**Keywords:** *Alinyemen Horizontal; Alinyemen Vertikal; Double Track; Trase.*

## PENDAHULUAN

Kereta api merupakan moda transportasi darat massal yang memiliki keunggulan komparatif berupa kapasitas angkut yang besar dan efisiensi energi yang tinggi dibandingkan transportasi jalan raya. Di Indonesia, pengembangan infrastruktur kereta api menjadi prioritas nasional guna mendukung konektivitas dan logistik, sebagaimana tercantum dalam Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNas) hingga tahun 2030 (Danang, 2021). Salah satu pilar penting logistik nasional berbasis kereta api berada di wilayah Divisi Regional (DIVRE) IV Tanjung Karang, Lampung. Bersama DIVRE III Palembang, wilayah ini melayani angkutan komoditas strategis berupa batu bara pasokan energi nasional menggunakan Kereta Api Batu Bara Rangkaian Panjang (Babaranjang). Setiap rangkaian Babaranjang mampu menarik 50–60 gerbong berkapasitas 40–60 ton per gerbong dengan dukungan 2–3 lokomotif berat seperti seri CC 202 yang berbobot hingga 108 ton.

Peningkatan volume angkutan batu bara yang terus dipacu untuk memenuhi kebutuhan energi nasional berdampak langsung pada tingginya frekuensi perjalanan (*headway*) kereta api. Pada kondisi eksisting, lintasan KM 309+260 sampai dengan KM 302+600 yang menghubungkan Stasiun Tanjung Rambang dan Stasiun Sukamerindu masih beroperasi sebagai jalur tunggal (*single track*). Keterbatasan jalur tunggal ini memicu kejenuhan kapasitas lintas (*capacity bottleneck*), tingginya waktu tunggu antar-kereta (*delay time*), serta risiko penurunan keandalan struktur jalan rel akibat beban gandar (*axle load*) yang masif dan berulang dari kereta Babaranjang. Sebagai solusinya, dapat direncanakan konversi jalur tunggal menjadi jalur ganda (*double track*).

Meskipun konversi menjadi *double track* secara teoritis dapat meningkatkan kapasitas lintas, proses desain geometri menghadapi tantangan teknis yang kompleks. Beberapa penelitian terdahulu umumnya melakukan evaluasi geometri jalan rel secara standar menggunakan parameter teknis konvensional tanpa mempertimbangkan optimasi terintegrasi antara geometri, daya dukung material, dan dampak riil terhadap kapasitas lintas. belum ada studi yang secara komprehensif mengintegrasikan analisis spasial desain geometrik jalur ganda dengan optimasi kebutuhan material struktur atas-bawah rel yang secara spesifik dirancang untuk menahan beban ekstrem kereta Babaranjang (beban gandar hingga 18–25 ton) pada lintas Tanjung Rambang – Sukamerindu.

Oleh karena itu, lintasan KM 309+260 – KM 302+600 menjadi sangat krusial untuk diteliti karena merupakan urat nadi logistik energi yang memiliki

karakteristik pembebanan ekstrem yang tidak ditemui pada jalur kereta penumpang maupun barang. Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mendesak untuk menghasilkan desain geometrik jalur ganda yang tidak hanya memenuhi aspek regulasi, tetapi juga optimal dari segi daya tahan material terhadap degradasi balas dan penurunan rel akibat beban Babaranjang, sekaligus meminimalkan biaya konstruksi melalui pemilihan trase yang presisi.

pendekatan analisis terintegrasi yang menggabungkan:

1. Pemilihan trase secara sistematis berbasis analisis dengan metode SAW.
2. Optimasi desain geometri (lengkung horizontal dan vertikal) yang diselaraskan dengan simulasi peningkatan kapasitas lintas (*line capacity upgrade*) berdasarkan pemilihan trase terbaik.
3. Tahapan permodelan kontur untuk perhitungan lengkung vertikal dan horizontal.
4. Estimasi kebutuhan material yang didasarkan pada perhitungan prediksi degradasi komponen jalan rel akibat beban dinamis ekstrem.

Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan model perencanaan geometri *double track* yang lebih efisien dan berkelanjutan, yang dapat menjadi rujukan ilmiah bagi pengembangan jalur kereta api logistik berat (*heavy haul railway*) di Indonesia.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Penelitian terdahulu

Penelitian terkait perencanaan trase dan komponen badan jalan rel perkeretaapian dalam lima tahun terakhir menunjukkan fokus pada perencanaan trase jalur rel tanpa memilih alternatif trase sesuai dengan efisiensi jalur, keselamatan, serta dampak sosial dan lingkungan. Beberapa Studi sebelumnya antara lain oleh Kevin et al (2025) menyoroti aspek perencanaan struktur jalan kereta api berdasarkan kekuatan struktur bawah jalan kereta api pada lapisan ballast, lapisan sub-ballast dan lapisan subgrade dengan penambahan lapisan geotekstil. Sari et al (2024) menunjukkan bahwa Perbedaan cakupan wilayah penelitian dengan perbandingan dua trase alternatif Lokasi dan kebutuhan transportasi penumpang dan Batubara, serta analisis demand penumpang dan barang. Clarissa et al (2024) Perbedaan cakupan wilayah dan rancangan geometri trase teknis, serta

pemilihan alternatif trase yang dibuat dengan AutoCad dan Civil 3D., Zhang et al. (2020) meneliti pengembangan jalur ganda di Tiongkok sebagai solusi kapasitas lintas, sementara Ilham (2022) merencanakan Penelitian ini merancang geometri untuk jalur baru pada lintas Gorontalo – Bandara Djalaludin Gorontalo, memiliki beberapa alternatif trase dan menggunakan kelas jalan III dan kelas jalan IV namun dengan metode pemilihan yang belum detail.

### Spesifikasi Perencanaan Jalur Kereta

Spesifikasi perencanaan adalah dokumen yang berisi tentang persyaratan teknis dan standar yang harus dipenuhi dalam melaksanakan sebuah pekerjaan proyek atau kegiatan lainnya. Spesifikasi yang digunakan terdiri dari Undang Undang Republik Indonesia No 23 Tahun 2007 tentang perkeretaapian, Peraturan Dinas No 10 tahun 1986, Peraturan Menteri No 60 Tahun 2012, Peraturan KU.203/SK.298/DJKA/12/15, Rancangan Induk Perkeretaapain Nasional (RIPNas), TCRP 155 dan beberapa buku terkait perencanaan jalan rel.

### Daya Angkut Lintas

Tonase atau Daya angkut lintas Kereta api di dapat dengan menganalisa jumlah beban angkutan kereta api melewati suatu lintasan dalam jangka waktu satu tahun.

Tabel 1 Kelas Jalan Rel

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintasan (ton/tahun)	V maks (km/jam)	Beban maks gandar (ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Penambatan Elastis	Tebal Bantalan Atas
I	20.10 <sup>6</sup> - >	120	18 ton	R.60/R.54	60 cm	Ganda	30 cm
II	10.10 <sup>6</sup> - 20.10 <sup>6</sup>	110	18 ton	R.54/R.50	60 cm	Ganda	30 cm
III	5.10 <sup>6</sup> - 10.10 <sup>6</sup>	100	18 ton	R.54/R.50/R.42	60 cm	Ganda	30 cm
IV	2.5.10 <sup>6</sup> - 5.10 <sup>6</sup>	90	18 ton	R.54/R.50/R.42	60 cm	Tunggal	25 cm
V	< 2.5.10 <sup>6</sup>	80	18 ton	R.42	60 cm	Tunggal	25 cm

Klasifikasi jalan rel dan beban tonase merupakan bagian yang saling terkait dimana

besarnya jumlah daya angkut yang dilalui sebuah lintasan menentukan kelas jalan rel yang sesuai(Andry Yuliyanto et al., 2024).

### Kecepatan Rencana

Perencanaan jalur kereta api memiliki beberapa dasar pertimbangan salah satunya kecepatan, kecepatan kereta api bertujuan sebagai pertimbangan dalam mendesain atau memperhitungkan geometrik jalan rel terutama pada pelebaran dan pertinggian jalan pada saat melintasi lengkung. Perencanaan kecepatan terdiri dari perencanaan struktur jalan rel, peninggian dan jari jari lengkung peralihan(Sari et al., 2021).

### Ruang Perencanaan Jalur Kereta

Ruang Bangun pada jalur kereta api adalah ruang yang digunakan pada sisi jalan rel memiliki kriteria bebas dari segala hambatan untuk menghindari terjadinya gangguan pada saat kereta api ketika bergerak atau beroperasi. Ruang Bangun terdiri dari Ruang manfaat jalur kereta api (RUMAJA), Ruang milik Jalur kereta api (RUMIJA), dan Ruang pengawasan jalur kereta api (RUWASJA).

Ruang Bebas kereta api adalah sebuah ukuran ruang yang digunakan untuk menetapkan dimensi yang akan dilalui kereta agar tidak menghambat perjalanan kereta api. Fungsi dari ruang tersebut agar tidak terdapat benda yang menghalangi perjalanan kereta api. Ruang bebas kereta api telah ditetapkan dalam sebuah aturan salah satunya PM 60 Tahun 2012.

### Perencanaan Trase

Salah satu bagian dari merencanakan geometrik jalan rel adalah menganalisa Trase. Trase adalah rencana tapak jalur kereta api dengan titik koordinat yang diketahui. Menurut PM Nomor 11 Tahun 2011, ada empat komponen yang harus dievaluasi yaitu: teknis, hukum, keuangan, dan perencanaan(Danang, 2021).

### Perencanaan Geometri Jalan Rel

Perencanaan Geometri jalan rel adalah perencanaan jalur yang mengatur terkait bentuk, ukuran, dan tata letak lintasan rel secara horizontal dan vertikal guna menjamin keselamatan, kenyamanan, dan efisiensi operasi kereta api sesuai dengan kecepatan rencana(Oktavia et al., 2023).

Tujuan utama dari geometrik jalan rel untuk mengendalikan gaya vertikal, gaya sentrifugal, dan

gaya lateral (Utomo, 2009). Berikut merupakan hal hal yang di perhitungkan dalam merencana kan geometri jalan rel:

1. Kecepatan Rencana.
2. Lebar sepur.
3. Trase.
4. Alinyemen Horizontal.
5. *Cant* (Peninggian Jalur).
6. *Widening* (Pelebaran Jalur).
7. Alinyemen Vertikal.

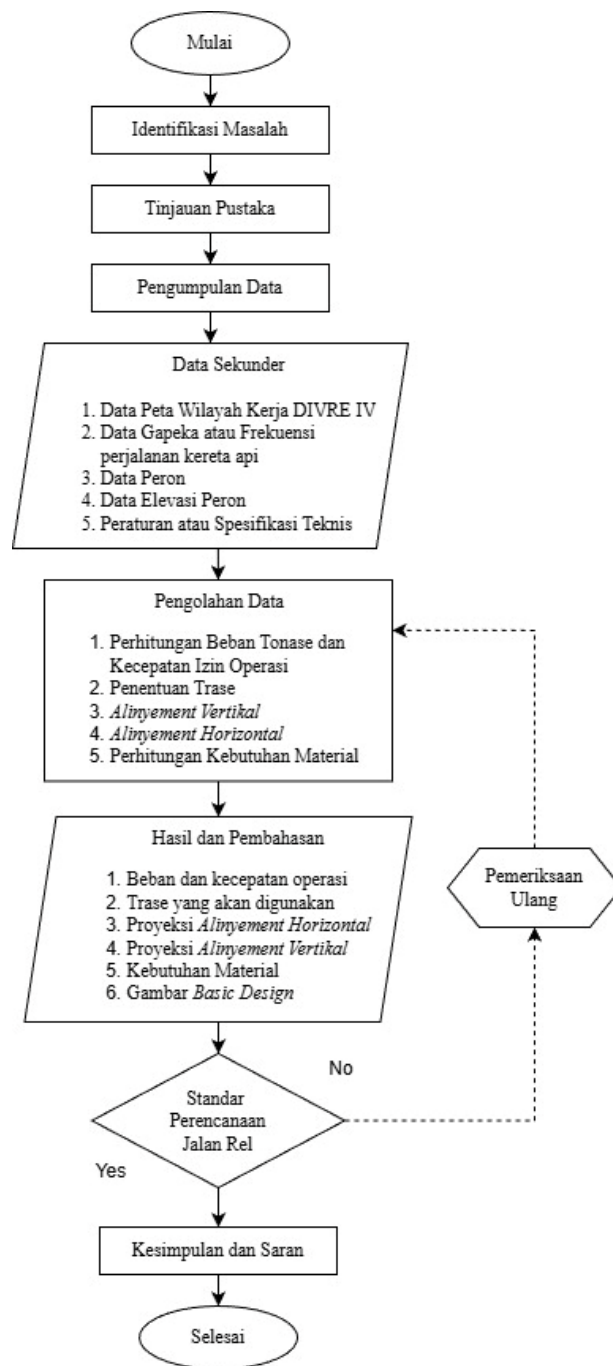
### Kebutuhan Material

Pada perencanaan jalan rel, analisis kebutuhan material menjadi salah satu langkah penting untuk mengetahui jenis dan jumlah material yang dibutuhkan selama proses pembangunan. Komponen utama seperti rel, bantalan, ballast, sub-ballast, hingga lapisan tanah dasar harus diperhitungkan dengan teliti agar sesuai dengan standar teknis yang telah ditetapkan.

Dasar dalam mnenentukan kebutuhan material hanya menggunakan rumus Volume (Balas dan Sub balas), dan aplikasi Civil 3d yang membantu perhitungan kebutuhan material galian dan timbunan (Wiarco & Aghastya, 2023).

### METODE

Penelitian penelitian ini berfokus pada metode kuantitatif, Metodologi kuantitatif merupakan metodologi mengukur suatu fenomena secara objektif melalui pengolahan data berupa angka dan menguji hubungan antar variable. Penelitian penelitian ini terdiri dari beberapa analisis yang saling berhubungan hal tersebut sangat sesuai dengan metode kuantitatif. Metode yang digunakan untuk menentukan prioritas dalam penentuan trase terpilih dengan menggunakan metode *Simple Additive Weighting* (SAW) berdasarkan multi kriteria dengan dasar pembobotan melalui wawancara para ahli kereta api seperti PT. KAI praktisi dan akedemisi di bidang kereta api. Serta menggunakan GIS dalam melakukan digitasi penentuan trase dan kordinat. Berikut merupakan gambar diagram alir dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir.

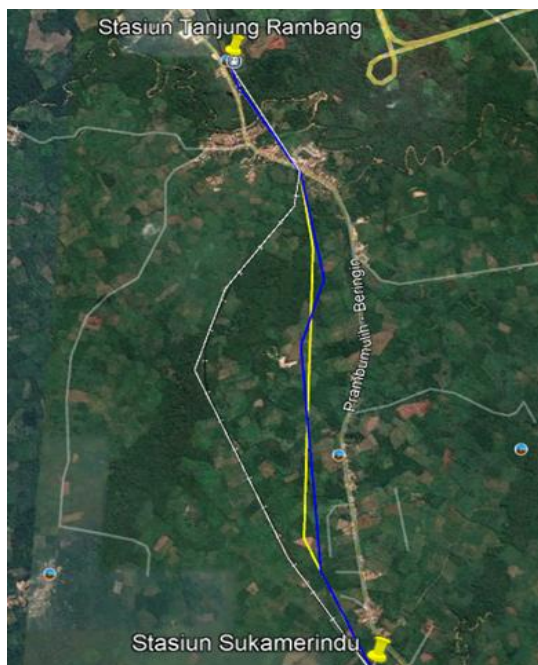
Metode kuantitatif numerik pada penelitian ini berupa perhitungan dimana data saling berhubungan satu dengan yang lain dan seluruh perhitungan menjadi dasar dari sebuah perencanaan atau pemodelan.

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengumpulkan beberapa dokumen pendukung terkait perencanaan jalur kereta api, dimana data tersebut sebagai dasar dalam menganalisis perhitungan dalam melakukan perencanaan jalur kereta api. Berikut data yang di perlukan dalam pengerjaan penelitian:

- Peta wilayah kerja DIVRE IV Tanjung karang bertujuan memastikan batas operasi antar stasiun.
- Data Gapeka adalah data grafik perjalanan kereta api. Data Gapeka bertujuan untuk mengetahui karakteristik jalur yang direncanakan baik dari beban mau pun kecepatan operasi.
- Data regulasi atau Peraturan perencanaan jalur rel adalah dokumen mengenai standar atau praturan dalam merencanakan dan mendesaian jalur kereta api. Peraturan perencanaan jalur rel bertujuan untuk memastikan bahwa desain jalur kereta api sesuai standar yang berlaku dan menajdi acuan dalam mendesain jalur kereta api.

### Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada wilayah DIVRE IV Tanjung karang pada petak jalan rel KM 309+260 – KM 302+600. Lintasan ini berada pada stasiun Tanjung Rambang hingga stasiun Sukamerindu.



Gambar 2. Peta Jalur Kereta api stasiun tanjung Rambang - Stasiun Sukamerindu  
Sumber: Qgis Peta Jalur Kereta Api.

Berdasarkan Gambar 2. Peta Jalur Kereta api Stasiun tanjung Rambang - Stasiun Sukamerindu, Terdapat beberapa jalur yang menjadi pertimbangan pada penelitian penelitian, pada jalur dengan pola berwarna biru merupakan trase 1, pada jalur dengan pola berwarna biru merupakan trase 2, dan pada jalur yang mengikuti eksisting dengan pola berwarna putih merupakan trase 3.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kelas Jalan Rel

Pada perencanaan jalan rel dari Stasiun Tanjung Rambang hingga Stasiun Suka Merindu beroperasi menggunakan jalur *single track* namun pada perencanaan jalan rel *double track* diperlukan perhitungan beban tonase.

- $TP = (\text{beban kereta penumpang (ton)} \times \text{unit})$   
 $TP = ((1 \times 52) + (42 \times 6) + (40 \times 1))$   
 $TP = 344 \text{ ton/hari.}$
- $TB = (\text{beban kereta barang (ton)} \times \text{unit})$   
 $TB = (48 \times 18)$   
 $TB = 864 \text{ ton/hari.}$
- $TI = (\text{beban Lokomotif barang dan penumpang (ton)} \times \text{unit})$   
 $TI = (84 \times 3)$   
 $TI = 252 \text{ ton/hari.}$
- $TE = TP + (KB \times TB) + (K1 \times TI)$   
 $TE = 344 \text{ ton/hari} + (1,3 \times 864 \text{ ton/hari}) + (1,4 \times 252 \text{ ton/hari})$   
 $TE = 344 \text{ ton/hari} + 1.123,2 \text{ ton/hari} + 352,8 \text{ ton/hari} = 1.820 \text{ ton/hari.}$
- $T = 360 \times S \times TE$   
 $T = 360 \text{ hari} \times 1 \times 1.820 \text{ ton/hari} = 655.200 \text{ ton/tahun.}$

Dari perhitungan yang dilakukan total beban tonase tahunan dengan rute Tiga Gajah (TJH) – Kertapati (KPT) sebesar 1.820 ton /hari dan beban tonase dalam satu tahun sebesar 655.200 ton/tahun.

Pada perencanaan jalan rel Tanjung Rambang – Sukamerindu yang dilalui oleh beberapa rute KA yaitu: Tiga Pati (Stasiun Tiga Gajah – Stasiun Kertapati), Jahpati (Stasiun Tiga Gajah – Stasiun Kertapati), Nitahan (Stasiun Nitu – Stasiun Prabumuli X6 – Stasiun Tarahan), Baratarah (Stasiun Tanjung Enim Baru – Stasiun Prabumuli Baru X6 - Stasiun Tarahan) dan Raja Basa (Stasiun Tanjung karang – Stasiun Kertapati). Maka dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, total nilai  $TE = 284.331 \text{ Ton/hari}$  dan nilai  $T = 102.359.484 \text{ Ton/Tahun.}$

apa bila beban jalan rel yang di rencanakan sebagai rute kereta api tidak bermuatan maka beban tonase yang diperoleh dengan grafik perjalanan 2025 sebesar 93.107,1 Ton/hari atau setara dengan 33.518.556 Ton/tahun.

### Penentuan Trase

Pemilihan trase double track dengan metode Simple Additive Weighting (SAW) dilakukan melalui pemberian poin pada setiap alternatif trase berdasarkan hasil wawancara para ahli, di mana tiap kriteria seperti panjang trase, jumlah lengkung, kebutuhan lahan, kawasan pemukiman, dan perlintasan sebidang memiliki bobot kepentingan yang berbeda. Nilai poin dari tiap trase kemudian dinormalisasi sesuai sifat kriteria (cost atau benefit), dikalikan dengan bobot kepentingan, lalu dijumlahkan untuk memperoleh skor akhir. Alternatif dengan skor tertinggi dianggap sebagai trase terbaik karena paling memenuhi kombinasi efisiensi biaya, keselamatan, dan dampak sosial. Hasilnya dapat di lihat pada tabel di bawah ini

Tabel 2. Penentuan Trase

<i>cost benefit</i>	<i>cost</i>	<i>benefit</i>	<i>cost</i>	<i>cost</i>	<i>cost</i>	<i>cost</i>
Kepentingan	0.2	0.15	0.1	0.2	0.25	0.1
KRITERIA	Panjang Trase (m)	kawasan pemukiman	Jumlah lengkung	perlintasan sebidang	Kebutuhan lahan (m <sup>2</sup> )	Jembatan
Rencana Trase 1	6210	331	5	2	56070	1
Rencana Trase 2	6400	392	4	2	55890	1
Rencana Trase 3	6660	425	6	2	59940	1
Pembagi	6210	425	4	2	55890	1
Normalisasi	1	0.778823	0.8	1	0.996789	1
	0.970312	0.922352	1	1	1	1
	0.932432	1	0.6666	1	0.932432	1
	432	1	66667	1	432	1

Alternatif Terbaik: Trase 2		0.9824
Hasil		rank
0.946020961	Rencana Trase 1	2
0.982415441	Rencana Trase 2	1
0.936261261	Rencana Trase 3	3

Berdasarkan analisis metode SAW di atas maka trase 2 di pilih menjadi prioritas dalam menentukan trase terbaik. Pada tabel di bawah ini juga dilakukan penentuan trase berdasarkan hasil wawancara

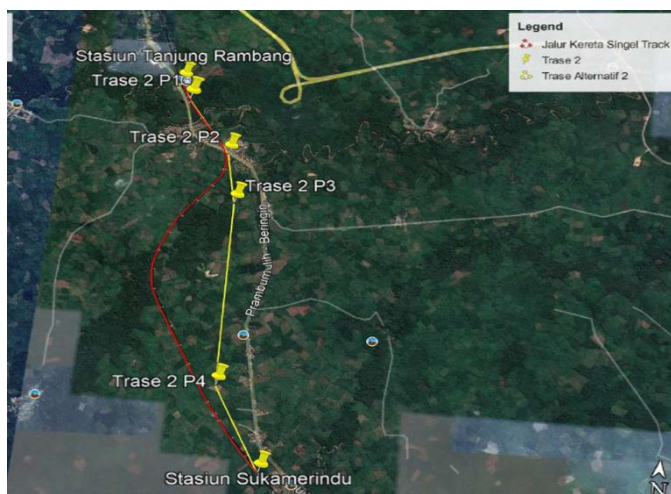
Tabel 3. Penentuan Trase

Klasifikasi	Trase 1	poin	Trase 2	poin	Trase 3	poin
Teknis						
Panjang Trase	6,21 km	3	6,40 km	2	6,66 km	1

Klasifikasi	Trase 1	poin	Trase 2	poin	Trase 3	poin
Jumlah					6	1
Tikungan	5	2	4	3		
Kecepatan operasi	80 km/jam	1	80 km/jam	1	80 km/jam	1
Sosial						
Jarak rel dengan pemukiman	1.331 m	1	1.392 m	2	1.1092 m	3
Perpotongan sungai	1	1	1	1	1	1
Perpotongan jalan raya	2	1	2	1	2	1
Ekonomi						
Kebutuhan Lahan	56.070 m <sup>2</sup>	2	55.890 m <sup>2</sup>	3	59.940 m <sup>2</sup>	1
Integrasi jaringan						
Termin al Bus	Tidak ada	1	Tidak ada	1	Tidak ada	1
total	14 Point		17 Point		11 Point	

Sumber: Data Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil evaluasi pada ketiga alternatif trase, diperoleh bahwa Trase kedua merupakan pilihan yang paling optimal dengan total nilai tertinggi yaitu 17 poin. Dari aspek teknis, Trase kedua memiliki panjang lintasan 6,40 km dengan jumlah tikungan yang lebih sedikit dibandingkan trase lainnya, sehingga memberikan geometri jalur yang lebih baik untuk mendukung kecepatan operasi hingga 80 km/jam (Ibie, 2018). Berikut rencana trase ter pilih



Gambar 3. Trase terpilih  
**Alinyemen Horizontal**

Perhitungan peninggian jalur dilakukan secara teliti berdasarkan kecepatan rencana, jari-jari lengkung, dan standar teknis yang berlaku agar sesuai dengan aspek keselamatan dan operasional kereta api. berikut merupakan perhitungan peninggian jalur kereta api:

Tabel 4. Lengkung SCS (*Spiral Circle Spiral*)

Lengkung SCS				
R rencana	R min	$0,078 \times V^2$	m	780
	R min	$0,054 \times V^2$	m	540
	R maks	$0,164 \times V^2$	m	1640
Jari Jari rencana			m	700
Lengkung Spiral	Lh / Ls	$0,01 \times h \times V$	m	85
Lengkung Cricel	Lc	$\frac{\theta c \times \pi \times R \text{ rencana}}{180}$	m	209.975

Tabel 5. Lengkung FC (*Full Circle*)

Lengkung FC				
R rencana	R min	$0,164 \times V^2$	m	1640
	R regulasi	100 km/jam	m	1650
	jari jari rencana		m	1650
Lengkung Cricel	Tc	$R_{min} \times \tan \frac{1}{2} \times \Delta$	m	312.1
Panjang Tangent	Lc	$2 \times \pi \times R \left( \frac{\Delta \text{ Trase } 2p1}{360^\circ} \right)$	m	156.5

**Perhitungan Peninggian jalur kereta api**

Dari perhitungan lengkung SCS dan FS yang telah dilakukan, berikut merupakan hasil perhtiungan proyeksi peninggian jalan rel yang di ditampilkan dibawah ini:

- a. Peninggian Rel (*Spiral-Circel-Spiral*)

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \times \frac{(V_{\text{rencana}})^2}{R}$$

$$= 5,95 \times \frac{(100)^2}{850}$$

$$= 70 \text{ mm}$$

$$h_{\text{Maksimum}} = 110 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 1} = \frac{1}{4} \frac{85}{85} \times 70 \text{ mm} = 17,5 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 2} = \frac{2}{85} \frac{85}{85} \times 70 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 3} = \frac{3}{85} \frac{85}{85} \times 70 \text{ mm} = 52,5 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 4} = \frac{85}{85} \times 70 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$$

- b. Peninggian Rel (*Full Circel*)

$$h_{\text{normal}} = 5,95 \times \frac{(V_{\text{rencana}})^2}{R}$$

$$= 5,95 \times \frac{(100)^2}{1650}$$

$$= 36 \text{ mm}$$

$$h_{\text{Maksimum}} = 110 \text{ mm}$$

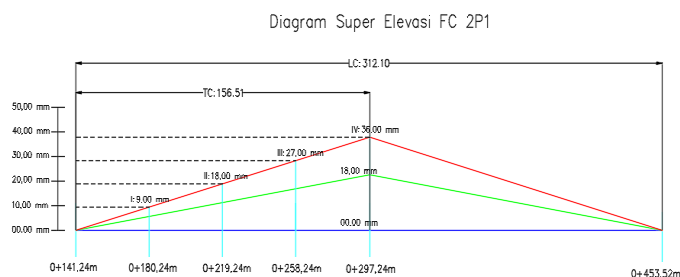
$$\text{Titik 1} = \frac{1}{4} \frac{156}{156} \times 36 \text{ mm} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 2} = \frac{2}{156} \frac{156}{156} \times 36 \text{ mm} = 18 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 3} = \frac{3}{156} \frac{156}{156} \times 36 \text{ mm} = 27 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 4} = \frac{156}{156} \times 36 \text{ mm} = 36 \text{ mm}$$

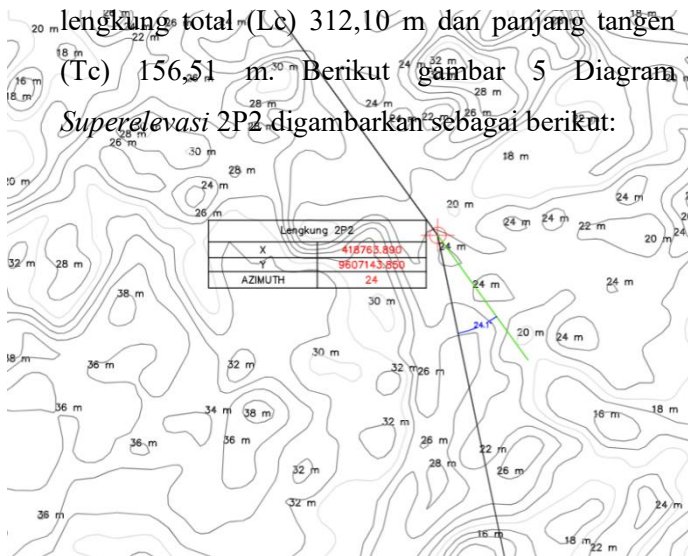
Peninggian lengkung dilakukan dengan menambah tinggi rel bagian luar dan rel bagian dalam sebagai acuan. Berikut gambar 4 Diagram *Superelevasi 2P1* digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Superelevasi 2P1

Berdasarkan diagram *superelevasi FC 2P1*, peninggian rel direncanakan secara bertahap mulai dari 0 mm pada STA 0+141,24 hingga mencapai

maksimum 36 mm pada STA 0+297,24. Setelah titik maksimum nilai peninggian kembali diturunkan hingga 0 mm di STA 0+453.52. Proses transisi ini dibagi menjadi beberapa tahap yaitu 9 mm, 18 mm, 27 mm hingga puncak 36 mm dengan panjang lengkung total ( $L_c$ ) 312,10 m dan panjang tangen ( $T_c$ ) 156,51 m. Berikut gambar 5 Diagram Superelevasi 2P2 digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5. Diagram Superelevasi 2P2

Berdasarkan diagram *superelevasi* SCS 2P2, peninggian rel dilakukan secara bertahap mulai dari 0 mm pada STA 1+116,27 hingga mencapai maksimum 70 mm. pada STA 1+201,27 Nilai elevasi ini kemudian dipertahankan sepanjang lengkung utama ( $L_c = 209,9$  m) sebelum akhirnya diturunkan kembali secara bertahap hingga 0 mm pada STA 1+496,24. Proses transisi peninggian dibagi dalam beberapa tahap yaitu 17,5 mm, 35 mm, 52,5 mm, dan mencapai puncak 70 mm. Berikut hasil gambar trase lengkung horizontal 2P2.

### Alinyemen Vertikal

Pemodelan elevasi permukaan tanah merupakan tahap penting dalam proses perencanaan penambahan jalur kereta api dimana tujuan pemodelan ini untuk menggambarkan kondisi

topografi eksisting secara akurat dalam bentuk model dua dimensi. Melalui pemodelan ini perencana dapat menganalisis perbedaan ketinggian, kemiringan lahan, serta menentukan kebutuhan pekerjaan tanah seperti galian dan timbunan secara presisi. Berikut merupakan Tabel 6 Proses pemodelan elevasi permukaan tanah dapat terlihat pada diagram dibawah ini:

Tabel 6. Tahapan Pemodelan Peta Kontur

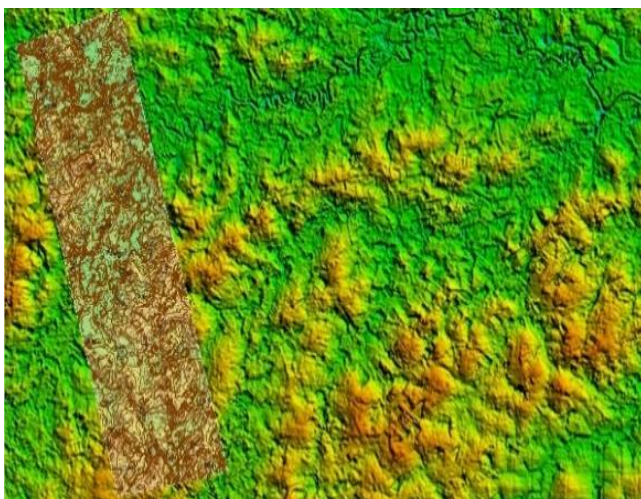
Proses		Aplikasi	
Data Batas lahan yang akan direncanakan menggunakan Data Polygon Tertutup	Input	Google Earth Pro	Polygon Tertutup
Penentuan area yang akan digunakan sesuai dengan UTM		Web Demnas	Data Demnas
Pengolahan data demnas dan data Polygon tertutup menjadi Data kountur.	Proses	Global Mapper	Data Kontur
Penogolahan Data Kontur (Global Mapper) ke dalam bentuk (DWG File)	Output	Civil 3D	Gambar Kountur

Berdasarkan Tahapan Pemodelan Peta Kontur pada tabel 6, Polygon tertutup yang dibuat menggunakan *Google Earth* merupakan data yang digunakan untuk menentukan batas wilayah perencanaan seperti koridor trase, zona pekerjaan tanah, atau area survei topografi. Setelah file *polygon* diekspor dalam format KML, file ini diimpor ke dalam *Global Mapper* untuk menjadi batas kerja (*boundary*) pengolahan data elevasi. Fungsi utama data DEM adalah sebagai basis data ketinggian yang digunakan untuk menganalisis dan memvisualisasikan bentuk

permukaan tanah secara akurat dalam batas wilayah yang telah ditentukan oleh polygon tertutup (Wiarco & Aghastya, 2023). Untuk memahami lebih dalam dapat dilihat pada gambar 6. Poligon Tertutup (Area Rencana) dan Gambar 7. Surface Model sebagai berikut:



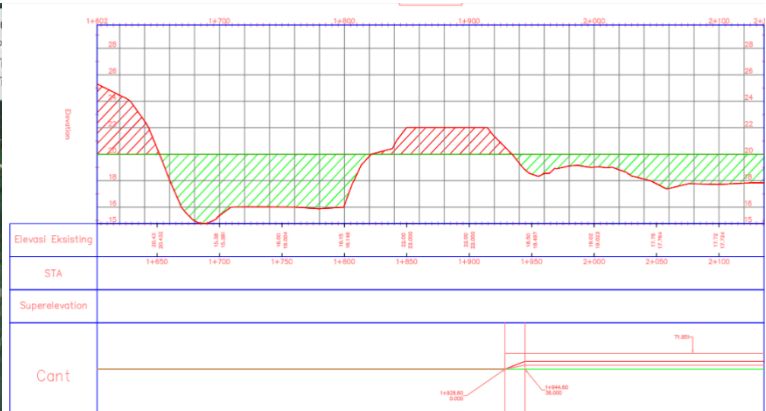
Gambar 6. Poligon Tertutup (Area Rencana)



Gambar 7 Surface Model

Data kontur dan diubah menjadi *surface model* menggunakan fitur *Create Surface* dan *Add Contour*, sehingga menghasilkan model tiga dimensi dari kondisi lapangan yang sebenarnya seperti pada gambar 4. 16 Trase Alinyement Vertikal. Setelah data kontur diperoleh dilakukan proses penentuan trase rencana (*alinyement*) yang meliputi perencanaan garis sumbu (*centerline*), penentuan

PVI (*Point of Vertical Intersection*), serta pembuatan lengkung vertikal (*Vertical Curve*) untuk memastikan kelandaian dan kenyamanan lintasan sesuai standar perkeretaapian. Berikut merupakan hasil dari penentuan Alinyement Vertikal pada Gambar 8 Trase Alinyement Vertikal, dibawah ini.



Gambar 8. Trase Alinyement Vertikal

Berdasarkan PM 60 Tahun 2012 dalam penentuan lengkung vertikal, kecepatan rencana yang digunakan sebesar 100 km/jam dengan jari-jari minimum 7000 m ( $R_{min} = 6000$  m). Berikut merupakan contoh perhitungan lengkung vertikal:

- Perhitungan  $\theta$ 

$$\theta = \frac{(g1 - g2)}{100} \times 1000$$

$$= \frac{(0.00\% - 0.66\%)}{100} \times 1000$$

$$= 0,66\%$$
- Perhitungan  $L_v$ 

$$L_v = R \times \theta$$

$$= 7000 \times 0,0066$$

$$= 46,2 \text{ m}$$
- Perhitungan  $E_v$ 

$$E_v = \frac{A - L}{800}$$

$$= \frac{0,66 - 46,2}{800}$$

$$= 0,038 \text{ mm}$$
- Perhitungan Elevasi PVC dan Elevasi PVT
$$PVC = Elevasi PVI - G1 \times \frac{1}{2} \times L_v$$

$$= 20,00 \text{ m} - (0,00 \times \frac{1}{2} \times 46,2 \text{ m})$$

$$= 20,00 \text{ m}$$

$$PVT = Elevasi PVI + G2 \times \frac{1}{2} \times L_v$$

$$= 20,00 \text{ m} + (0,66 \times \frac{1}{2} \times 46,2 \text{ m})$$

$$= 20,15 \text{ m}$$

- e. Perhitungan STA Elevasi PVC dan STA Elevasi PVT

$$\begin{aligned} STA\ PVC &= STA\ PVI - 0,5 \times Lv \\ &= 2.300,00 - (0,5 \times 46,2\ m) \\ &= 2.276,9\ m\ (STA\ 2 + 276,9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} STA\ PVT &= STA\ PVI + 0,5 \times Lv \\ &= 2.300,00 + 0,5 \times 46,2\ m \\ &= 2.323,1\ m\ (STA\ 2 + 323,1) \end{aligned}$$

Hal ini menunjukkan bahwa desain lengkung vertikal dibuat menyesuaikan peraturan yang berlaku, dimana pada kelas jalan rel 1 nilai landai maksimum sebesar 10 ‰, bertujuan untuk menjaga elevasi trase yang cukup curam.

### Kebutuhan Material

Pada perencanaan jalan rel, analisis kebutuhan material menjadi salah satu langkah penting untuk mengetahui jenis dan jumlah material yang dibutuhkan selama proses pembangunan. Komponen utama seperti rel, bantalan, ballast, sub-ballast, hingga lapisan tanah dasar harus diperhitungkan dengan teliti agar sesuai dengan standar teknis yang telah ditetapkan. Berikut perhitungan kebutuhan material.

a.  $Kebutuhan\ Rel = \frac{Panjang\ Track}{panjang\ rel/batang} \times 2$

$$\begin{aligned} &= \frac{6120\ m}{24\ m} \times 2 \\ &= 496,8\ \text{atau}\ 497\ \text{Unit} \end{aligned}$$

b.  $penambat = \frac{Panjang\ Track}{Jarak\ antar\ penambat} \times 4$

$$\begin{aligned} &= \frac{6120\ m}{0,6\ m} \times 4 \\ &= 41.400\ \text{Unit} \end{aligned}$$

c.  $Kebutuhan\ Bantalan = \frac{Panjang\ Track}{jarak\ bantalan}$

$$\begin{aligned} &= \frac{6120\ m}{0,6\ m} \\ &= 10.350\ \text{unit} \end{aligned}$$

d.  $Kebutuhan\ Balas =$   
 $Jarak\ Track \times luas\ penampang\ balas$

$$\begin{aligned} &= 6120\ m \times \left( \frac{3\ m + 4,7\ m}{2} \times 0,3\ m \right) \\ &= 7.172,5\ m^3\ \text{atau}\ 7173\ m^3 \end{aligned}$$

e.  $Kebutuhan\ Sub\ Balas =$   
 $Panjang\ jalur \times luas\ penampang\ balas$

$$\begin{aligned} &= 6120\ m \times \left( \frac{5,3\ m + 7,5\ m}{2} \times 0,4\ m \right) \\ &= 15.897,56\ m^3\ \text{atau}\ 15.897\ m^3 \end{aligned}$$

### Volume Galian Timbunan

Perhitungan volume galian dan timbunan pada jalur kereta api dilakukan menggunakan perangkat

lunak *Civil 3D* dengan interval setiap 0,5 km. Hasil perhitungan tersebut disajikan dalam bentuk tabel untuk menunjukkan besarnya volume galian dan timbunan pada setiap segmen jalur.

Tabel 7 Volume *Cut and Fill*

Station	Fill Area	Cut Area	Fill Vol	Cut Vol	Cumulativ e Fill Volume	Cumulativ e Fill Volume
0+100.0	0.00	88.72	0.00	0.00	0.00	0.00
0+150.0	0.00	86.92	0.00	4390	0.00	4390
0+200.0	0.00	69.35	0.00	3905	0.00	8296
0+300.0	0.00	86.74	0.00	3900	0.00	12197

Berdasarkan hasil perhitungan volume material galian dan timbunan pada STA 0+100 hingga STA 0+150 diperoleh bahwa volume galian sebesar 4.390,94 m<sup>3</sup> sedangkan volume timbunan bernilai 0 m<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa pada segmen jalur tersebut seluruh pekerjaan berupa galian tanpa adanya kebutuhan timbunan, sehingga kontur alami di area tersebut berada lebih tinggi dari elevasi rencana trase rel.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, Adapun kesimpulan yang penulis dapatkan sebagai berikut:

1. Trase kedua lebih dominan dibandingkan Trase pertama dan Trase ketiga. Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan metode SAW Trase kedua menunjukkan keunggulan antara aspek teknis, sosial, dan ekonomi, dengan panjang jalur 6,40 km. Jumlah tikungan yang lebih sedikit nilai sudut yang besar menjadi daya Tarik mengingat aspek teknis merupakan tujuan utama pada perencanaan penelitian ini serta kebutuhan lahan yang relatif efisien. Selain itu, jarak trase ini terhadap pemukiman dan elemen lingkungan lainnya masih dalam batas aman sehingga meminimalisir dampak sosial dan biaya konstruksi.
2. Pada perencanaan jalur *double track* menggunakan metode kuantitatif numerik dengan beberapa metode Perencanaan dilakukan dengan menambah jalur tanpa merubah eksisting rel yang telah ada sebelumnya, pada perencanaan Alinyemen horizontal terdapat 4 lengkung dimana pada lengkung menggunakan dua tipe lengkung (*Spiral-Circle-Spiral* dan *Full Circle*),

- terdapat dua lengkung vertikal dengan nilai kelandaian 6,6‰ dengan jari jari 7000 m.
- Perhitungan menunjukkan kebutuhan konstruksi yang signifikan, meliputi 497 batang rel, 41.400 penambat, 10.350 bantalan beton, 7.173 m<sup>3</sup> ballast, 15.897 m<sup>3</sup> sub-ballast, 567.743 m<sup>3</sup> galian, dan 205.269 m<sup>3</sup> timbunan. Estimasi ini memberikan gambaran realistis mengenai skala pekerjaan dan dapat dijadikan acuan dalam perencanaan anggaran serta pelaksanaan proyek jalur ganda.
  - Jalur optimal adalah arah Sukamerindu–Tanjung Rambang pada trase 2 karena sesuai dengan distribusi beban terbesar (284.331,9 ton/hari). Pembangunan double track meningkatkan kapasitas lintas, mengurangi antrian perjalanan, memperlancar distribusi batubara, serta memungkinkan peningkatan frekuensi layanan penumpang. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan perkeretaapian nasional melalui peningkatan efisiensi logistik dan kualitas layanan transportasi.

## REFERENSI

- Andry Yuliyanto, Galih Rio Prayogi, Michael, Frans Dermanto Hutabarat, & Muhammad Abi Berkah Nadi. (2024). Evaluasi rel dan bantalan berdasarkan beban angkut lintas dan kinerja operasi kereta api (studi kasus: jalan rel Tanjung Karang-Rejosari). *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 13(1), 26–35. <https://doi.org/10.22225/pd.13.1.9159.26-35>
- Danang, parikesit. (2021). *Perencanaan Jalan Rel* (W. Sony S (ed.)). Scopindo Media Pustaka.
- Ibie, E. (2018). Tinjauan Geometrik Jalan Rel Kereta Api Trase Puruk Cahu–Bangkuang–Batangjungs (Sta 212+ 000–Sta 213+ 000). *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang ...*, 1(April), 136–145.
- Oktavia, A., Michael, M., & Situmeang, M. J. (2023). Perencanaan Desain Geometri Jalan Rel Rute Rejosari - Tarahan. *Cived*, 10(2), 730–737. <https://doi.org/10.24036/cived.v10i2.429>
- idho, A.M.,”Perencanaan Geometri Jalan Rel Trase Bakauheni-Sidomulyo”. *Journal of Science and Applicative Tecnology*. Vol. 5 No. 1. p. 148-147. 2021.
- Yustikasari, M., “Manajemen Sarana Prasarana dan Prasarana Perkeretaapian di PT. Kereta Api Indonesia (Persero) Daerah Operasi (Daop) VII Madiun”. Surakarta: Universitas Sebelas Maret. 2011.
- Wasanta, Tilaka., “Desain Jalan Rel untuk Transportasi Batu Bara Rangkaian Panjang (Studi Kasus : Sumatera Selatan)”. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan. 2017.
- Rosadi, R.S, dkk.,”Perencanaan Geometri Jalan Rel Antara Banyuwangi-SitubondoProbolinggo”. *Jurnal Teknik Pomits*. Vol. 2 No. 1. 2013.
- Murniati & Desriantomy,”Tinjauan Geometri Jalan Kereta Api Trase Puruk CahuBangkuang-Batangjungs (STA 212+000 – 213+000)”. *Jurnal Teknika*. Vol. 1 No. 2. p. 136-145. 2018.
- Aziz, W.A. et al.,”Perencanaan Geometri Jalan Rel Berdasarkan Trase Terpilih Lintas Dolopo-Surodikraman”. *Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-23*. Oktober 2020.
- Harjono, S., “Analisis Karakteristik Angkutan Kereta Api Stasiun Bandar Tinggi-Kuala Tanjung (Studi Kasus)”. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. 2019.
- [ Raihan, et al., ‘Evaluasi Geometrik dan Struktur Jalan Rel Kereta Api pada Stasiun Jember-Rambipuji-dan Arjasa’. Jawa Timur: Universitas Muhammadiyah Jember. 2015.
- Sari, W. N., Nadi, M. A. B., & Ridho, A. M. (2021). Perencanaan Geometri Jalan Rel Trase Bakauheni – Sidomulyo. *Journal of Science and Applicative Technology*, 5(1), 148. <https://doi.org/10.35472/jsat.v5i1.407>
- Utomo, S. H. (2009). *Perencanaan Jalan Rel*. Beta offset Yogyakarta.
- Wiarco, Y., & Aghastya, A. (2023). Perencanaan Jalur Kereta Api Lintas Kamal-Suramadu Dengan Global Mapper dan Autocad Civil 3dD. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, 7(2), 53–60. <https://doi.org/10.37367/jpi.v7i2.309>