

BAB II

ANALISIS PERANCANGAN GEOMETRI JALAN REL

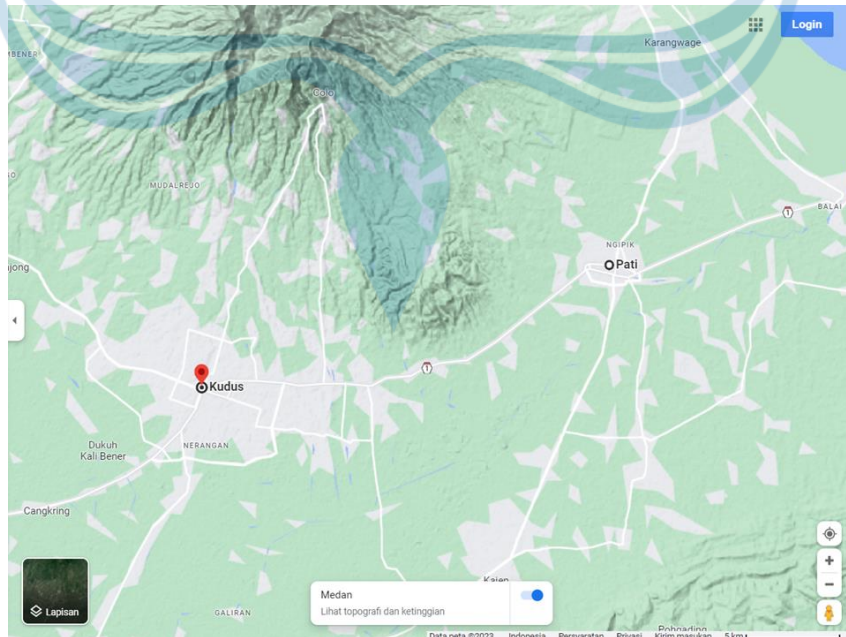
2.1 Analisis dan Penentuan Trase

2.1.1. Evaluasi Kondisi Topografi Daerah Perencanaan

Evaluasi kondisi topografi dilakukan guna mendapatkan kejelasan keadaan topografi pada daerah yang akan dilakukan pembangunan jalan rel, yakni pada sepanjang trase yang telah direncanakan. Hasil dari pada evaluasi tersebut dijelaskan sebagai berikut.

1. Kondisi Topografi

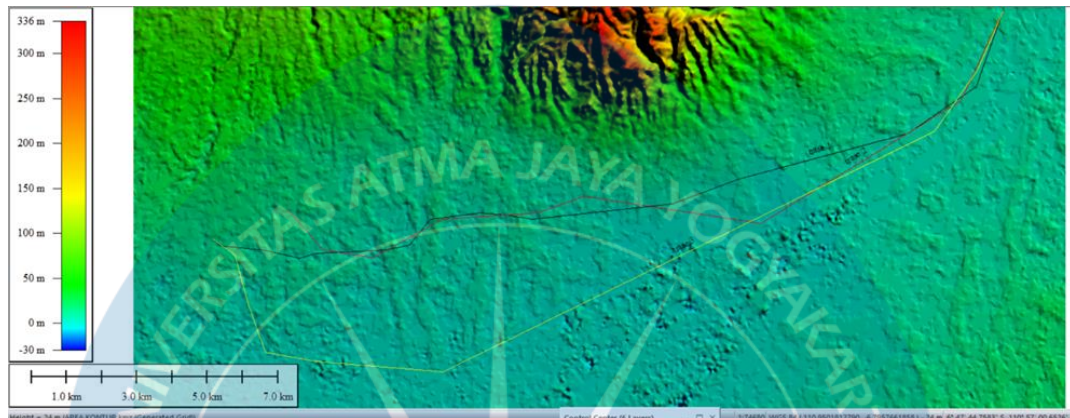
Pada Pembuatan Tugas Akhir Perancangan Infrastruktur ini, digunakan beberapa data salah satunya data sekunder. Penggunaan data sekunder diambil melalui beberapa bantuan aplikasi untuk mendapatkan tampilan dari citra satellite pada lokasi pembuatan trase. Pembuatan Tugas Akhir Perancangan Infrastruktur ini, menggunakan citra satellite Google untuk memperlihatkan tampilan kondisi wilayah perencanaan baik mulai dari pemukiman, perkebunan, sungai, jalan dan lain sebagainya. Dari citra satellite google maps didapat kondisi topografi seperti pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Kondisi Topografi Citra Google Maps.

Sumber: Google Maps, 2023.

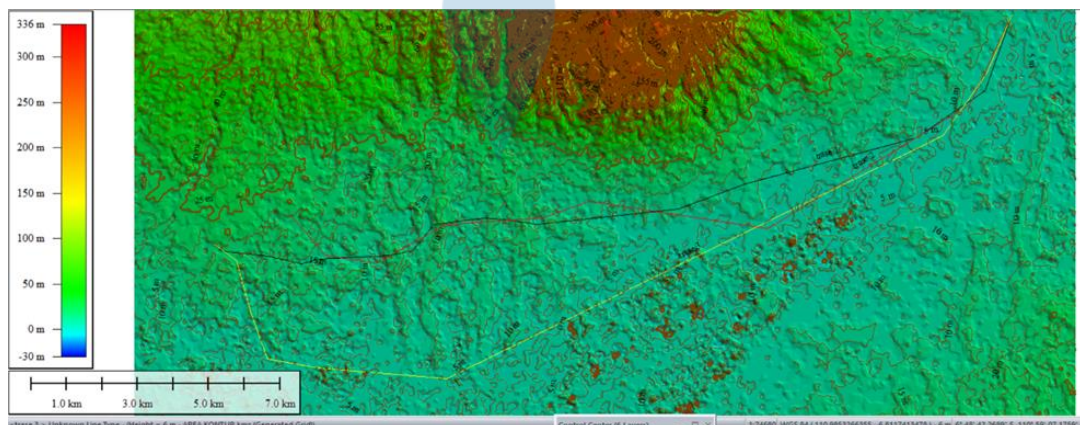
Hasil yang didapat dari tangkapan citra satellite google, terlihat jika kondisi pada wilayah Kudus menuju Pati memiliki topografi yang terbilang sedang karena dalam lokasi tersebut terbilang landai daerahnya. Pada lokasi Kudus menuju Pati memiliki elevasi yang tidak ekstrim. Berikut ini adalah data yang menunjukkan bahwa elevasi atau ketinggian wilayah dilokasi tersebut stabil, pengukuran dilakukan dengan menggunakan aplikasi Global Mapper dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 2.2 Kondisi Topografi Citra Global Mapper.

Sumber: Global Mapper ,2023.

Data yang diperoleh dari pengolahan pada Global Mapper menunjukkan bahwa daerah yang akan dilakukan reaktifvasi jalan rel kudus menuju pati memiliki elevasi antara 0 meter hingga 50 meter. Dari pengolahan ini juga mendapat data kontur pada daerah yang ditinjau yang nantinya dapat digunakan sebagai acuan dari perencanaan desain jalur trase kereta api. Berikut merupakan hasil kontur yang diperoleh dari aplikasi Global Mapper dapat dilihat pada **Gambar2.3**.



Gambar 2.3 Kontur Citra Global Mapper.

Sumber: Global Mapper, 2023.

2. Hasil Evaluasi Kondisi Topografi

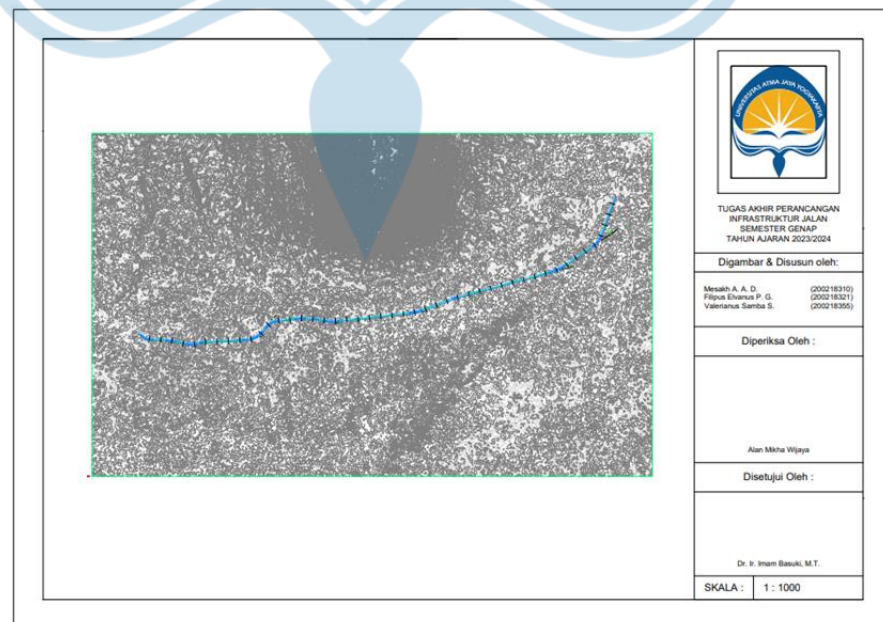
Bedasarkan analisis data yang telah dilakukan dan pengukuran elevasi serta kontur dari bantuan aplikasi Global Mapper dan pencitraan topografi dari satellite Google , maka diperoleh hasil evaluasi sebagai berikut ini.

- a. Lokasi yang akan dilakukan perencanaan reaktifvasi jalan rel Kudus menuju Pati berada didaerah yang terbilang landai.
- b. Pada perencanaan trase didominasi dengan area persawahan/perkebunan dan juga pemukiman penduduk.
- c. Lokasi penepatan titik awal direncanakan berada di daerah timur dari pusat kota Kudus dan lokasi akhir titik direncanakan berada di daerah selatan dari pusat kota Pati.
- d. Perencanaan trase yang akan dilakukan hanya memungkinkan melalui bagian dari selatan Jalan Raya Kudus-Pati karena pada bagian Utara Jalan Raya Kudus-Pati memiliki daerah yang berbukit dengan elevasi yang tidak stabil.

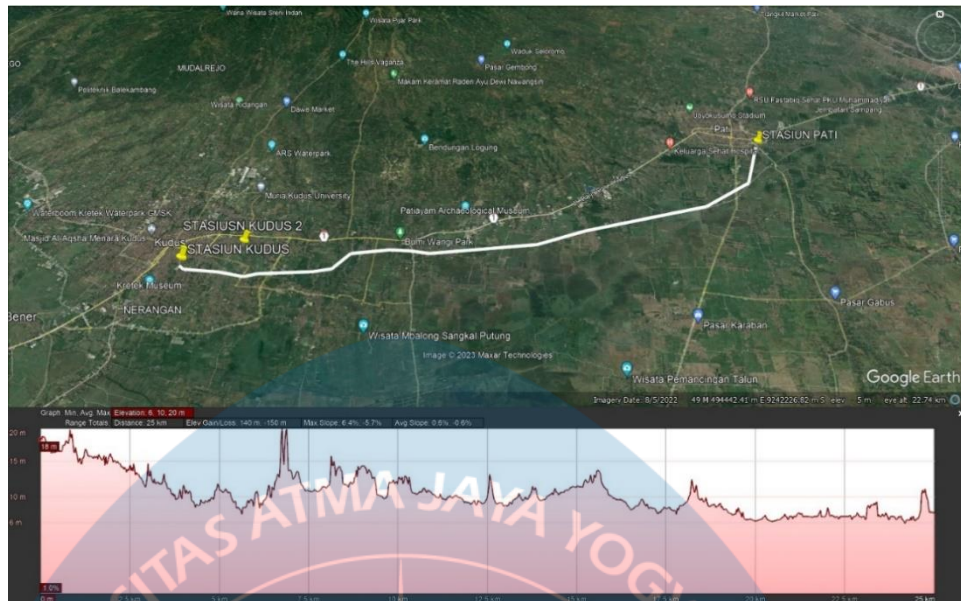
2.1.2. Penentuan Trase Jalan Rel

Dalam penentuan dari trase jalan rel, terdapat beberapa alternatif yang nantinya akan dipilih satu dari beberapa pilihan alternatif trase yang tersedia.

1. Alternatif Trase Jalan Rel I



Gambar 2.4 Rencana Trase 1.

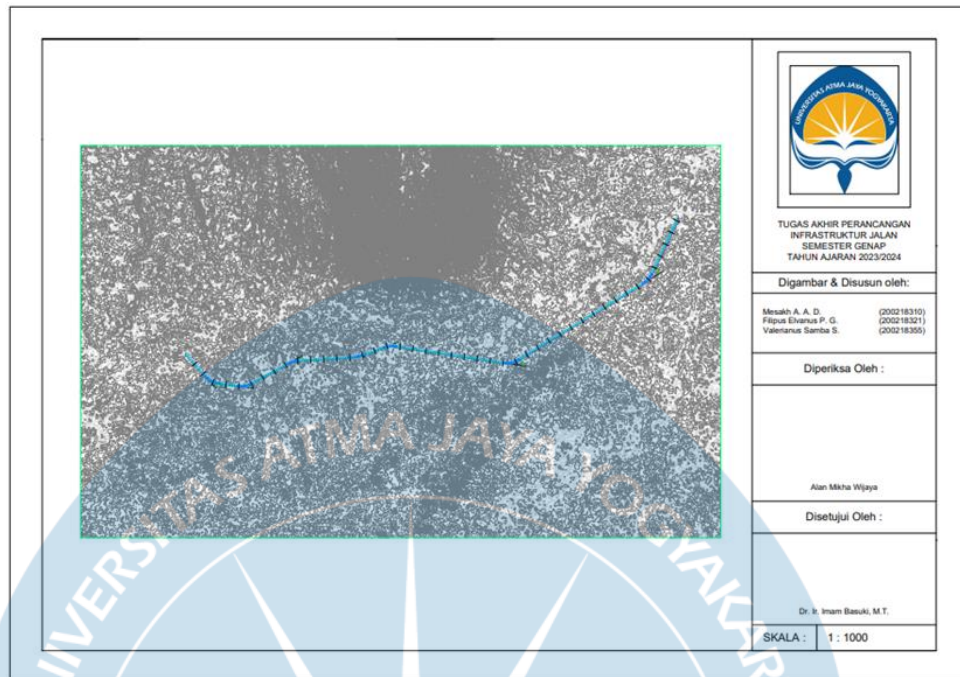


Gambar 2.5 Elevasi Trase 1.

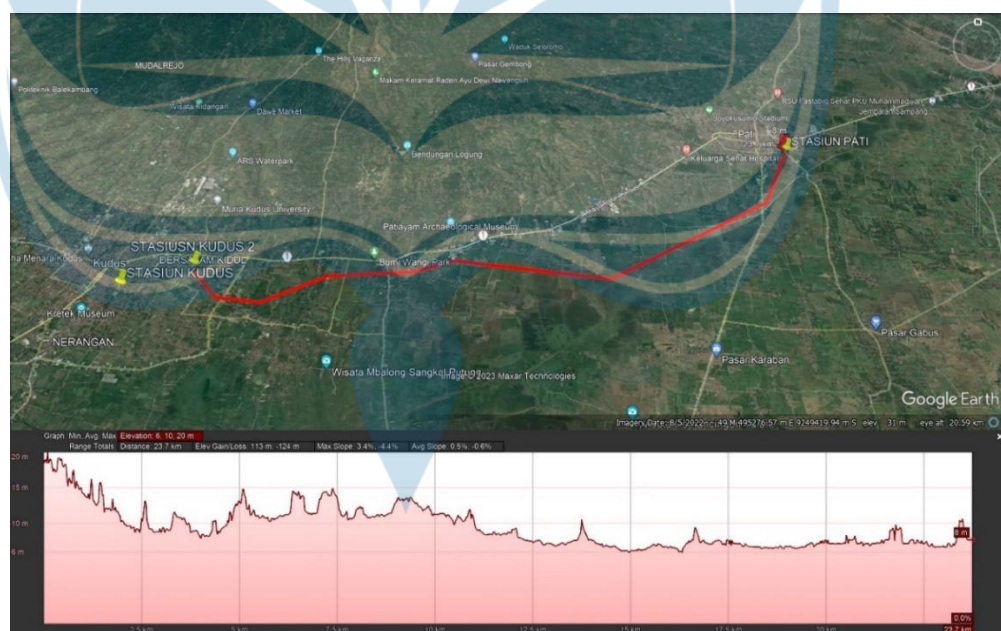
Sumber: Citra satelit Google Earth Pro.

Trase ini memiliki panjang rel rencana sekitar 24,897 km dan melewati 12 sungai besar dan kecil. Trase pertama ini merupakan trase *at grade* dengan kelandaian maksimum 3,6 %. Trase ini memanfaatkan bagian samping ruas jalan nasional sehingga jalan kereta akan berdampingan dengan jalan nasional, melewati 12 sungai, serta membutuhkan 44 perlintasan sebidang. Dalam desain rencana trase ini memotong 218 buah rumah penduduk, sebuah parkir GOR, 3 buah sentra industri, serta sebuah sekolah. Dalam desain rencana trase ini memiliki volume timbunan sebesar 218.387,79 m³ serta memiliki volume galian sebesar 1.903.386,69 m³ sehingga selisih galian dan timbunannya sebesar 1.684.998,9 m³. Trase ini memiliki jumlah tikungan sebanyak 14 buah tikungan.

2. Alternatif Trase Jalan Rel II



Gambar 2.6 Rencana Trase 2.



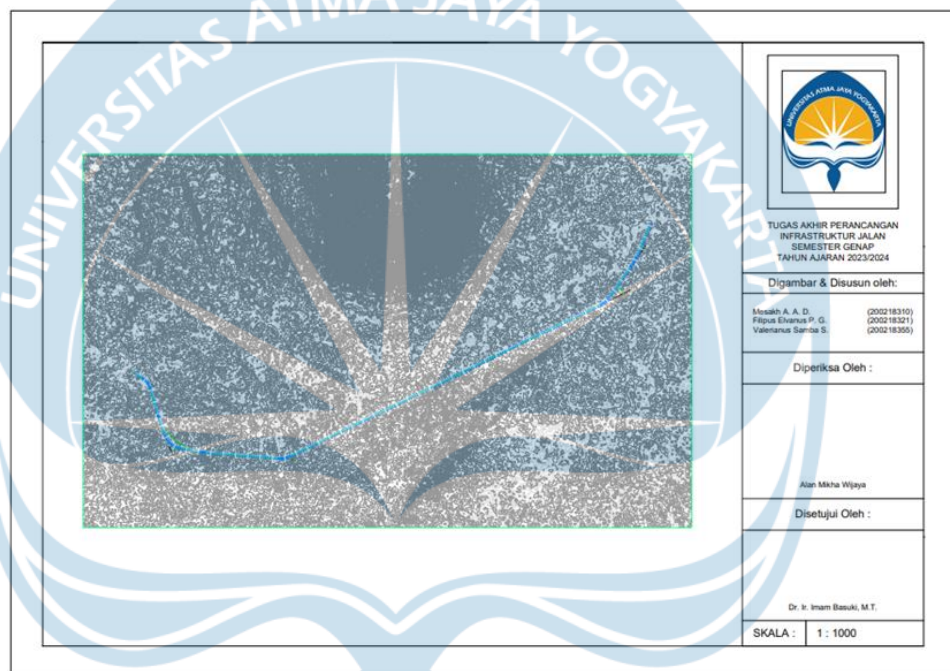
Gambar 2.7 Elevasi Trase 2.

Sumber: Citra satellit Google Earth Pro.

Trase ini memiliki panjang rel rencana sekitar 23,6 km dan melewati 16 sungai besar dan kecil. Trase kedua ini merupakan trase *at grade* dengan kelandaian maksimum 2,1 %. Trase ini memanfaatkan bagian samping ruas jalan nasional dan

sebagian menggunakan lahan kosong tanpa bangunan, serta melewati 16 sungai, serta membutuhkan 34 perlintasan sebidang. Dalam desain rencana trase ini memotong 131 buah rumah penduduk, sebuah parkiran GOR, 2 buah sentra industri, serta sebuah sekolah. Dalam desain rencana trase ini memiliki volume timbunan sebesar 756.365,91 m³ serta memiliki volume galian sebesar 169.193,18 m³ sehingga selisih galian dan timbunannya sebesar 587.173,73 m³. Trase ini memiliki jumlah tikungan sebanyak 7 buah tikungan.

3. Alternatif Trase Jalan Rel III



Gambar 2.8 Rencana Trase 3.



Gambar 2.9 Elevasi Trase 3.

Sumber: Citra satelit Google Earth Pro.

Trase ini memiliki panjang rel rencana sekitar 27,865 km dan melewati 26 sungai besar dan kecil. Trase ketiga ini merupakan trase *at grade* dengan kelandaian maksimum 5,3 %. Trase ini memanfaatkan cukup banyak lahan kosong tanpa bangunan, serta melewati 26 sungai, serta membutuhkan 19 perlintasan sebidang. Dalam desain rencana trase ini memotong 75 buah rumah penduduk, sebuah parkir GOR, sebuah sentra industri, sebuah sekolah, serta sebagian kecil sebuah peternakan. Dalam desain rencana trase ini memiliki volume timbunan sebesar 79.224,4 m³ serta memiliki volume galian sebesar 2.008.216,38 m³ sehingga selisih galian dan timbunannya sebesar 1.928.991,98 m³. Trase ini memiliki jumlah tikungan sebanyak 7 buah tikungan.

2.1.3. Perencanaan Trase *Double Track*

Pemilihan trase rencana adalah dengan memberikan skor kepada masing-masing kriteria. Kemudian, alternatif yang memiliki skor tertinggi akan dijadikan sebagai trase rencana.

Skor diberikan dengan menggunakan angka 1 sampai 4, dengan nilai 1 sebagai skor terkecil dan nilai 4 sebagai skor tertinggi. Adapun kriteria yang dijadikan dalam pemilihan trase ini adalah:

1. Teknis

Secara teknis terdapat beberapa variabel penentu seperti panjang trase, jumlah tikungan, galian-timbunan, kelandaian maksimum.

a. Panjang Trase

Panjang trase memengaruhi biaya dari pembuatan rel kereta api sehingga semakin pendek akan semakin baik.

b. Jumlah tikungan

Jumlah tikungan akan memengaruhi kenyamanan penumpang kereta api, sehingga semakin sedikit tikungan akan semakin baik.

c. Galian – timbunan

Jumlah dari galian dan timbunan dari sepanjang jalur akan memengaruhi biaya yang dikeluarkan, sehingga ketika selisih antara Galian dengan Timbunan semakin sedikit semakin baik.

d. Kelandaian maksimum

Kelandaian maksimum akan berpengaruh terhadap beban dari lokomotif, sehingga semakin landai akan semakin baik.

e. Sungai

Sungai akan memengaruhi jumlah jembatan yang harus dibangun. Sehingga semakin sedikit sungai yang dilewati jalur kereta api maka semakin baik.

f. Perlintasan sebidang

Perlintasan sebidang akan memengaruhi nyaman pengguna jalan raya dan biaya pembangunan jalur kereta api tersebut. Sehingga semakin sedikit akan semakin baik.

2. Integrasi Jaringan

Secara Integrasi jaringan, akan dilihat jumlah fasilitas yang ada pada sekitar stasiun pada titik A dan titik B. Dengan demikian, semakin banyak fasilitas yang ada akan semakin baik. Berikut yang mencakup fasilitas adalah: terminal bus, GOR, pasar, dan sentra industri.

3. Sosial

Pada kriteria sosial, jalur kereta api akan diperhitungkan pengaruhnya terhadap kondisi sosial yang sudah ada. Seperti pemindahan fasilitas umum

berupa sekolah atau bangunan pribadi berupa peternakan, persawahan, dan rumah penduduk.

2.1.4. Kriteria Pemilihan Alternatif Trase

Peraturan Menteri Perhubungan Nomer PM. 11 Tahun 2012 merupakan dasar aturan yang digunakan dalam menentukan kriteria dan variabel kriteria yang akan dievaluasi dalam penentuan trase terpilih. Peraturan Menteri Perhubungan tersebut berisi tentang Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api yang memuat paling tidak 4 kriteria yakni Kriteria Teknis, Hukum, Biaya dan perencanaan. Dalam Tugas Akhir Perencanaan Infrastruktur ini digunakan 6 kriteria yakni teknis, integrasi jaringan, hukum, biaya, aksesibilitas dan mobilitas, dan kriteria tata guana lahan. Berikut ini dalam **Tabel 2.1** dijelaskan kriteria pemilihan alternatif trase.

Tabel 2.1 Kriteria Pemilihan Trase

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Orientasi Kepentingan	Sifat Kriteria
1	Teknis	a. Geometrik	Pengguna/ User	Teknis
		b. Panjang jalan		
		c. Galian dan Timbunan		
		- Galian		
		- Timbunan		
		- Selisih Galian dan Timbunan		
		d. Persimpangan satu bidang		
		e. Topografi		
		f. Jumlah Tikungan		
g. Dampak				
h. Kelandaian Maksimum				
2	Integrasi Jaringan	a. Terminal Bus	Pemerintah	Konseptual
		- Terminal Kembang Joyo Pati		
		- Terminal Jati Pati		
		- Sub Terminal Getas		
		b. Sentral Industri		
		c. Pasar		
		- Pasar Baru Kudus		
		- Pasar Bitingan Kudus		
- Pasar Sleko Pati				
d. Moda				
3	Hukum	a. RT RW	Pemerintah	Konseptual
		b. Tranportasi wilayah		
		c. Rencana pengembangan		
4	Biaya	Biaya	Pemerintah	Oprasional

Lanjutan Tabel 2.1 Kriteria Pemilihan Trase

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Orientasi Kepentingan	Sifat Kriteria
5	Akseibilitas dan Mobilitas	a. Menjangkau wilayah yang dihubungkan	Masyarakat/ Publik (Pemerintah)	Operasional
		b. Kemudahan kendaraan bergerak		
		c. Melewati jalan		
		d. Melewati sungai		
6	Tata Guna Lahan	a. Luas lahan yang perlu dibebaskan (ha)	Masyarakat/ Publik (Pemerintah)	Dampak
		b. Luas bangunan pemukiman yang perlu dibebaskan		
		- Rumah		
		- Tempat Industri		
		- Sekolah		



Setelah menentukan kriteria pemeliharaan trase, kemudian data dilanjutkan guna dapat melakukan perbandingan karakteristik antara tarase. Dalam **Tabel 2.2** merupakan perbandingan karakteristik antar alternatif trase.

Tabel 2.2 Perbandingan Karakteristik Antar Trase Jaringan Kereta Api Kudus – Pati

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Kondisi Karakter		
			Trase 1	Trase 2	Trase 3
1	Teknis	a. Geometrik	sedang	sedang	sedang
		b. Panjang jalan	24,897 km	23,6 km	27,865 km
		c. Galian dan Timbunan			
		- Galian	1.903.386,69 m ³	756.365,91 m ³	2.008.216,38 m ³
		- Timbunan	218.387,79 m ³	169.193,18 m ³	79.224,4 m ³
		- Selisih Galian dan Timbunan	1.684.998,9 m ³	587.171,73 m ³	1.928.991,98 m ³
		d. Persimpangan satu bidang	44 buah	34 buah	19 buah
		e. Topografi	cukup datar	cukup datar	cukup datar
		f. Jumlah Tikungan	14	7	7
		g. kelandaian maksimum	3,6 ‰	2,1 ‰	5,3 ‰

Lanjutan **Tabel 2.2** Perbandingan Karakteristik Antar Trase Jaringan Kereta Api Kudus – Pati

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Kondisi Karakter		
			Trase 1	Trase 2	Trase 3
2	Integrasi Jaringan	a. terminal Bus			
		- Terminal Kembang Joyo Pati	0,29 km	0,29 km	0,29 km
		- Terminal Jati Pati	4,5 km	7,75 km	4,5 km
		- Sub Terminal Getas	1,18 km	4,43 km	1,18 km
		b. Sentral Industri	1. PT Nojorono Tobacco International 2. Sidodadi Cigarette Factory Kudus 3. PT Nojorono Tobacco International - Primary Process 4. PT. Wikatama Indah Sigaret Indonesia 5. Djarum Gudang Gula 6. PT Suntory Garuda Beverages 7. Gunanusa Eramandiri. PT	1. PT Nojorono Tobacco International 2. Sidodadi Cigarette Factory Kudus 3. PT Nojorono Tobacco International - Primary Process 4. PT. Wikatama Indah Sigaret Indonesia 5. Djarum Gudang Gulang 6. PT Suntory Garuda Beverages 7. Gunanusa Eramandiri. PT	1. PT Nojorono Tobacco International 2. Sidodadi Cigarette Factory Kudus 3. PT Nojorono Tobacco International - Primary Process 4. PT. Wikatama Indah Sigaret Indonesia 5. Djarum Gudang Gulang 6. PT Suntory Garuda Beverages 7. Gunanusa Eramandiri. PT
		c. Pasar			
		- Pasar Baru Kudus	0,23 km	3,19 km	0,23 km
		- Pasar Bitingan Kudus	1,28 km	4,23 km	1,28 km
		- Pasar sleko Pati	0,28 km	0,28 km	0,28 km
		d. Moda	Darat 3	Darat 3	Darat 3

Lanjutan **Tabel 2.2** Perbandingan Karakteristik Antar Trase Jaringan Kereta Api Kudus – Pati

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Kondisi Karakter		
			Trase 1	Trase 2	Trase 3
3	Hukum	a. RT RW	ada di RTRW	ada di RTRW	ada di RTRW
		b. Transportasi wilayah	1. Berkembang menjadi kawasan industri dan pergudangan 2. kawasan industri rokok Rp1.561.344.000.000 kota industri pangan	1. Berkembang menjadi kawasan industri dan pergudangan 2. kawasan industri rokok Rp1.308.084.000.000 industri pangan	1. Berkembang menjadi kawasan industri dan pergudangan 2. kawasan industri rokok Rp1.200.884.000.000 industri pangan
		c. Rencana pengembangan	Pusat industri rokok	Pusat industri rokok	Pusat industri rokok
4	Biaya	Biaya Pembebasan	Rp 415.752.000.000	Rp 337.336.000.000	Rp 342.656.000.000
5	Akseibilitas dan Mobilitas	a. Menjangkau wilayah yang dihubungkan	Lewat 2 Kabupaten	Lewat 2 Kabupaten	Lewat 2 Kabupaten
		b. Kemudahan kendaraan bergerak	Lewat 2 Kabupaten	Lewat 2 Kabupaten	Lewat 2 Kabupaten
		c. Melewati jalan	44 buah	34 buah	19 buah
		d. Melewati sungai	12 buah	16 buah	26 buah
6	Tata Guna Lahan	a. Luas lahan yang perlu dibebaskan (ha)	99,588 ha	94,4 ha	111,46 ha
		b. Luas bangunan pemukiman yang perlu dibebaskan	12,03 ha	8,25 ha	6,65 ha
		- Rumah yang terlewati trase	218 buah	131 buah	75 buah
		- Tempat Industri	3 buah	2 buah	1 buah
		- Sekolah	1 buah	1 buah	1 buah

2.1.5. Hasil Ranking Pembobotan Kriteria Alternatif Trase

Berikut ini adalah **Tabel 2.3** merupakan hasil dari perhitungan bobot kriteria dan Variabel Kriteria dari setiap alternatif trase.

Tabel 2.3 Hasil Perhitungan Bobot Kriteria dan Variable Kriteria

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Bobot kriteria	Bobot Per Variabel	Bobot Variabel
1	Teknis	a. Geometrik	0,159	0,268	0,043
		b. Panjang jalan		0,073	0,012
		c. Galian dan Timbunan		0,134	0,021
		- Galian			
		- Timbunan			
		- Selisih Galian dan Timbunan		0,193	0,031
		d. Persimpangan satu bidang			
		e. Topografi			
		f. Jumlah Tikungan		0,071	0,011
g. kelandaian maksimum	0,077	0,012			
2	Integrasi Jaringan	a. terminal Bus	0,055	0,248	0,014
		- Terminal Kembang Joyo Pati			
		- Terminal Jati Pati			
		- Sub Terminal Getas		0,336	0,018
		b. Sentral Industri			
		c. Pasar			
		- Pasar Baru Kudus			
		- Pasar Bitingan Kudus			
- Pasar sleko Pati	0,275	0,015			
d. Moda					

Lanjutan **Tabel 2.3** Hasil Perhitungan Bobot Kriteria dan Variable Kriteria

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Bobot kriteria	Bobot Per Variabel	Bobot Variabel
3	Hukum	a. RT RW	0,183	0,333	0,061
		b. Tranportasi wilayah		0,345	0,063
		c. Rencana pengembangan		0,322	0,059
4	Biaya	Biaya	0,236	1	0,236
		Biaya Pembebasan			
5	Akseibilitas dan Mobilitas	a. Menjangkau wilayah yang dihubungkan	0,166	0,2	0,033
		b. Kemudahan kendaraan bergerak		0,158	0,026
		c. Melewati jalan		0,494	0,082
		d. Melewati sungai		0,148	0,025
6	Tata Guna Lahan	a. Luas lahan yang perlu dibebaskan (ha)	0,200	0,25	0,050
		b. Luas bangunan pemukiman yang perlu dibebaskan		0,75	0,150
		- Rumah yang terlewti trase			
		- Tempat Industri			
- Sekolah					
Jumlah			1,00		1,00

Di bawah ini merupakan hasil akhir skoring pembobotan dari tiap-tiap alternatif yang disajikan dalam **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Hasil Akhir Ranking Pembobotan

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Bobot kriteria	Bobot Per Variabel	Bobot Variabel	Ranking			Hasil Ranking		
						Trase 1	Trase 2	Trase 3	Trase 1	Trase 2	Trase 3
1	Teknis	a. Geometrik	0,159	0,268	0,043	2	2	2	0,085224	0,085224	0,085224
		b. Panjang jalan		0,073	0,012	2	1	3	0,023214	0,011607	0,034821
		c. Galian dan Timbunan		0,134	0,021	1	2	3	0,021306	0,042612	0,063918
		- Galian									
		- Timbunan									
		- Selisih Galian dan Timbunan									
		d. Persimpangan satu bidang		0,193	0,031	3	2	1	0,092061	0,061374	0,030687
		e. Topografi		0,184	0,029	2	2	2	0,058512	0,058512	0,058512
		f. Jumlah Tikungan		0,071	0,011	3	1,5	1,5	0,033867	0,016934	0,016934
g. kelandaian maksimum	0,077	0,012	1	3	2	0,012243	0,036729	0,024486			
2	Integrasi Jaringan	a. terminal Bus	0,055	0,248	0,014	1,5	3	1,5	0,02046	0,04092	0,02046
		- Terminal Kembang Joyo Pati									
		- Terminal Jati Pati									
		- Sub Terminal Getas									
		b. Sentral Industri	0,336	0,018	2	2	2	0,03696	0,03696	0,03696	
		c. Pasar	0,141	0,008	1,5	3	1,5	0,011633	0,023265	0,011633	
		- Pasar Baru Kudus									
		- Pasar Bitingan Kudus									
		- Pasar sleko Pati									
d. Moda	0,275	0,015	2	2	2	0,03025	0,03025	0,03025			

Lanjutan Tabel 2.4 Hasil Akhir Ranking Pembobotan

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Bobot kriteria	Bobot Per Variabel	Bobot Variabel	Ranking			Hasil Ranking		
						Trase 1	Trase 2	Trase 3	Trase 1	Trase 2	Trase 3
3	Hukum	a. RT RW	0,183	0,333	0,061	2	2	2	0,121878	0,121878	0,121878
		b. Transportasi wilayah		0,345	0,063	2	2	2	0,12627	0,12627	0,12627
		c. Rencana pengembangan		0,322	0,059	2	2	2	0,117852	0,117852	0,117852
4	Biaya	Biaya	0,236	1	0,236	3	1	2	0,708	0,236	0,472
		Biaya Pembebasan									
5	Aksesibilitas dan Mobilitas	a. Menjangkau wilayah yang dihubungkan	0,166	0,2	0,033	2	2	2	0,0664	0,0664	0,0664
		b. Kemudahan kendaraan bergerak		0,158	0,026	2	2	2	0,052456	0,052456	0,052456
		c. Melewati jalan		0,494	0,082	3	2	1	0,246012	0,164008	0,082004
		d. Melewati sungai		0,148	0,025	1	2	3	0,024568	0,049136	0,073704
6	Tata Guna Lahan	a. Luas lahan yang perlu dibebaskan (ha)	0,200	0,25	0,050	2	1	3	0,1	0,05	0,15
		b. Luas bangunan pemukiman yang perlu dibebaskan		0,75	0,150	3	2	1	0,45	0,3	0,15
		- Rumah yang terlewti trase									
		- Tempat Industri									
- Sekolah											
Jumlah			1,00		1,00						
Total									2,439166	1,728387	1,826448

2.1.6. Trase Terpilih

Dari analisis yang telah dilakukan terhadap alternatif trase 1, trase 2, dan trase 3 didapat nilai perengkingan terbaik dengan nilai yang mendekati satu adalah trase 2 yakni 1,728389. Maka dari itu, trase yang terpilih adalah alternatif trase 2 sehingga dari alternatif trase yang terpilih akan digunakan dalam perencanaan jalan kereta api kota Kudus menuju kota Pati. Trase ini dimulai pada STA 0+000 pada Stasiun Kudus dan berakhir pada STA 23+600 pada Stasiun Pati. Gambar trase yang terpilih seperti pada **Gambar 2.10**.



Gambar 2.10 Trase Terpilih.

Sumber: Citra satelit Google Earth Pro.

2.2 Konstruksi Jalan Rel

Pada bab ini akan dibahas mengenai perhitungan terkait dengan konstruksi jalan rel yang meliputi perencanaan emplasemen stasiun.

2.2.1. Perencanaan Lengkung Horizontal

Dalam Tugas Akhir ini, kecepatan yang direncanakan yaitu 120 km/jam dan jari-jari rencana 780 m pada lengkung *spiral-circle-spiral* (SCS) dan jari-jari rencana 2370 m pada lengkung *full circle* (FC).

Contoh perhitungan lengkung tipe SCS Alternatif Trase 1 (Tikungan 1):

1. Peninggian Sisi Luar Rel

$$h = \frac{5.95 V^2}{R}$$

$$h = \frac{5.95 (120)^2}{780}$$

$$h = 109.8462 \text{ mm}$$

2. Panjang Minimum Lengkung Peralihan

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

$$Lh = 0.01 \times 109.8462 \times 120$$

$$Lh = 131.815 \text{ m}$$

3. Sudut Spiral

$$s = \frac{90\pi Lh}{R}$$

$$s = \frac{90 \times \pi \times 131.815}{780}$$

$$s = 4.841$$

4. Panjang Busur Lingkaran

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

$$Lc = \frac{(37.670 - 2 \times 4.841)\pi 780}{180}$$

$$Lc = 381.008 \text{ m}$$

5. Panjang Proyeksi Titik P

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

$$P = \frac{131.815^2}{6 \times 780} - 780(1 - \cos 4.841)$$

$$P = 0.930 \text{ m}$$

6. Panjang k

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

$$k = 131.815 - \frac{131.815^3}{40 \times 780^2} - 780 \times \sin 4.841$$

$$k = 65.892 \text{ m}$$

7. Panjang Ts

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

$$T_s = (780 + 0.930) \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} 37.670 \right) + 65.892$$

$$T_s = 332.275 \text{ m}$$

8. Panjang Titik E

$$E = \frac{(R + P)}{\operatorname{Cos} \left(\frac{1}{2} \Delta \right)} - R$$

$$E = \frac{(780 + 0.930)}{\operatorname{Cos} \left(\frac{1}{2} 37.670 \right)} - 780$$

$$E = 45.113 \text{ m}$$

9. Panjang Xs dan Ys

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

$$Y_s = \frac{131.815^2}{6 \times 780}$$

$$Y_s = 3.713 \text{ m}$$

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

$$X_s = \frac{109.8462 \times 120}{144}$$

$$X_s = 91.538 \text{ m}$$

Contoh perhitungan lengkung tipe FC Alternatif Trase 1 (Tikungan 2):

1. Peninggian Sisi Luar Rel

$$h = \frac{5.95 V^2}{R}$$

$$h = \frac{5.95 (120)^2}{2370}$$

$$h = 36,152 \text{ mm}$$

2. Jari-jari minimal

$$R_{min} = 0.164 \times V^2$$

$$R_{min} = 0.164 \times 120^2$$

$$R_{min} = 2,362 \text{ m}$$

Digunakan Jari-jari 2,370 m

3. Panjang Busur Lingkaran

$$Lc = 2 \times \pi \times R \times \frac{\Delta}{360}$$

$$Lc = 2 \times \pi \times 2,370 \times \frac{10,520}{360}$$

$$Lc = 435,152 \text{ m}$$



Tabel 2.5 Perhitungan Alinyemen Horizontal

Alternatif Trase 1 (satu)

Lengkung FC

TIKUNGAN	Δ	V_r	R_{min}	R_{pakai}	T_c	L_c	E_c	h
	Degrees	km/jam	m	m	m	m	m	mm
TIKUNGAN 2	10,520	120	2.362	2370	218,190	435,152	10,022	36,152
TIKUNGAN 4	12,930	120	2.362	2370	268,561	534,840	15,168	36,152
TIKUNGAN 5	8,290	120	2.362	2370	171,755	342,910	6,215	36,152
TIKUNGAN 8	11,240	120	2.362	2370	233,216	464,935	11,447	36,152
TIKUNGAN 9	5,850	120	2.362	2370	121,096	241,981	3,092	36,152
TIKUNGAN 10	16,130	120	2.362	2370	335,824	667,206	23,675	36,152
TIKUNGAN 11	14,170	120	2.362	2370	294,569	586,132	18,236	36,152
TIKUNGAN 12	5,400	120	2.362	2370	111,766	223,367	2,634	36,152
TIKUNGAN 13	19,260	120	2.362	2370	402,132	796,676	33,874	36,152

Lengkung SCS

TIKUNGAN	Δ	V_r	R_{min}	R_{pakai}	h_{min}	h	h_{max}	h_{pakai}	$l=Xs$	$L=Ls$	θ_s	L_c	p	k	T_s	E_s	Y_s
	Degrees	km/jam	m	m	mm	mm	mm	mm	m	m	Degrees	m	m	m	m	m	m
TIKUNGAN 1	37,670	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	381,008	0,930	65,892	332,275	45,113	3,713
TIKUNGAN 3	28,790	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	260,119	0,930	65,892	266,328	26,242	3,713
TIKUNGAN 6	39,390	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	404,423	0,930	65,892	345,428	49,453	3,713
TIKUNGAN 7	43,250	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	456,971	0,930	65,892	375,478	60,057	3,713
TIKUNGAN 14	35,730	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	354,597	0,930	65,892	317,599	40,492	3,713

Tabel 2.6 Perhitungan Alinyemen Horizontal

Alternatif Trase 2 (dua)

Lengkung FC

TIKUNGAN	Δ	Vr	Rmin	Rpakai	Tc	Lc	Ec	h
	Degrees	km/jam	m	m	m	m	m	mm
TIKUNGAN 4	15,900	120	2.362	2370	330,973	657,692	22,999	36,152

Lengkung SCS

TIKUNGAN	Δ	Vr	Rmin	Rpakai	hmin	h	hmax	hpakai	l-Xs	L=Ts	θ_s	Lc	p	k	Ts	Es	Ys
	Degrees	km/jam	m	m	mm	mm	mm	mm	m	m	Degrees	m	m	m	m	m	m
TIKUNGAN 1	40,270	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	416,403	0,930	65,892	352,213	51,764	3,713
TIKUNGAN 2	36,920	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	370,798	0,930	65,892	326,581	43,292	3,713
TIKUNGAN 3	24,940	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	207,707	0,930	65,892	238,591	19,798	3,713
TIKUNGAN 5	28,430	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	255,218	0,930	65,892	263,715	25,596	3,713
TIKUNGAN 6	40,310	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	416,948	0,930	65,892	352,522	51,870	3,713
TIKUNGAN 7	33,050	120	780	780	108,922	109,846	110	109,846	91,538	131,815	4,841	318,113	0,930	65,892	297,585	34,575	3,713

Tabel 2.7 Perhitungan Alinyemen Horizontal

Alternatif Trase 3 (tiga)

Lengkung FC

TIKUNGAN	Δ	V_r	R_{min}	R_{pakai}	T_c	L_c	E_c	h
	Degrees	km/jam	m	m	m	m	m	mm
TIKUNGAN 2	4,210	120	2.362	2370	87,111	174,144	1,600	36,152
TIKUNGAN 4	5,610	120	2.362	2370	116,120	232,054	2,843	36,152
TIKUNGAN 7	11,150	120	2.362	2370	231,337	461,212	11,264	36,152

Lengkung SCS

TIKUNGAN	Δ	V_r	R_{min}	R_{pakai}	h_{min}	h	h_{max}	h_{pakai}	$l-X_s$	$L-L_s$	θ_s	L_c	p	k	T_s	E_s	Y_s
	Degrees	km/jam	m	m	mm	mm	mm	mm	m	m	Degrees	m	m	m	m	m	m
TIKUNGAN 1	39,250	120	780	780	108,92154	109,8462	110	109,8462	91,538	131,815	4,841	402,517	0,930	65,892	344,353	49,091	3,713
TIKUNGAN 3	59,870	120	780	780	108,92154	109,8462	110	109,8462	91,538	131,815	4,841	683,229	0,930	65,892	515,582	121,150	3,713
TIKUNGAN 5	30,750	120	780	780	108,92154	109,8462	110	109,8462	91,538	131,815	4,841	286,802	0,930	65,892	280,629	29,916	3,713
TIKUNGAN 6	28,930	120	780	780	108,92154	109,8462	110	109,8462	91,538	131,815	4,841	262,025	0,930	65,892	267,345	26,495	3,713

2.2.2. Perencanaan Lengkung Vertikal

Perhitungan pada perencanaan ini dapat dilihat pada pada hitungan di bawah ini:

Contoh perhitungan pada lengkung 1 Cembung (Trase 2).

$$V_r = 150 \text{ km/jam}$$

$$R = 8000$$

$$\text{Elevasi 1} = 0 \%$$

$$\text{Elevasi 2} = - 2,1 \%$$

$$\begin{aligned} A &= (\text{Elevasi 1} - \text{Elevasi 2}) \times 100 \\ &= (0\% - 2,1\%) \times 100 \\ &= 2,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_m &= \frac{R}{2} \times \frac{A}{1000} \\ &= \frac{8000}{2} \times \frac{A}{1000} \\ &= 8,40 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_m &= \frac{R}{8} \times \left(\frac{A}{1000}\right)^2 \\ &= \frac{8000}{8} \times \left(\frac{A}{1000}\right)^2 \\ &= 0,00441 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= 2 \times X_m \\ &= 2 \times 8,40 \\ &= 16,8 \end{aligned}$$

Tabel di bawah ini menyajikan perhitungan lengkap untuk alternatif trase 1, alternatif trase 2, dan alternatif trase 3.

Tabel 2.8 Perhitungan Alinyemen Vertikal
Alternatif Trase 1 (satu)

LENGKUNG	BENTUK	g1	g2	R	A	Xm(m)	Ym(m)	L
1	Cembung	0	-1,6	8000	1,6	6,40	0,00256	12,8
2	Cembung	-1,6	-3,6	8000	2	8,00	0,00400	16
3	Cekung	-3,6	-1,4	8000	2,2	8,80	0,00484	17,6
4	Cekung	-1,4	0,5	8000	1,9	7,60	0,00361	15,2
5	Cekung	0,5	1,2	8000	0,7	2,80	0,00049	5,6
6	Cembung	1,2	-3,4	8000	4,6	18,40	0,02116	36,8
7	Cekung	-3,4	3	8000	6,4	25,60	0,04096	51,2
8	Cembung	3	-1,8	8000	4,8	19,20	0,02304	38,4
9	Cekung	-1,8	-0,7	8000	1,1	4,40	0,00121	8,8
10	Cekung	-0,7	-0,2	8000	0,5	2,00	0,00025	4
11	Cekung	-0,2	0	8000	0,2	0,80	0,00004	1,6

Tabel 2.9 Perhitungan Alinyemen Vertikal
Alternatif Trase 2 (dua)

LENGKUNG	BENTUK	g1	g2	R	A	Xm(m)	Ym(m)	L
1	Cembung	0	-2,1	8000	2,1	8,40	0,00441	16,8
2	Cekung	-2,1	-0,1	8000	2	8,00	0,00400	16
3	Cembung	-0,1	-3,1	8000	3	12,00	0,00900	24
4	Cekung	-3,1	-0,3	8000	2,8	11,20	0,00784	22,4
5	Cekung	-0,3	0	8000	0,3	1,20	0,00009	2,4

Tabel 2.10 Perhitungan Alinyemen Vertikal
Alternatif Trase 3 (tiga)

LENGKUNG	BENTUK	g1	g2	R	A	Xm(m)	Ym(m)	L
1	Cembung	0	-5,3	8000	5,3	21,20	0,02809	42,4
2	Cekung	-5,3	-1,7	8000	3,6	14,40	0,01296	28,8
3	Cekung	-1,7	-0,6	8000	1,1	4,40	0,00121	8,8
4	Cekung	-0,6	0,1	8000	0,7	2,80	0,00049	5,6
5	Cembung	0,1	0	8000	0,1	0,40	0,00001	0,8
6	Cekung	0	0,3	8000	0,3	1,20	0,00009	2,4
7	Cembung	0,3	-0,5	8000	0,8	3,20	0,00064	6,4
8	Cekung	-0,5	0	8000	0,5	2,00	0,00025	4

2.3 Biaya Trase Terpilih

2.3.1. Kelayakan Ekonomi dan Finansial

Komponen Biaya dan Manfaat Kelayakan Finansial

Dalam proses analisis kelayakan finansial pada Tugas Akhir Perencanaan Infrastruktur ini menggunakan perbandingan antara jumlah biaya (*cost*) terhadap pendapatan/pengembalian (*revenue*) yang dihasilkan dari sepanjang masa perencanaan (*time horizon*).

Tarif merupakan salah satu faktor yang berperan penting untuk mendapatkan investasi yang menguntungkan dari pembangunan jalur kereta api. Tarif dari kereta penumpang dan barang adalah sumber dari pendapatan kereta api yang direncanakan pada jalur Kudus menuju Pati.

Tabel 2.11 Komponen Biaya dan Manfaat Kelayakan Ekonomi dan Finansial

Analisis Kelayakan	Komponen Biaya (investasi)	Manfaat
Kelayakan Ekonomi.	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya prasarana jalan Kereta Api. • Biaya pemeliharaan prasarana. • Biaya pengadaan sarana. • Biaya oprasional dan pemeliharaan sarana. 	
Kelayakan Finansial.	<ul style="list-style-type: none"> • Biaya prasarana jalan Kereta Api • Biaya pemeliharaan prasarana • Biaya pengadaan sarana • Biaya oprasional dan pemeliharaan sarana. • TAC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pendapatan dari harga tiket penumpang dan barang.

2.3.2. Estimasi Biaya

Dalam perencanaan Tugas Akhir Perencanaan Infrastruktur ini, estimasi biaya pembangunan dikelompokkan ke dalam beberapa komponen yang meliputi biaya pengadaan lahan, biaya pembangunan prasarana perkeretaapian, biaya pengadaan sarana, biaya persiapan dan manajemen, serta biaya oprasional dan pemeliharaan. Untuk perincian komponen biaya dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini.

1. Biaya Pengadaan Tanah

Dalam menentukan biaya pengedaan tanah di Tugas Akhir Perencanaan Infrastruktur ini menggunakan nilai pergantian wajar. Nilai pergantian wajar (*Fair*

Replacement Value) adalah nilai untuk kepentingan pemilik (*value to the owner*) yang didasarkan kepada kesetaraan dengan Nilai Pasar atas suatu properti, dengan memperhatikan unsur luar biasa berupa kerugian non fisik dari kepemilikan properti, yang diakibatkan adanya pengambilalihan hak atas properti dimaksud.

Ketika melakukan penilaian tanah digunakan Pendekatan Data Pasar (*Market Data Approach*). Pendekatan Data Pasar adalah suatu metode untuk memperoleh nilai dengan analisis dan perbandingan atas tanah sejenis yang dinilai, di mana data diperoleh dari orang-orang atau pejabat yang berwenang serta pemilik tanah lainnya yang mengetahui benar nilai-nilai tanah berdasarkan penawaran-penawaran, penjualan atau transaksi yang terjadi di daerah tersebut atas tanah yang kira-kira sebanding.

Dengan pertimbangan informasi yang ada di daerah Kudus dan Pati, akan didapat data yang relevan sehingga Estimasi Nilai Penggantian Wajar untuk ganti rugi yang akan digunakan sebagai acuan perencanaan besaran biaya pembebasan lahan dalam pembangunan jalur kereta api dari Kudus menuju Pati. Dengan jalur alternatif terpilih pada trase 2 yang mana jaraknya sendiri adalah 23,6 km.

Sumber data tanah diperoleh dari situs tanah online dan juga olx.co.id sebagai harga dasar tanah yang ada disekitar lokasi proyek kereta api Kudus – Pati. Berikut ini merupakan garis besar harga tanah yang ada di lokasi:

- a. Pekarangan rata-rata $\pm 800.000,-/M^2$
- b. Tanah dengan bangunan $\pm 7.500.000,-/M^2$

Kebutuhan lahan yang diperlukan untuk pembangunan jalan kereta api Kudus – Pati dapat dilihat dalam rincian **Tabel 2.12** berikut ini:

Tabel 2.12 Kebutuhan Pengadaan Lahan Jalur Kereta Api Kudus-Pati

STA (Mulai)	STA (Selesai)	Keterangan	Panjang	Satuan
1+830	1+850		20	m
2+630	2+680		50	m
3+340	3+630		290	m
4+310	4+330		20	m
4+855	5+095		240	m
5+235	5+325		90	m
6+320	6+650	MDT Rohmatul Ummah	330	m
7+000	7+520		520	m
7+680	7+745		65	m
7+950	8+093	SD Negeri 1 Pladen	143	m
13+770	13+850		80	m
20+620	20+660		40	m
23+380	23+555		175	m
Total Panjang Tanah dengan Bangunan			2.063	m
Total Panjang Tanah Kosong			21.537	m
Luas Tanah Kosong			861.480	m ³

Dari rincian kebutuhan lahan tersebut dapat diperoleh biaya pengadaan/pembebasan lahan dan bangunan di atas lahan untuk pembangunan Jalur Kereta Api Kudus-Pati. Di bawah ini merupakan uraian dari biaya pengadaan lahan jalur kereta api kudus-pati yang disajikan dalam **Tabel 2.13**.

Tabel 2.13 Biaya Pengadaan Lahan Jalur Kereta Api Kudus-Pati

STA (Mulai)	STA (Selesai)	Keterangan	Panjang	Satuan
1+830	1+850		20	m
2+630	2+680		50	m
3+340	3+630		290	m
4+310	4+330		20	m
4+855	5+095		240	m
5+235	5+325		90	m
6+320	6+650	MDT Rohmatul Ummah	330	m
7+000	7+520		520	m
7+680	7+745		65	m
7+950	8+093	SD Negeri 1 Pladen	143	m
13+770	13+850		80	m
20+620	20+660		40	m
23+380	23+555		175	m
Total Panjang Tanah dengan Bangunan			2.063	m
Luas Bangunan Tergusur			82.520	m ³
Biaya Per Meter Persegi			Rp7.500.000	m ²
Total Biaya Pembebasan Lahan Bangunan			Rp618.900.000.000	Rp
Total Panjang Tanah Kosong			21.537	m
Luas Tanah Kosong			861.480	m ³
Biaya Per Meter Persegi			Rp800.000	m ²
Total Biaya Pembebasan Lahan Kosong			Rp689.184.000.000	Rp
Total Biaya Pembebasan Lahan			Rp1.308.084.000.000	Rp

2. Biaya Pembangunan Prasarana Perkeretaapian

Perhitungan biaya konstruksi dalam laporan Tugas Akhir Perencanaan Infrastruktur ini tidak dilakukan dengan detail dan rinci yang sesuai dengan analisis harga satuan, namun dihitung berdasarkan perkiraan harga satuan pekerjaan saat ini dan berdasarkan referensi pada jenis pekerjaan yang sedang berjalan.

Secara garis besar pekerjaan konstruksi pembangunan jalan kereta api dibagi menjadi 5 (lima) bagian pekerjaan utama, pekerjaan konstruksi tersebut berdasarkan spesifikasi teknis Jalan Rel, Sipil, Jembatan dan Bangunan Kereta Api yang dikeluarkan oleh Direktorat Prasarana Perkeretaapian, Direktorat Jenderal Perkeretaapian Tahun 2017. Berikut ini adalah 5 (lima) bagian konstruksi tersebut:

- a. Umum yang meliputi pekerjaan pengukuran, pembuatan kantor lapangan, pembersihan lapangan, K-3 Konstruksi, mobilisasi/demobilisasi dan dokumentasi.

- b. Pekerjaan Sipil yang meliputi pekerjaan pembersihan, galian & timbunan untuk badan jalan rel, drainase, perlintasan dan bangunan pelengkap.
- c. Pekerjaan Jalan Rel (*Track*) meliputi pekerjaan bangunan atas jalan raya di sepur raya dan emplasemen dan pekerjaan bangunan bawah (batu balas).
- d. Pekerjaan Jembatan dan *Box Culvert* meliputi pekerjaan struktur jembatan, struktur *box culvert* dan bangunan pelengkap *sheet pile*.
- e. Pekerjaan Bangunan Gedung yaitu pekerjaan untuk bangunan stasiun.

Sehingga dalam pembuatan jalur kereta api Kudus-Pati dengan panjang 23,6 km menggunakan 2 (dua) lajur (*double track*) diperlukan biaya konstruksi pembangunan prasarana perkeretaapian yang disajikan dalam **Tabel 2.14** termasuk pembangunan 2 stasiun baru (Stasiun Kudus dan Stasiun Pati Baru), serta estimasi biaya pembangunan jembatan dengan nilai estimasi menggunakan sistem perhitungan panjang dari STA mulai sampai dengan STA selesai dari konstruksi jembatan.

Tabel 2.14 Rekapitulasi Biaya Pembangunan Prasarana Perkeretaapian
Kudus – Pati, sepanjang 23,6 Km

No	Jenis			Data	
1	Harga satuan pembangunan jembatan kereta api			Rp 35.00.00 / m ²	
2	Lebar jembatan untuk 2 jalur kereta api			12.50 m ²	
	STA (Mulai)	STA (Selesai)	Keterangan	Panjang	Satuan
1	5+130	5+140	Sungai 1	10	m
2	6+450	6+460	Sungai 2	10	m
3	8+100	8+120	Sungai 3	20	m
4	8+570	8+580	Sungai 4	10	m
5	9+020	9+030	Sungai 5	10	m
6	9+910	9+930	Sungai 6	20	m
7	10+090	11+000	Sungai 7	10	m
8	11+590	11+600	Sungai 8	10	m
9	12+685	12+700	Sungai 9	15	m
10	13+750	13+760	Sungai 10	10	m
11	15+250	15+265	Sungai 11	15	m
12	16+325	16+335	Sungai 12	10	m
13	16+600	16+610	Sungai 13	10	m
14	18+856	18+866	Sungai 14	10	m
15	20+555	20+565	Sungai 15	10	m
16	22+450	22+460	Sungai 16	10	m
Total Panjang Jembatan				190	m
Luas Jembatan				2.375	m ³
Biaya Per Meter Persegi				Rp35.000.000	m ²
Total Biaya Pembangunan Jembatan				Rp83.125.000.000	Rp
Biaya pembuatan stasiun (2unit)				Rp16.000.000.000	Rp

3. Biaya Pengadaan Saranan Perkeretaapian

Sarana yang diperlukan dalam perkeretaapian jalur Kudus-Pati berupa angkutan penumpang dan angkutan barang untuk:

- a. Kereta penumpang sejumlah 4 *train-set*/rangkaian dengan asumsi dalam 1 trainset terdiri dari 1 lokomotif dan 10 kereta penumpang; dan
- b. Kereta barang sejumlah 4 trainset/rangkaian dengan asumsi 1 *train-set* terdiri dari 1 lokomotif dan 18 gerbong barang.

Didasari dari perkiraan kebutuhan sarana kereta penumpang dan barang di atas, maka kebutuhan biaya awal pengadaan sarana perkeretaapian tertera pada **Tabel 2.15**.

Tabel 2.15 Estimasi Biaya Pengadaan Sarana Kereta Api

Uraian	Jumlah (Unit)	Harga (Rp)	Total Harga (Rp)
Lokomotif Penumpang (CC 204)	4	42.000.000.000	Rp168.000.000.000
Lokomotif Barang (CC 206)	4	47.000.000.000	Rp188.000.000.000
Kereta Penumpang	40	15.000.000.000	Rp600.000.000.000
Kereta Barang Tertutup	72	4.500.000.000	Rp324.000.000.000
Total			Rp1.280.000.000.000

4. Biaya Persiapan dan Manajemen

Besar perkiraan rencana anggaran biaya persiapan dan manajemen disajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 2.16 Perkiraan Anggaran Biaya Persiapan dan Manajemen

No.	Uraian	Satuan	Biaya Investasi Awal	
			Kuantitas	Estimasi Biaya
1	Biaya Pengadaan Lahan	M2	940	Rp1.308.084.000.000
2	Biaya Konstruksi Prasarana Perkeretaapian	Km	23,6	Rp1.491.608.344.469
3	Kontingensi : (10% x No.3)	%	10	Rp149.160.834.447
5	Biaya Pengadaan Sarana KA	Trainset	1	Rp1.280.000.000.000
Total Biaya Investasi Awal (CAPEX)				Rp4.228.853.178.916

5. Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya operasional dan pemeliharaan dalam perencanaan ini terbagi menjadi 2 kategori, yang masing-masingnya dijelaskan sebagai berikut;

- a. Biaya Operasional dan Pemeliharaan Prasarana Perkeretaapian

Terdapat aturan yang mengatur pemeliharaan/perawatan jalur kereta api yakni pada Peraturan menteri Perhubungan Nomor PM. 32 Tahun 2011 tentang Standar dan Tata Cara Perawatan Prasarana Perkeretaapian. Peraturan menteri tersebut, menjelaskan apa yang dimaksud dengan perawatan prasarana perkeretaapian, yakni kegiatan yang dilakukan guna

mempertahankan keandalan prasarana perkeretaapian agar tetap layak operasi. Untuk mempertahankan prasarana wajib dilakukan perawatan terhadap prasarana yang dioperasikan, perawatan tersebut dilakukan oleh penyelenggara prasarana perkeretaapian. Adapun prasarana yang dimaksud meliputi, Stasiun, Jalur kereta api, dan Fasilitas Operasi.

Pada Tugas Akhir Perencanaan Infrastruktur ini memiliki perkiraan biaya operasional dan perawatan prasarana perkeretaapian lintas Kudus – Pati dengan panjang 23,6 Km yang ditampilkan pada **Tabel 2.17**.

Tabel 2.17 Estimasi Biaya Prasarana Perkeretaapian

No.	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp)
A	Operasi Jalan Rel				
1	Mandor	Bulan	12	6.000.000	72.000.000
2	Pekerja Terampil	Bulan	24	5.000.000	120.000.000
3	Pekerja	Bulan	48	3.500.000	168.000.000
4	Mekanik	Bulan	12	7.500.000	90.000.000
5	Biaya Listrik (Power)	Bulan	12	300.000.000	3.600.000.000
6	Biaya Peralatan pendukung	Ls	1	25.000.000	25.000.000
7	Biaya Umum	Bulan	12	10.000.000	120.000.000
	Sub Total Jalan Rel				4.195.000.000
B	Operasi Stasiun KA				
1	Kepala Stasiun	Bulan	12	15.000.000	15.000.000
2	PPKA	Bulan	12	10.000.000	120.000.000
3	Staff Operasi	Bulan	24	9.000.000	216.000.000
4	Staff Stasiun	Bulan	48	4.000.000	192.000.000
5	Security	Bulan	48	3.500.000	168.000.000
6	Biaya Peralatan Pendukung	Ls	1	15.000.000	15.000.000
7	Biaya Umum	Bulan	12	12.500.000	150.000.000
	Sub Total Stasiun				861.000.000
C	Pengawas Jalan Rel				
1	Pengawas	Bulan	12	9.000.000	108.000.000
2	Inspector	Bulan	24	4.500.000	108.000.000
3	Staff pendukung	Bulan	12	3.500.000	42.000.000
4	Biaya Umum	Bulan	12	3.000.000	36.000.000
	Sub Total Jalan Rel				258.000.000
TOTAL BIAYA OPERASI PER TAHUN					5.314.000.000
TOTAL OPERASI PER TAHUN/KM					225.169.492

Dari hasil perhitungan di atas, maka didapatkan biaya operasi prasarana perkeretaapian per tahun/km sebesar Rp. 225.169.492,-

Tabel 2.18 Estimasi Biaya Perawatan Prasarana Perkeretaapian.

No.	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp)
A	Biaya Perawatan Jalan Rel				
1	Biaya Perawatan Rel	per km	23,6	15.500.000	365.800.000
2	Biaya Perawatan Bantalan	per km	23,6	86.840.000	2.049.424.000
3	Biaya Perbaikan Geometrik	per km	23,6	35.000.000	826.000.000
4	Biaya Peralatan	Ls	1	25.000.000	25.000.000
5	Biaya Lainnya (Umum)	Ls	1	50.000.000	50.000.000
	SUB T O T A L				3.316.224.000
	Biaya per Km				140.517.966
B	Biaya Perawatan Sintelis				
1	Biaya Perawatan Sinyal	Set	2	110.000.000	220.000.000
2	Biaya Perawatan Telekomunikasi	Set	2	90.000.000	180.000.000
3	Biaya Perawatan Listrik	Set	2	125.000.000	250.000.000
4	Biaya Pendukung Lainnya	Ls	1	50.000.000	50.000.000
	SUB T O T A L				700.000.000
	Biaya per Km				29.661.017
C	Perawatan Stasiun KA				
1	Mandor	Bulan	12	6.000.000	72.000.000
2	Pekerja	Bulan	24	3.500.000	84.000.000
3	Biaya Peralatan pendukung	Ls	1	15.000.000	15.000.000
4	Biaya Umum	Bulan	12	5.000.000	60.000.000
	SUB TOTAL PER STASIUN				231.000.000
	TOTAL PERAWATAN PER TAHUN				7.563.448.000
	TOTAL PERAWATAN PER TAHUN/KM				320.485.085

b. Biaya Operasi dan Pemeliharaan Sarana Kereta

Supaya perhitungan biaya operasi dan pemeliharaan kereta api sesuai, maka perhitungannya berdasarkan dengan metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung biaya pokok produksi. Di mana dalam perhitungannya berpatokan pada Kementerian Perhubungan untuk evaluasi tarif angkutan Kereta Api Penumpang dan Barang. Secara umum item-item yang diperhitungkan adalah sebagai berikut:

- 1) Biaya penyusutan;
- 2) Bahan bakar minyak (BBM);
- 3) Pelumas;
- 4) Biaya awak: masinis, asisten masinis, PLKA, kondektur;
- 5) Perawatan dan depresiasi;

- 6) Biaya umum;
- 7) Biaya manajemen.

Dengan dasar perhitungan item-item tersebut, maka dalam perencanaan jalan kereta api Kudus-Pati memperhatikan biaya yang mencakup biaya-biaya operasional dan perawatan sarana, biaya BBM, Pelumas, biaya awak sarana, penyusutan, biaya umum dan biaya manajemen. Estimasi biaya operasi dan pemeliharaan sarana kereta penumpang dan barang diperhitungkan per lintas dari Stasiun Kudus sampai Stasiun Pati dengan panjang 23,6 Km. Rincian estimasi biaya tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.19 Biaya Operasi dan Pemeliharaan Sarana Kereta Api Per Lintas

No.	Item Biaya	Satuan	Satuan	Harga Satuan (Rp.)	Harga Satuan (Rp/lintas)
1	Biaya Penyusutan KA Penumpang	per lintas	1	750.200	750.200
2	Biaya Penyusutan KA Barang	per lintas	1	935.650	935.650
3	Biaya Perawatan KA Penumpang	per km	23,6	25	590
4	Biaya Perawatan KA Barang	per km	23,6	37	873
5	Biaya Pelumas	per km	23,6	225	5.310
6	Biaya Energi	per km	23,6	21.720	512.592
7	Biaya Awak	per lintas	1	785.600	785.600
8	Biaya Stasiun	per km	23,6	8	189
9	Biaya Umum	per km	23,6	9	212
10	Biaya Manajemen	per km	23,6	1.760	41.536
Biaya Operasional dan Perawatan KA/Lintas					3.032.752

2.3.3. Analisis Kelayakan Ekonomi dan Finansial

Analisis kelayakan dilakukan untuk mendapatkan hasil kelayakan biaya pembangunan jalan rel Kudus-Pati. Sehingga dengan hasil tersebut akan didapat kesimpulan dimana proyek layak untuk dilakukan pembangunan atau tidak dari segi ekonomi dan finansial. Dibawah ini merupakan hasil analisis kelayakan baik dari segi ekonomi maupun finansial.

1. Evaluasi Kelayakan Ekonomi

Dari analisis yang telah dilakukan didapat hasil kelayakan ekonomi yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 2.20 Indikator Kelayakan Ekonomi Reaktivasi Jalur Kereta Api Kudus-Pati

No	Ukuran Kelayakan Ekonomi	Hasil
1	Net Present Value – NPV (Juta Rp)	Rp 378.016.117.606,56
2	Economic Internal Rate of Return – EIRR (%)	6%
3	Benefit Cost Ratio - BCR	Tidak ditemukan hasil

Dapat diketahui dari hasil analisis tersebut bahwa secara ekonomi menggunakan pendekatan diperoleh EIRR pada pekerjaan reaktivasi jalur kereta api Kudus-Pati ditemukan hasil sebesar 6%. Sehingga dapat dikatakan layak.



Tabel 2.21 Analisis Kelayakan Ekonomi Reaktivasi Jalur Kereta Api Kudus-Pati

Tahun	Harga	Operasional	Perawatan	Arus Kas Keluar	Arus Kas Masuk	Cash Flow
0	Rp4.228.853.178.916					-Rp 4.228.853.178.915,72
1		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
2		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
3		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
4		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
5		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
6		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
7		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
8		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
9		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
10		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
11		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
12		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
13		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
14		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
15		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
16		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
17		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
18		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
19		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
20		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
21		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
22		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
23		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
24		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
25		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00

Lanjutan **Tabel 2.21** Analisis Kelayakan Ekonomi Reaktivasi Jalur Kereta Api Kudus-Pati

Tahun	Harga	Operasional	Perawatan	Arus Kas Keluar	Arus Kas Masuk	Cash Flow
26		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
27		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
28		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
29		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
30		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
31		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
32		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
33		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
34		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
35		Rp 5.423.179.072,00	Rp 7.563.448.000,00	-Rp 12.986.627.072,00	Rp 294.336.000.000,00	Rp 281.349.372.928,00
NPV						Rp 378.016.117.606,56

2. Evaluasi Kelayakan Finansial

Dari analisis yang dilakukan *payback period* berada pada tahun ke 29 tahun, seperti ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.22 Payback Period

Tahun	Arus Kas	(P/F,5%,T)	PW	Kumulatif
0	-Rp4.228.853.178.916	1,00000	-Rp 4.228.853.178.915,72000	-Rp 4.228.853.178.915,72000
1	Rp281.349.372.928	0,95238	Rp 267.951.783.740,95200	-Rp 3.960.901.395.174,77000
2	Rp281.349.372.928	0,90703	Rp 255.192.174.991,38300	-Rp 3.705.709.220.183,39000
3	Rp281.349.372.928	0,86384	Rp 243.040.166.658,46000	-Rp 3.462.669.053.524,92000
4	Rp281.349.372.928	0,82270	Rp 231.466.825.389,01000	-Rp 3.231.202.228.135,92000
5	Rp281.349.372.928	0,78353	Rp 220.444.595.608,58100	-Rp 3.010.757.632.527,33000
6	Rp281.349.372.928	0,74622	Rp 209.947.233.912,93400	-Rp 2.800.810.398.614,40000
7	Rp281.349.372.928	0,71068	Rp 199.949.746.583,74700	-Rp 2.600.860.652.030,65000
8	Rp281.349.372.928	0,67684	Rp 190.428.330.079,75900	-Rp 2.410.432.321.950,90000
9	Rp281.349.372.928	0,64461	Rp 181.360.314.361,67500	-Rp 2.229.072.007.589,22000
10	Rp281.349.372.928	0,61391	Rp 172.724.108.915,88100	-Rp 2.056.347.898.673,34000
11	Rp281.349.372.928	0,58468	Rp 164.499.151.348,45800	-Rp 1.891.848.747.324,88000
12	Rp281.349.372.928	0,55684	Rp 156.665.858.427,10300	-Rp 1.735.182.888.897,78000
13	Rp281.349.372.928	0,53032	Rp 149.205.579.454,38400	-Rp 1.585.977.309.443,40000
14	Rp281.349.372.928	0,50507	Rp 142.100.551.861,31800	-Rp 1.443.876.757.582,08000
15	Rp281.349.372.928	0,48102	Rp 135.333.858.915,54100	-Rp 1.308.542.898.666,54000
16	Rp281.349.372.928	0,45811	Rp 128.889.389.443,37200	-Rp 1.179.653.509.223,16000
17	Rp281.349.372.928	0,43630	Rp 122.751.799.469,87800	-Rp 1.056.901.709.753,29000
18	Rp281.349.372.928	0,41552	Rp 116.906.475.685,59800	-Rp 939.995.234.067,68800
19	Rp281.349.372.928	0,39573	Rp 111.339.500.652,95100	-Rp 828.655.733.414,73700
20	Rp281.349.372.928	0,37689	Rp 106.037.619.669,47700	-Rp 722.618.113.745,26000
21	Rp281.349.372.928	0,35894	Rp 100.988.209.209,02600	-Rp 621.629.904.536,23400
22	Rp281.349.372.928	0,34185	Rp 96.179.246.865,73870	-Rp 525.450.657.670,49600
23	Rp281.349.372.928	0,32557	Rp 91.599.282.729,27490	-Rp 433.851.374.941,22100
24	Rp281.349.372.928	0,31007	Rp 87.237.412.123,11900	-Rp 346.613.962.818,10200
25	Rp281.349.372.928	0,29530	Rp 83.083.249.641,06570	-Rp 263.530.713.177,03600
26	Rp281.349.372.928	0,28124	Rp 79.126.904.420,06260	-Rp 184.403.808.756,97400
27	Rp281.349.372.928	0,26785	Rp 75.358.956.590,53580	-Rp 109.044.852.166,43800
28	Rp281.349.372.928	0,25509	Rp 71.770.434.848,12930	-Rp 37.274.417.318,30840
29	Rp281.349.372.928	0,24295	Rp 68.352.795.093,45650	Rp 31.078.377.775,14810
30	Rp281.349.372.928	0,23138	Rp 65.097.900.089,00620	Rp 96.176.277.864,15430
31	Rp281.349.372.928	0,22036	Rp 61.998.147.818,41410	Rp 158.174.425.682,56800
32	Rp281.349.372.928	0,20987	Rp 59.046.792.896,39940	Rp 217.221.218.578,96800
33	Rp281.349.372.928	0,19987	Rp 56.233.299.167,11940	Rp 273.454.517.746,08700
34	Rp281.349.372.928	0,19035	Rp 53.554.853.136,84480	Rp 327.009.370.882,93200
35	Rp281.349.372.928	0,18129	Rp 51.005.827.818,11710	Rp 378.015.198.701,04900

Bedasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat dihitung arus kas (*cash flow*) pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.23 Indikator Kelayakan Finansial Reaktivasi Jalur Kereta Api Kudus-Pati

No	Ukuran Kelayakan Keuangan	Nilai Indikator	Hasil
1	Net Present Value (NPV) (Rp)	Minimal = 0	Rp 378.016.117.606,56

Lanjutan **Tabel 2.23** Indikator Kelayakan Finansial Reaktivasi Jalur Kereta Api
Kudus-Pati

2	Financial Internal Rate of Return (%)	Minimal sama dengan Cost of Capital	6%
3	Payback Period (tahun)	Minimal sama dengan umur ekonomis proyek	29 Tahun

Dari tabel di atas didapatkan hasil yang layak secara finansial untuk dilakukan pembangunan dan dioperasikan.

