

BAB II

PERANCANGAN GEOMETRIK JALAN REL

2.1 Asas dan Tujuan Penyelenggaraan Perkeretaapian

2.1.1. Asas Penyelenggaraan Perkeretaapian

Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian menjelaskan bahwa asas penyelenggaraan perkeretaapian harus memperhatikan keselamatan, keamanan, kenyamanan, kecepatan, ketepatan, keandalan, keefektifan, keterjangkauan, serta berkesinambungan dan berkelanjutan. Asas penyelenggaraan perkeretaapian harus memperhatikan prinsip persaingan yang sehat, efisiensi penggunaan sumber daya, perlindungan lingkungan hidup, serta pemanfaatan teknologi dan informasi yang tepat. Berikut beberapa penjelasan mengenai asas penyelenggaraan perkeretaapian diantaranya:

1. Keselamatan: penyelenggara perkeretaapian harus memperhatikan keselamatan penumpang maupun karyawan dalam operasional perkeretaapian. Hal ini dapat dicapai melalui pengembangan sistem keselamatan, pelatihan karyawan, dan pengawasan yang baik.
2. Kepuasan pelanggan: perkeretaapian harus mampu memberikan pelayanan yang memuaskan bagi pengguna yang didalamnya termasuk kenyamanan, keamanan, dan kecepatan layanan.
3. Efisiensi: penyelenggaraan perkeretaapian harus mampu mengoptimalkan penggunaan sumber daya yang dimiliki untuk mencapai efisiensi dalam operasionalnya.
4. Keterjangkauan: harga tiket yang ditawarkan harus dapat dijangkau oleh masyarakat umum.

Perkeretaapian sebagai hal yang tidak dapat dipisahkan dari sistem transportasi nasional yang diselenggarakan berdasarkan 9 asas berikut: asas manfaat, asas keadilan, asas keseimbangan, asas kepentingan umum, asas keterpaduan, asas kemandirian, asas transparansi, asas akuntabilitas, dan asas berkelanjutan.

Tabel 2.1 Asas Penyelenggaraan Perkeretaapian Nasional

No	Asas	Penjelasan
1	Manfaat	Perkeretaapian harus dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi kemanusiaan, peningkatan kemakmuran rakyat, kesejahteraan rakyat, dan pengembangan kehidupan yang berkesinambungan bagi warga negara
2	Keadilan	Perkeretaapian harus dapat memberi pelayanan kepada segenap lapisan masyarakat dengan biaya yang terjangkau serta memberi kesempatan berusaha dan perlindungan yang sama kepada semua pihak yang terlibat dalam perkeretaapian
3	Keseimbangan	Perkeretaapian harus diselenggarakan atas dasar keseimbangan antara sarana dan prasarana, kepentingan pengguna jasa dan penyelenggara, kebutuhan dan ketersediaan, kepentingan individu dan masyarakat, antardaerah dan antarwilayah, serta antara kepentingan nasional dan internasional
4	Kepentingan Umum	Perkeretaapian harus lebih mengutamakan kepentingan masyarakat luas daripada kepentingan perseorangan atau kelompok dengan memperhatikan keselamatan, keamanan, kenyamanan, dan ketertiban

Lanjutan **Tabel 2.1** Asas Penyelenggaraan Perkeretaapian Nasional

No	Asas	Keterangan
5	Keterpaduan	Perkeretaapian harus merupakan satu kesatuan sistem dan perencanaan yang utuh, terpadu, dan terintegrasi serta saling menunjang, baik antahierarki tatanan perkeretaapian, intramoda maupun antarmoda transportasi
6	Kemandirian	Penyelenggaraan perkeretaapian harus berlandaskan kepercayaan diri, kemampuan dan potensi produksi dalam negeri, serta sumber daya manusia dengan daya inovasi dan kreativitas yang bersendi pada kedaulatan, martabat, dan kepribadian bangsa
7	Transportasi	Penyelenggaraan perkeretaapian harus memberi ruang kepada masyarakat luas untuk memperoleh informasi yang benar, jelas, dan jujur sehingga masyarakat mempunyai kesempatan berpartisipasi bagi kemajuan perkeretaapian
8	Akuntabilitas	Penyelenggaraan perkeretaapian harus didasarkan pada kinerja yang terukur, dapat dievaluasi, dan dapat dipertanggungjawabkan kepada masyarakat
9	Berkelanjutan	Penyelenggaraan perkeretaapian harus dilakukan secara berkesinambungan, berkembang, dan meningkat dengan mengikuti kemajuan teknologi dan menjaga kelestarian lingkungan untuk menjamin terpenuhinya kebutuhan masyarakat

Sumber: UU No. 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian

2.1.2 Tujuan Penyelenggaraan Perkeretaapian

Pasal 3 Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian menjelaskan mengenai tujuan penyelenggaraan perkeretaapian sebagai berikut:

1. Meningkatkan efisiensi dan eektivitas transportasi di Indonesia dengan mengoptimalkan pemanfaatan jaringan perkeretaapian dalam sistem transportasi nasional.
2. Memfasilitasi mobilitas masyarakat dan barang secara cepat, aman, nyaman, dan terjangkau dengan menyediakan layanan perkeretaapian yang memadai.
3. Mendorong perkembangan ekonomi daerah-daerah yang dilalui oleh jalur perkeretaapian dengan memfasilitasi distribusi barang dan aksesibilitas ke daerah-daerah tersebut.
4. Menjaga kelestarian lingkungan hidup dengan mengurangi emisi gas buang dari kendaraan bermotor melalui pengembangan transportasi ramah lingkungan dengan menggunakan kereta api.
5. Meningkatkan keselamatan dan keamanan pengguna jasa perkeretaapian dengan menerapkan standar keselamatan dan keamanan yang tinggi dalam operasional perkeretaapian.
6. Memperkuat posisi perkeretaapian sebagai moda transportasi yang penting dan strategis dalam sistem transportasi nasional dengan mengembangkan jaringan perkeretaapian yang luas dan terintegrasi dengan sistem transportasi lainnya.

Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 juga mengatur mengenai pengelolaan, pengaturan, dan pengawasan perkeretaapian termasuk mengenai kewajiban pemerintah dan pihak swasta dalam mengembangkan perkeretaapian, pengaturan tarif, serta pembangunan dan pengelolaan lingkungan.

2.2 Struktur Jalan Rel

2.2.1 Definisi

Struktur jalan rel adalah seluruh bangunan terkait dengan perkeretaapian, termasuk bantalan, rel, balok penahan rel, bantalan penahan rel, serta kelengkapannya. Struktur jalan rel harus dirancang dan dibangun dengan standar yang tinggi agar mampu menahan beban dan kecepatan kereta api, serta mampu

menahan beban dan kecepatan kereta api dan memberikan kenyamanan dan keamanan bagi pengguna jasa.

2.2.2 Komponen Struktur Jalan Rel

Struktur jalan rel terdiri dari beberapa komponen utama yang harus dirancang dan dibangun dengan standar yang tinggi untuk menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna jasa. Penjelasan mengenai komponen-komponen tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bantalan Rel

Bantalan rel adalah salah satu komponen utama dari struktur jalan rel yang berfungsi sebagai penyangga atau penopang rel dan menyerap beban dari gerbong lokomotif kereta api. Bantalan rel harus memiliki sifat-sifat elastis dan harus dapat menahan beban yang diberikan dengan baik sehingga dapat memastikan keselamatan dan kenyamanan pengguna jasa.

Bantalan rel dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu bantalan rel konvensional, bantalan rel elastomeric, dan bantalan rel pratekan. Berikut ditampilkan **Tabel 2.2** perbedaan jenis bantalan rel.

Tabel 2.22 Perbedaan Jenis Bantalan Rel

Jenis Bantalan Rel	Kelebihan	Kekurangan
Bantalan Rel Konvensional	Murah, mudah dibuat dan dipasang, cukup tahan lama	Tidak tahan lama apabila tidak dirawat secara berkala, beresiko terkena serangan rayap dan kebakaran
Bantalan Rel Elastomeric	Sangat elastis, memiliki daya tahan yang baik, tidak mudah rusak	Harganya relative mahal dan pemeliharaan cukup sulit

Lanjutan **Tabel 2.2** Perbedaan Jenis Bantalan Rel

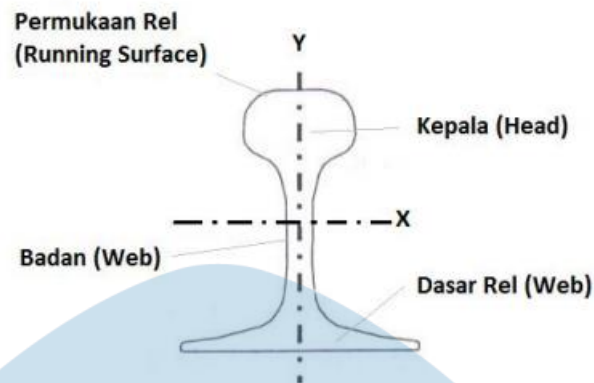
Jenis Bantalan Rel	Kelebihan	Kekurangan
Bantalan Rel Pratekan	Sangat kuat dan tahan lama, tidak mudah rusak, memungkinkan peningkatan beban angkut	Proses pembuatan dan instalasi lebih rumit, memerlukan kabel baja yang mahal serta biaya produksi yang tinggi

Setiap jenis bantalan rel memiliki kelebihan dan kekurangan tertentu, sehingga dalam pemilihan jenis bantalan rel yang tepat harus mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti biaya, ketahanan, dan pemeliharaan yang dibutuhkan.

2. Rel

(Rosyidi, 2015), rel merupakan struktur balok menerus yang diletakkan di atas tumpuan bantalan yang berfungsi sebagai penuntun dan mengarahkan pergerakan roda kereta api. Rel juga disiapkan memiliki kemampuan untuk menerima secara langsung dan menyalurkan beban 22 kereta api kepada bantalan tanpa menimbulkan defeksi yang berarti pada bagian balok rel di antara tumpuan bantalan.

Rel adalah komponen utama dari struktur jalan rel yang memiliki fungsi sebagai jalur lintasan bagi gerbong dan lokomotif kereta api. Rel umumnya terbuat dari baja UIC 60 atau setara dengan baja yang sudah ditentukan. Rel harus memiliki ketebalan dan lebar sesuai dengan standar yang ditetapkan dan juga harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban dari gerbong lokomotif. Bagian-bagian rel dapat dilihat pada Gambar 2.1 bagian-bagian rel.



Gambar 2.1 Bagian-bagian Rel

Sumber: (Rosyidi, 2015)

Berikut penjelasan mengenai bagian-bagian rel beserta fungsinya.

- *Head*
Head merupakan bagian atas rel yang berbentuk L. Bagian ini memiliki fungsi sebagai tempat roda gerbong dan lokomotif meluncur dan menopang beban gerbong dan lokomotif. *Head* rel terbuat dari baja berkualitas tinggi untuk menghindari keretakan dan keausan akibat gesekan.
- *Web*
 Web adalah bagian tengah rel yang menghubungkan head dan base. Bagian ini memiliki bentuk persegi atau persegi panjang. Web memiliki fungsi sebagai penghubung antara head dan base sehingga rel dapat menopang beban gerbong dan lokomotif dengan baik.
- *Base*
 Base adalah bagian bawah rel yang berfungsi sebagai penyangga dan penopang rel. base terletak pada bantalan rel dan menopang beban gerbong dan lokomotif secara merata. Bagian ini terbuat dari baja berkualitas tinggi untuk menghindari keretakan dan keausan akibat gesekan yang dihasilkan.
- *Join Bar*
Join bar adalah bagian rel yang berfungsi sebagai penghubung antara dua rel yang berdekatan. *Join bar* terletak pada bagian *head* dan *base* yang dapat menopang beban gerbong dan lokomotif. Bagian ini terbuat dari baja

berkualitas tinggi untuk menghindari keretakan dan keausan akibat gesekan yang dihasilkan.

- *Fastener*

Fastener adalah bagian rel yang memiliki fungsi untuk mengunci rel ke bantalan rel. *fastener* terdiri dari beberapa komponen seperti *anchor bolt*, *elastic rail clip*, dan *insulator*. Komponen ini berfungsi untuk menjaga posisi rel dan mencegah rel bergeser akibat getaran atau gerakan.

- *Tie atau Sleeper*

Tie atau sleeper adalah komponen jalan rel yang memiliki fungsi sebagai penyangga dan penopang rel di atas bantalan rel. *Tie* terbuat dari kayu atau beton dengan ukuran yang cukup besar dan menopang rel di atasnya.

Spesifikasi rel di Indonesia diatur dalam standar yang dikeluarkan oleh PT. Kereta Api Indonesia (Persero), yang merupakan badan usaha milik negara dan bertanggung jawab atas pengelolaan jaringan kereta api di Indonesia. Beberapa ketentuan spesifikasi rel di Indonesia adalah sebagai berikut:

- Panjang Rel

Panjang rel di Indonesia umumnya adalah 12 Meter untuk rel utama dan 6 Meter untuk rel penyangga. Namun, panjang rel dapat bervariasi tergantung pada jenis jaringan dan kondisi topografi.

- Berat Rel

Berat rel yang digunakan di Indonesia umumnya adalah 60 kg/meter dan 52 kg/meter. Rel dengan berat yang lebih ringan umumnya digunakan pada jalur cabang atau jalur yang frekuensi perjalanannya lebih rendah. Rosyidi (2015), rel dirancang dengan berat tertentu yang terdiri dari bagian-bagian rel yang terintegrasi dan dibentuk dari distribusi bahan metalurgi yang efektif

- Bahan Rel

Bahan rel yang digunakan di Indonesia adalah baja dengan kualitas UIC 60 yang memenuhi standar internasional dan memiliki sifat tahan terhadap keretakan dan keausan.

- Dimensi Rel

Dimensi rel yang digunakan di Indonesia adalah standar tingkat internasional yaitu 1435 mm untuk lebar dan 178 mm untuk tinggi head rel.

- Pengujian Rel

PT. Kereta Api Indonesia (Persero) melakukan pengujian rel secara berkala untuk memastikan bahwa rel memenuhi standar keselamatan dan kualitas. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian Tarik, pengujian kekerasam dan pengujian ketahanan terhadap keausan.

- Perawatan Rel

PT. Kereta Api Indonesia (Persero) melakukan perawatan rel secara berkala untuk memastikan bahwa rel tetap dalam kondisi yang baik dan aman untuk digunakan. Perawatan meliputi pembersihan rel, pengecekan kondisi rel, dan penggantian rel yang rusak atau sudah mencapai batas usia pakai.

3. Balok Penahan Rel

Balok penahan rel atau dikenal dengan bantalan rel adalah elemen konstruksi pada bagian jalan kereta api yang berfungsi untuk menahan atau menopang rel kereta api agar tetap berada pada posisi yang stabil.

- Fungsi

Fungsi utama dari balok penahan tanah adalah menopang rel kereta api sehingga rel tetap ada posisi yang tepat. Selain itu fungsi lain dari balok penahan tanah yaitu mencegah rel bergeser ke samping atau bergoyang, mengurangi getaran dan kebisingan yang ditimbulkan oleh kereta api, membantu menyeimbangkan beban kereta api, dan menjaga keselamatan kereta api dan penumpangnya.

- Bahan dan konstruksi

Balok penahan rel biasanya terbuat dari beton bertulang atau baja. Ukuran balok penahan rel dapat bervariasi berdasarkan beban yang akan ditanggung dan karakteristik tanah di bawah rel. balok penahan rel biasanya diletakkan pada bantalan antara rel dan subgrade (lapisan tanah dasar).

- **Ketentuan**

Balok penahan rel harus memiliki ukuran, ketentuan dan kualitas yang memenuhi standar teknis yang berlaku. Balok penahan rel harus dipasang pada jarak yang sesuai untuk memastikan rel tetap berada pada posisi yang stabil dan tidak bergeser ke samping. Bantalan di bawah balok penahan rel harus dirawat dan diganti secara berkala untuk mencegah kerusakan dan keretakan pada balok. Balok penahan rel harus diuji secara berkala untuk memastikan kekuatannya masih memenuhi standar teknis yang berlaku. Pemasangan balok penahan rel harus memperhatikan situasi lingkungan sekitarnya seperti keadaan tanah, curah hujan, dan suhu udara yang dapat berpengaruh terhadap kinerja balok penahan rel.

2.3 Persyaratan Teknis Struktur Jalan Rel

Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian membahas mengenai beberapa persyaratan teknis sebagai berikut:

- a) Lebar landasan rel harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Di Indonesia, lebar landasan rel standar adalah 1067 mm, 1435 mm, dan 1524 mm.
- b) Jarak antara dua rel harus sesuai dengan standar yang ditetapkan. Di Indonesia jarak antara dua rel standar adalah 1.435 mm dan 1.524 mm.
- c) Berat rel harus cukup untuk menahan beban yang diijinkan. Berat rel bergantung pada jenis rel yang digunakan.
- d) Tiang penyangga (sleeper) harus terbuat dari bahan yang cukup kuat dan tahan lama seperti beton atau kayu keras. Tiang penyangga harus ditempatkan dengan jarak yang tepat untuk menopang rel dengan baik.
- e) Jarak antar tiang penyangga harus sesuai dengan standar yang ditetapkan. Di Indonesia, jarak antara tiang penyangga standar adalah 0,6 meter.
- f) Bantalan rel harus cukup tebal dan terbuat dari bahan yang dapat menahan beban yang diijinkan. Bantalan rel terbuat dari bahan kayu atau beton.
- g) Sudut tikungan harus dirancang dengan sudut yang tepat untuk memastikan kereta api dapat melewati tikungan dengan nyaman dan stabil sudut tikungan harus disesuaikan dengan kecepatan maksimum kereta api.

- h) Jarak antara rel dan dinding atau bangunan di sekitarnya harus memenuhi standar yang ditetapkan untuk memastikan keselamatan kereta api dan pengguna jalan di sekitarnya.
- i) Drainase harus dibangun dengan benar untuk memastikan air tidak menggenangi landasan rel. Drainase dapat berupa parit atau saluran pembuangan.
- j) Pemeliharaan jalan rel harus dilakukan secara teratur untuk memastikan jalan rel tetap dalam kondisi yang baik.
- k) Jalan rel harus dilengkapi dengan tanda-tanda keselamatan seperti lampu peringatan, tanda lintasan, dan sinyal.

Dalam membangun dan mengelola jalan rel pemerintah dan pengelola jalan rel harus memastikan bahwa persyaratan teknis dan keselamatan yang ditetapkan di atas terpenuhi. Hal ini penting untuk memastikan bahwa jalan rel dapat dioperasikan dengan aman, efisien, dan berkelanjutan.

2.3.1 Klasifikasi Jalan Rel

Secara umum, jalan rel di Indonesia dibedakan menurut beberapa klasifikasi antara lain sebagai berikut:

- a) Klasifikasi jalan rel menurut daya lintas kereta api.

Daya lintas kereta api yang diukur dalam juta ton/tahun dapat dibagi dalam dua kelompok kelas jalan yaitu untuk lebar sepur 1067 mm dan 1435 mm.

Tabel 2.33 Daya Angkut Lalu Lintas Rel 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut lintas (dalam 10 ⁶ Ton/Tahun)
I	> 20
II	10 – 20
III	5 – 10
IV	2,5 – 5
V	< 2,5

Sumber: Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986

b) Klasifikasi jalan rel menurut lebar sepur

Untuk seluruh kelas jalan rel lebar sepur adalah 1067 mm yang merupakan jarak terkecil antara kedua sisi kepala rel, diukur pada daerah 0-14 mm di bawah permukaan teratas kepala rel (Peraturan Dinas No.10 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel).

c) Klasifikasi jalan rel menurut kelandaian

Jalan rel dapat diklasifikasikan berdasarkan keadaan kelandaian atau kemiringannya. Berikut adalah pengelompokan lintas jalan rel berdasarkan kelandaian yang ditampilkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.44 Pengelompokan Lintas Berdasarkan Kelandaian

Kelompok	Kelandaian
Emplasemen	0 sampai 1,5 ‰
Lintas datar	0 sampai 10 ‰
Lintas pegunungan	10 ‰ sampai 40 ‰
Lintas dengan gigi rel	40 ‰ sampai 80 ‰

Sumber: Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986

Landai penentu adalah suatu kelandaian (Pendakian) yang terbesar yang ada pada suatu lintas lurus. Besar landai penentu terutama berpengaruh pada kombinasi daya tarik lok dan rangkaian yang dioperasikan. Berikut adalah **Tabel 2.5** tentang landai penentu maksimum.

Tabel 2.55 Landai Penentu Maksimum

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

Sumber: Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986

- d) Klasifikasi jalan rel menurut beban gandar
Beban gandar adalah beban yang diterima oleh jalan rel dari satu gandar. Untuk semua kelas, beban gandar maksimum adalah 18 ton.
- e) Klasifikasi jalan rel menurut jumlah jalur
- Jalur tunggal: jumlah jalur di lintas bebas hanya satu, dan diperuntukkan untuk melayani arus lalu lintas angkutan jalan rel dari dua arah
 - Jalur ganda: jumlah jalur di lintas bebas dua jalur, dimana masing-masing jalur hanya diperuntukkan untuk melayani arus lalu lintas angkutan jalan rel satu arah.

2.3.2. Jenis Rel

(Utomo, 2009), menjelaskan bahwa jenis rel yang dimaksud di sini adalah jenis rel menurut panjangnya. Terdapat tiga jenis rel menurut panjangnya, yaitu:

1. Rel Standar

Rel standar mempunyai panjang 25 meter. Pada waktu yang lalu, panjang rel standar ialah 17 meter, tetapi sekarang PT Kereta Api (persero) menggunakan panjang 25 meter untuk rel standar

2. Rel Pendek

Rel pendek dibuat dari beberapa rel standar yang disambung dengan las dan dikerjakan di tempat pengerjaan (balai yasa/depot dan sejenisnya). Rel pendek ini maksimumnya 100 meter. Batasan panjang rel tersebut adalah berdasarkan pada kemudahan pengangkutan ke lapangan dan pengangkatan di lapangan.

3. Rel Panjang

Rel panjang dibuat dari beberapa rel pendek yang disambung dengan las di lapangan, dikenal pula sebagai Continuous Welded Rail (CWR). Panjang minimum rel panjang tergantung pada jenis bantalan yang digunakan dan tipe rel yang dijelaskan lebih lanjut pada tabel 2.6 panjang minimum rel panjang.

Tabel 2.66 Panjang Minimum Rel Panjang

Jenis Bantalan	Tipe Rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
Jenis Bantalan	325 m	375 m	400 m	450 m
Jenis Bantalan	200 m	225 m	250 m	275 m

Sumber: Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986

2.4 Parameter Perancangan Geometrik

Dalam perancangan geometrik jalan terdapat beberapa pertimbangan yang menjadi parameter dalam menentukan tingkat kenyamanan dan keamanan yang dihasilkan.

2.4.1 Kelas Jalan Rel

Kelas jalan rel adalah salah satu parameter penting dalam perancangan geometric jalan rel. Kelas jalan rel mengacu pada kelas-kelas jalan rel berdasarkan kemampuan struktur jalan rel untuk menahan beban yang diterapkan pada jalan rel tersebut. Kelas jalan rel dipengaruhi oleh banya factor seperti beban yang diterapkan, jenis material rel, kemiringan jalan, dan kondisi lingkungan sekitar jalan rel.

a) Lebar jalan rel 1067 mm

Lebar jalan rel 1067 digunakan untuk daerah yang berada di pulau Jawa. Hal ini dikarenakan topografi yang cenderung beragam dan jenis kereta yang digunakan. Adapun detail lebar jalan rel 1067 mm ditampilkan dalam **Tabel 2.7**

Tabel 2.77 Lebar Jalan Rel 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton /tahun)	V maks (km /jam)	P Maks Gandar (Ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak Antar Sumbu Bantalan			
I	>20. 106	120	18	R.60/ R.54	<u>Beton</u> 60	Elastis Ganda	30	60
II	10. 106 -20.106	110	18	R.54/ R.50	Beton/ <u>Kayu</u> 60	Elastis Ganda	30	50
III	5. 106 -10.106	100	18	R54/ R.50/ R.42	Beton/ Kayu/ Baja 60	Elastis Ganda	30	40

Lanjutan **Tabel 2.7** Lebar Jalan Rel 1067 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton /tahun)	V maks (km /jam)	P Maks Gandar (Ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak Antar Sumbu Bantalan			
IV	2,5.106 -5.106	90	18	R.54/ R.50/ R.42	Beton/ Kayu/ Baja 60	Elastis Ganda/ Tunggal	25	40
V	<2,5. 106	80	18	R.42	Kayu/Baja	Elastis Tunggal	25	35

Sumber: PM No. 60 Tahun 2012

b) Lebar jalan rel 1435 mm

Lebar jalan rel 1435 mm digunakan untuk daerah yang berada di luar pulau Jawa. Adapun detail lebar jalan rel 1435 mm ditampilkan dalam **Tabel 2.8**

Tabel 2.88 Lebar Jalan Rel 1435 mm

Kelas Jalan	Daya Angkut Lintas (ton /tahun)	V maks (km /jam)	P Maks Gandar (Ton)	Tipe Rel	Jenis Bantalan	Jenis Penambat	Tebal Balas Atas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
					Jarak Antar Sumbu Bantalan			
I	>20. 106	160	22,5	R.60	<u>Beton</u> 60	Elastis Ganda	30	60
II	10. 106 -20.106	140	22,5	R.60	<u>Beton</u> 60	Elastis Ganda	30	50
III	5. 106 -10.106	120	22,5	R.60/ R.54	<u>Beton</u> 60	Elastis Ganda	30	40
IV	<5. 106	100	22,5	R.60/ R.54	<u>Beton</u> 60	Elastis Ganda	30	40

Sumber: PM No. 60 Tahun 2012

2.4.2 Kecepatan Rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang digunakan untuk merencanakan konstruksi jalan rel.

- a) Untuk perencanaan struktur jalan rel

$$V_{\text{rencana}} = 1,25 \times V_{\text{maks}}$$

- b) Untuk perencanaan peninggian

$$V_{\text{rencana}} = c \times \frac{\sum N_i V_i}{\sum N_i}$$

- c) Untuk perencanaan jari-jari lengkung peralihan

$$V_{\text{rencana}} = V_{\text{maks}}$$

2.4.3 Kecepatan Maksimum

Kecepatan maksimum adalah kecepatan tertinggi yang diijinkan untuk operasi suatu rangkaian kereta pada lintas tertentu.

2.4.4 Kecepatan Operasi

Kecepatan operasi adalah kecepatan rata-rata pada petak jalan tertentu

2.4.5 Kecepatan Komersial

Kecepatan komersial adalah kecepatan rata-rata kereta api sebagai hasil pembagian jarak tempuh dengan waktu tempuh. Pertimbangan lain yang diperlukan dalam membuat geometrik jalan rel adalah:

1. Permukaan rel harus dirancang memiliki permukaan yang cukup lebar untuk membuat tegangan kontak di antara rel dan roda sekecil mungkin.
2. Kepala rel harus cukup tebal untuk memberikan umur manfaat yang panjang.
3. Badan rel harus cukup tebal untuk menjaga dari pengaruh korosi dan mampu menahan tegangan lentur serta tegangan horisontal.
4. Dasar rel harus cukup lebar untuk dapat mengecilkan distribusi tegangan ke bantalan baik melalui pelat andas maupun tidak.
5. Dasar rel juga harus tebal untuk tetap kaku dan menjaga bagian yang hilang akibat korosi.
6. Momen inersia harus cukup tinggi, sehingga tinggi rel diusahakan tinggi dan mencukupi tanpa bahaya tekuk.

7. Tegangan horisontal diusahakan dapat direduksi oleh kepala dan dasar rel dengan perencanaan geometriknya yang cukup lebar.
8. Stabilitas horisontal dipengaruhi oleh perbandingan lebar dan tinggi rel yang mencukupi.
9. Titik pusat sebaiknya di tengah rel.
10. Geometrik badan rel harus sesuai dengan pelat sambung.
11. Jari-jari kepala rel harus cukup besar untuk mereduksi tegangan kontak.

2.5 Alinyemen Horizontal

Dua lengkung lurus yang panjangnya saling membentuk sudut harus dihubungkan dengan lengkung yang berbentuk lingkaran, dengan dan atau tanpa lengkung-lengkung peralihan. Untuk berbagai kecepatan rencana, besar jari-jari minimum yang diijinkan adalah seperti yang tercantum pada Tabel 2.9.

Tabel 2.99 Jari-jari Minimum Yang Diijinkan

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran tanpa lengkung peralihan (m)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran yang diijinkan dengan lengkung peralihan (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. 60 Tahun 2012

Lengkung peralihan adalah suatu lengkung dengan jari-jari yang berubah beraturan. Lengkung peralihan dipakai sebagai peralihan antara bagian yang lurus dan bagian lingkaran sebagai peralihan antara dua jari-jari lingkaran yang berbeda. Lengkung peralihan dipergunakan pada jari-jari lengkung yang relatif kecil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.9.

2.6 Alinyemen Vertikal

Alinemen vertical merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertical yang melalui sumbu jalan rel. Besar jari-jari minimum lengkung vertical bergantung pada kecepatan rencana yang dinyatakan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.1010 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

Pengukuran lengkung vertical dilakukan pada titik awal peralihan kelandaian. Dua lengkung vertical yang berdekatan harus memiliki transisi lurus sekurang-kurangnya sepanjang 20 m.

2.7 Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah pada konstruksi jalur kereta api merupakan bagian penting dari pembangunan infrastruktur rel. Pekerjaan tanah dilakukan untuk mempersiapkan lahan dan membentuk bantalan rel atau embankmen yang kokoh dan stabil sebagai dasar jalan rel. Berikut adalah pekerjaan tanah pada struktur jalan rel.

2.7.1 Penggalian dan Pengangkutan Tanah

Pada tahap ini, dilakukan penggalian dan pengangkutan tanah untuk membentuk kpolo bantalan rel atau embankmen. Tanah yang sudah digali kemudian diangkut dan ditempatkan pada lokasi yang ditentukan.

2.7.2 Penimbunan dan Pemadatan Tanah

Setelah tanah di angkut ke lokasi yang sudah ditentukan, dilakukan penimbunan dan pemadatan tanah secara bertahap untuk membenruk bantalan rel atau embankmen yang stabil dan kokoh. Tahap pemadatan ini sangat penting untuk

memastikan bahwa bantalan rel atau embankment yang dibuat memiliki ketahanan yang cukup untuk menahan beban kereta api yang melintas di atasnya.

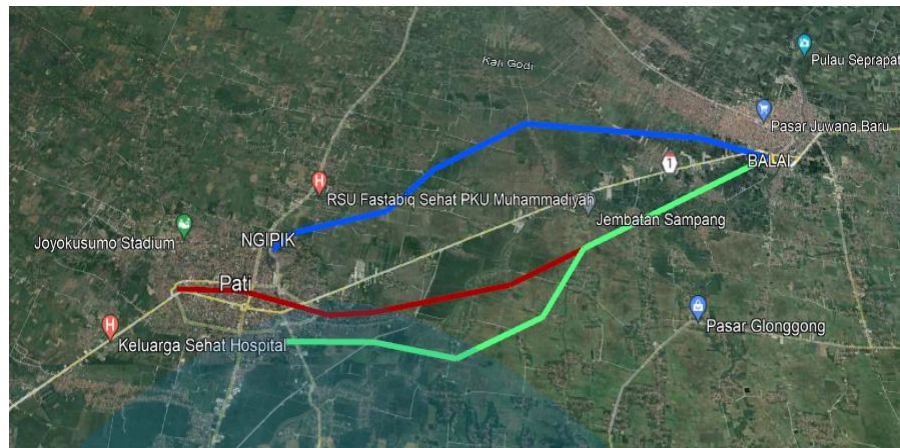
2.7.3 Pengerjaan Drainase

Selain penggalian dan penimbunan, pada pekerjaan tanah juga mencakup pengerjaan drainase. Drainase merupakan system pengelolaan air untuk memastikan bahwa air dapat mengalir dengan baik dan tidak menyebabkan kerusakan pada jalan rel. Drainase dapat berupa saluran air, gorong-gorong, atau system pengaliran lain yang dirancang sesuai dengan kondisi lingkungan di sekitar jalan rel.

Dalam pelaksanaannya, pekerjaan tanah pada konstruksi jalur kereta api juga perlu memperhatikan faktor keselamatan. Beberapa masalah yang sering terjadi pada pekerjaan tanah di lokasi konstruksi jalur kereta api adalah longsor, runtuhnya tanah, dan keruntuhan bantalan rel atau embankmen. Perlu dilakukan pengawasan yang ketat selama pelaksanaan pekerjaan tanah untuk mencegah terjadinya kecelakaan dan kerusakan pada proyek konstruksi.

2.8 Gambaran Alternatif Trase

Pengembangan dari alternatif trase jalan rel kereta api bertujuan untuk memperoleh alternatif trase yang optimal dari 3 opsi pilihan trase berdasarkan beberapa penilaian. Penilaian tersebut terdiri dari kriteria teknis, integrasi jaringan, dan sosial. Pada rencana reaktivasi jalan rel kereta api, masing-masing kriteria terdiri dari beberapa sub kriteria yang akan berpengaruh dalam pemilihan alternatif trase yang optimal. Alternatif 3 opsi pilihan trase reaktivasi Jalur Kereta Api Pati – Juwana seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Alternatif Trase

Gambar 2.2 merupakan alternatif trase reaktivasi jalur Kereta Api Pati – Juwana dengan keterangan warna merah adalah trase 1, warna hijau adalah trase 2 dan warna biru adalah trase 3. Pada tugas akhir ini, perhitungan perencanaan dilakukan dengan menggunakan *software Ms Excel*, *AutoCAD* dan *Civil 3D 2023*. Dengan menggunakan *software* tersebut dapat melakukan peningkatan kualitas pekerjaan desain dan pengelolaan data dengan baik karena semua proses berjalan saling terintegrasi.

2.8.1 Alternatif Trase Pertama

Alternatif trase pertama pada jalan rel kereta api Pati – Juwana memiliki jarak sejauh 13,9 km. Stasiun awal pada alternatif pertama terletak di Jalan Tunggul Wulung 16, Puri, Pati, Jawa Tengah. Stasiun awal tersebut merupakan stasiun kereta api Pati yang pernah beroperasi namun saat ini telah non-aktif. Penggambaran alternatif pertama ditampilkan dalam Gambar 2.3



Gambar 2.3 Alternatif Trase Pertama

Setelah melakukan peninjauan kontur dan lokasi trase, dilakukan peninjauan pada kriteria seperti teknis, integrasi jaringan, hukum/kesesuaian rencana pengembangan dan sosial yang kemudian ditampilkan pada tabel Tabel 2.11

Tabel 2.1111 Rincian Kriteria Trase Alternatif Pertama

No	Kriteria	Sub-kriteria	Keterangan
1.	Teknis	Panjang trase (km)	13,9
		Jumlah tikungan	3
		V rencana (km/jam)	120
		Tipe rel	R54
		V rencana (km/jam)	120
		Tipe rel	R54
		Kelandaian maksimum (‰)	10
		Sungai	STA 2+160 STA 6+220 STA 10+400
		Jembatan	STA 2+160 STA 6+220 STA 10+400
Bandara	-		

Sumber: Hasil analisis

Lanjutan Tabel 2.11 Rincian Kriteria Trase Alternatif Pertama

No	Kriteria	Sub-kriteria	Keterangan
2.	Integrasi Jaringan	Terminal bus (Pati/Juwana) (km)	Terminal Pati (2,34 km dari stasiun Pati) Terminal Juwana (0,38 km dari Stasiun Juwana)
		Pelabuhan	Stasiun Juwana – Pelabuhan Juwana (2,8 km)
		Bandara	-
3.	Hukum/Kesesuaian rencana pengembangan	Kesesuaian RTRW Kabupaten Pati	Perda No.2 Tahun 2021
		RIPNas Perkeretaapian	KM No.296 Tahun 2020
		Peraturan perencanaan	PD 10 Tahun 1986
4.	Sosial	Memindahkan Prasarana/fasum:	
		a. Pasar	Pasar Bumdes Sumber Barokah
		b. Rumah	STA 00+00 – STA 3+050 STA 6+260 – STA 6+490 STA 11+900 – STA 12+300 STA 13+800 – STA 13+900
		c. Tempat ibadah	-
		d. Bangunan Pemerintah	Dinporanpar Kab. Pati

Sumber: Hasil analisis

Lanjutan **Tabel 2.11** Rincian Kriteria Trase Alternatif Pertama

No	Kriteria	Sub-kriteria	Keterangan
		e. Sekolah	JHS 8 Pati (STA 1+200) Sentra Tahfidz Quran (STA 1+440) TK Pertiwi (STA 2+480) SD Negeri Sidoharjo (STA 2+930)

Sumber: Hasil analisis

2.8.2 Alternatif Trase Kedua

Alternatif trase kedua pada jalan rel kereta api Pati – Juwana memiliki jarak sejauh 12,4 km. Stasiun awal pada alternatif kedua terletak di Semampir, Pati, Jawa Tengah yang merupakan lahan kosong dan direncanakan untuk alternatif trase kedua, karena stasiun rel kereta api pertama sudah dipadati oleh rumah-rumah warga sekitar. Alternatif trase ke dua ditampilkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Trase Alternatif Kedua

Setelah melakukan peninjauan kontur dan lokasi trase, dilakukan peninjauan pada kriteria seperti teknis, integrasi jaringan, hukum/kesesuaian rencana pengembangan dan sosial yang kemudian ditampilkan pada tabel **Tabel 2.12**

Tabel 2.12 12 Rincian Kriteria Trase Alternatif Kedua

No	Kriteria	Sub-kriteria	Keterangan
1.	Teknis	Panjang trase (km)	12,4
		Jumlah tikungan	4
		V rencana (km/jam)	150
		Tipe rel	R54
		Kelandaian maksimum (‰)	10
		Sungai	STA 8+850
		Jembatan	STA 8+850
2.	Integrasi Jaringan	Terminal bus (Pati/Juwana) (km)	Terminal Pati (0,32 km dari stasiun Pati) Terminal Juwana (0,38 km dari Stasiun Juwana)
		Pelabuhan	Stasiun Juwana – Pelabuhan Juwana (2,8 km)
		Bandara	-
3.	Hukum/Kesesuaian rencana pengembangan	Kesesuaian RTRW Kabupatrn Pati	Perda No.2 Tahun 2021
		RIPNas Perkeretaapian	KM No.296 Tahun 2020
		Peraturan perencanaan	PD 10 Tahun 1986

Sumber: Hasil analisis

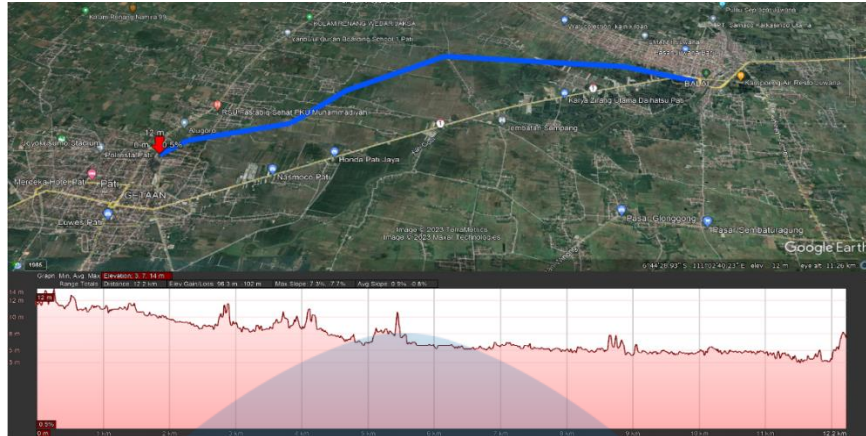
Lanjutan **Tabel 2.12** Rincian Kriteria Trase Alternatif Kedua

No	Kriteria	Sub-kriteria	Keterangan
4.	Sosial	Memindahkan Prasarana/fasum:	
		a. Pasar	-
		b. Rumah	STA 00+190 – STA 00+350 STA 00+580 – STA 00+620 STA 5+600 – STA 5+750 STA 10+300 – STA 10+800 STA 12+300 – STA 12+400
		c. Tempat ibadah	-
		d. Bangunan Pemerintah	-
		e. Sekolah	-
		f. Perusahaan	-

Sumber: Hasil analisis

2.8.3 Alternatif Trase Ketiga

Alternatif trase ketiga pada jalan rel kereta api Pati – Juwana memiliki jarak sejauh 12,2 km. Stasiun awal pada alternatif ketiga terletak di Semampir, Pati, Jawa Tengah. Stasiun awal tersebut merupakan lahan kosong yang direncanakan untuk alternatif trase ketiga, karena stasiun rel kereta api pertama sudah dipadati oleh rumah-rumah warga sekitar. Alternatif trase ketiga ditampilkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Trase Alternatif Ketiga

Setelah melakukan peninjauan kontur dan lokasi trase, dilakukan peninjauan pada kriteria seperti teknis, integrasi jaringan, hukum/kesesuaian rencana pengembangan dan sosial yang kemudian ditampilkan pada tabel **Tabel 2.13**.

Tabel 2.13 Rincian Kriteria Trase Alternatif Ketiga

No	Kriteria	Sub-kriteria	Keterangan
1.	Teknis	Panjang trase (km)	12,2
		Jumlah tikungan	5
		V rencana (km/jam)	150
		Tipe rel	R54
		Kelandaian maksimum (‰)	10
		Sungai	-
		Jembatan	-
Bandara	-		

Sumber: Hasil analisis

Lanjutan **Tabel 2.13** Rincian Kriteria Trase Alternatif Ketiga

No	Kriteria	Sub-kriteria	Keterangan
2.	Integrasi Jaringan	Terminal bus (Pati/Juwana) (km)	Terminal Pati (0,36 km dari stasiun Pati) Terminal Juwana (0,38 km dari Stasiun Juwana)
		Pelabuhan	Stasiun Juwana – Pelabuhan Juwana (2,8 km)
		Bandara	-
3.	Hukum/Kesesuaian rencana pengembangan	Kesesuaian RTRW Kabupatrn Pati	Perda No.2 Tahun 2021
		RIPNas Perkeretaapian	KM No.296 Tahun 2020
		Peraturan perencanaan	PD 10 Tahun 1986
4.	Sosial	Memindahkan Prasarana/fasum:	
		a. Pasar	-
		b. Rumah	STA 00+080 – STA 00+290 STA 2+830 – STA 2+900 STA 12+000 – STA 12+200
		c. Tempat ibadah	-

Sumber: Hasil analisis

Lanjutan **Tabel 2.13** Rincian Kriteria Trase Alternatif Ketiga

No	Kriteria	Sub-kriteria	Keterangan
		d. Bangunan Pemerintah	-
		e. Sekolah	-
		f. Perusahaan	PT Bhisma Areo Sejahtera KM 0+012

Sumber: Hasil analisis

2.9 Perencanaan Alinyemen Horizontal

Kecepatan yang direncanakan pada Reaktivasi Jalur Kereta Api Pati – Juwana yaitu 120 km/jam dan jari-jari rencana 780 m. Perhitungan alinyemen horizontal pada alternatif trase tiga menggunakan perhitungan *spiral-circle-spiral* (SCS) adalah sebagai berikut:

1. Peninggian sisi luar rel

Elevasi rel pada bagian luar dibuat lebih tinggi sedangkan rel bagian dalam elevasinya tetap pada lengkungan.

Vrencana = 120 km/jam

Jari-jari (R) = 780m

$$h = \frac{5,95 \times V^2}{R}$$

$$h = \frac{5,95 \times 120^2}{780}$$

$$= 109,846 \text{ mm}$$

2. Panjang minimum lengkung peralihan

$$Lh = 0,01 \times h \times V$$

$$= 0,01 \times 109,846 \times 120$$

$$= 131,815 \text{ m}$$

3. Sudut spiral

$$\theta_s = \frac{90 \times Lh}{R}$$

$$= \frac{90 \times 131,815}{\pi \times 780}$$

$$= 4,841$$

4. Panjang lengkung peralihan

$$L_c = \frac{(\Delta - 2\theta_s) \times \pi R}{180}$$

$$= \frac{(27,6 - 2 \times 4,841) \times \pi \times 780}{180}$$

$$= 243,919 \text{ m}$$

5. Jarak dari busur lingkaran terhadap sudut tangen

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

$$= \frac{131,815^2}{6 \times 780} - 780(1 - \cos 4,841)$$

$$= 0,930 \text{ m}$$

6. Panjang k

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

$$= 131,815 - \frac{131,815^3}{40 \times 780^2} - 780 \sin 4,841$$

$$= 65,892 \text{ m}$$

7. Panjang Ts

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

$$= (780 + 0,930) \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} 27,6 \right) + 65,892$$

$$= 257,707 \text{ m}$$

8. Panjang titik E

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

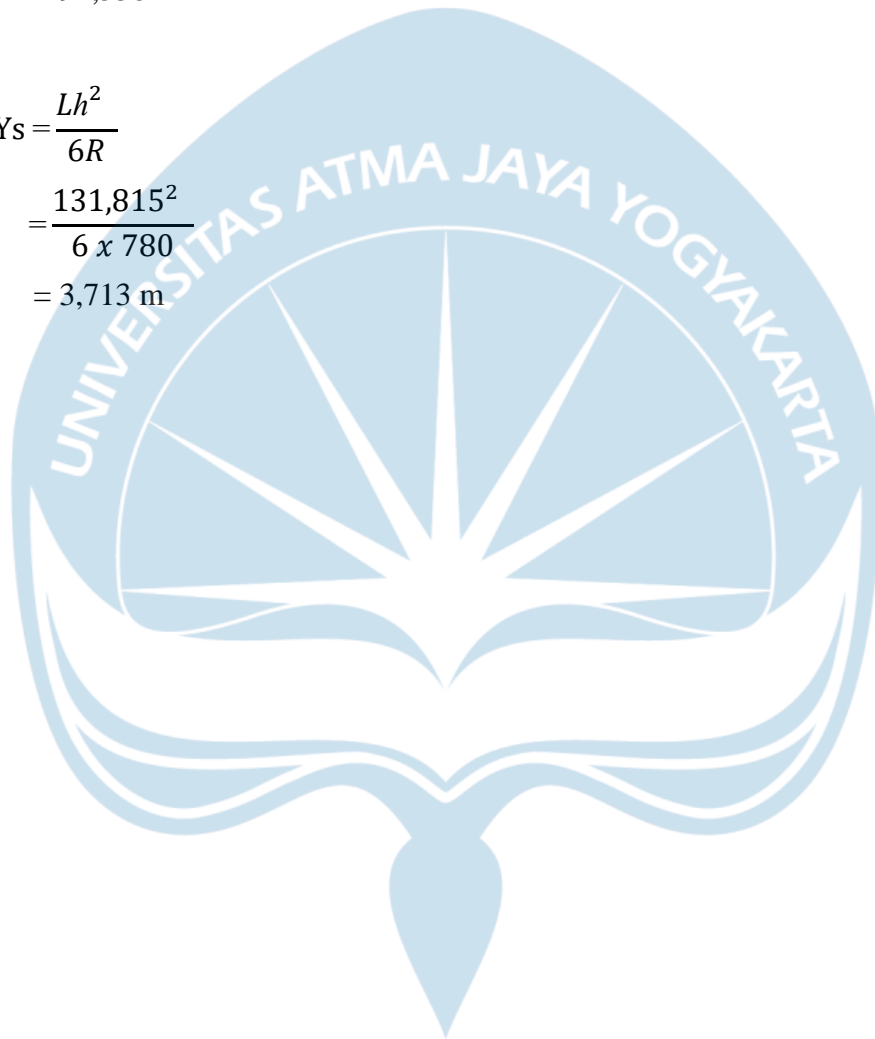
$$= \frac{(780 + 0,930)}{\cos \left(\frac{1}{2} 27,6 \right)} - 780$$

$$= 24,142 \text{ m}$$

9. Panjang Xs dan Ys

$$\begin{aligned} X_s &= \frac{hV}{144} \\ &= \frac{109,846 \times 120}{144} \\ &= 91,538 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_s &= \frac{Lh^2}{6R} \\ &= \frac{131,815^2}{6 \times 780} \\ &= 3,713 \text{ m} \end{aligned}$$



Hasil perhitungan alinyemen horizontal pada reaktivasi jalur kereta api Pati – Juwana dengan menggunakan perhitungan spiral circle spiral (SCS) dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Rekapitulasi Perhitungan Alinyemen Horizontal

Trase	Tikungan	Δ	R (m)	V (km/jam)	h (mm)	Lh (m)	θ_s	Lc (m)	p	k	Ts	E	Xs	Ys
Alternatif 1	Tikungan 1	14.98	780	120	109.8462	131.81538	4.84	72.116	0.930	65.892	168.565	7.650	91.538	3.71267
	Tikungan 2	20.33	780	120	109.8462	131.81538	4.84	144.948	0.930	65.892	205.911	13.383	91.538	3.71267
	Tikungan 3	10.62	780	120	109.8462	131.81538	4.84	12.761	0.930	65.892	138.474	4.296	91.538	3.71267
Alternatif 2	Tikungan 1	11.58	780	120	109.8462	131.81538	4.84	25.830	0.930	65.892	145.078	4.934	91.538	3.71267
	Tikungan 2	28.46	780	120	109.8462	131.81538	4.84	255.627	0.930	65.892	263.933	25.650	91.538	3.71267
	Tikungan 3	29.32	780	120	109.8462	131.81538	4.84	267.334	0.930	65.892	270.182	27.209	91.538	3.71267
	Tikungan 4	29.94	780	120	109.8462	131.81538	4.84	275.775	0.930	65.892	274.703	28.365	91.538	3.71267
Alternatif 3	Tikungan 1	27.6	780	120	109.8462	131.81538	4.84	243.919	0.930	65.892	257.707	24.142	91.538	3.71267
	Tikungan 2	29.06	780	120	109.8462	131.81538	4.84	263.795	0.930	65.892	268.290	26.732	91.538	3.71267
	Tikungan 3	15.48	780	120	109.8462	131.81538	4.84	78.923	0.930	65.892	172.033	8.110	91.538	3.71267
	Tikungan 4	26.22	780	120	109.8462	131.81538	4.84	225.132	0.930	65.892	247.764	21.828	91.538	3.71267
	Tikungan 5	14.73	780	120	109.8462	131.81538	4.84	68.712	0.930	65.892	166.832	7.426	91.538	3.71267

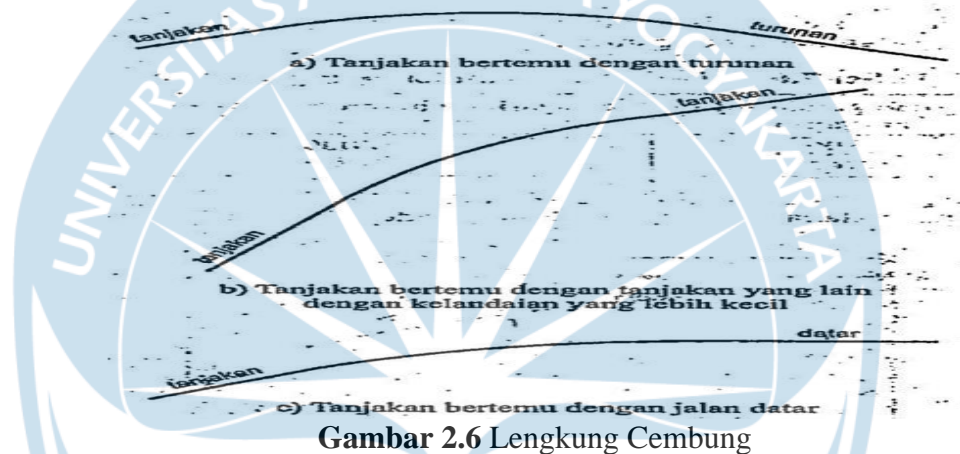
Sumber: Hasil perhitungan

2.10 Perencanaan Alinyemen Vertikal

Lengkung vertikal adalah transisi suatu kelandaian menuju kelandaian berikutnya, sehingga perubahan kelandaian dapat beraturan. Lengkung vertikal terbagi menjadi dua jenis yaitu:

2.10.1 Lengkung Cembung

Lengkung cembung adalah lengkung vertikal yang memiliki kecembungan ke atas atau sering dikenal dengan *summit curve* / *spur curve*. Lengkung cembung dibuat pada kondisi tanjakan bertemu dengan turunan, tanjakan bertemu dengan tanjakan lain dengan kelandaian yang lebih kecil, tanjakan dengan jalan datar.



Gambar 2.6 Lengkung Cembung

Sumber: (Utomo, 2006)

Perhitungan lengkung vertikal bertujuan untuk menentukan kelandaian dari jalan rel yang direncanakan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V = 120 \text{ km/jam}$$

$$R = 8000 \text{ m}$$

$$e_1 = 0$$

$$e_2 = (0,7)$$

$$X_m = \frac{8000}{2} \times (0 - (0,7))$$

$$= 2,8 \text{ m}$$

$$Y_m = \frac{8000}{8} \times (0 - (0,7))^2$$

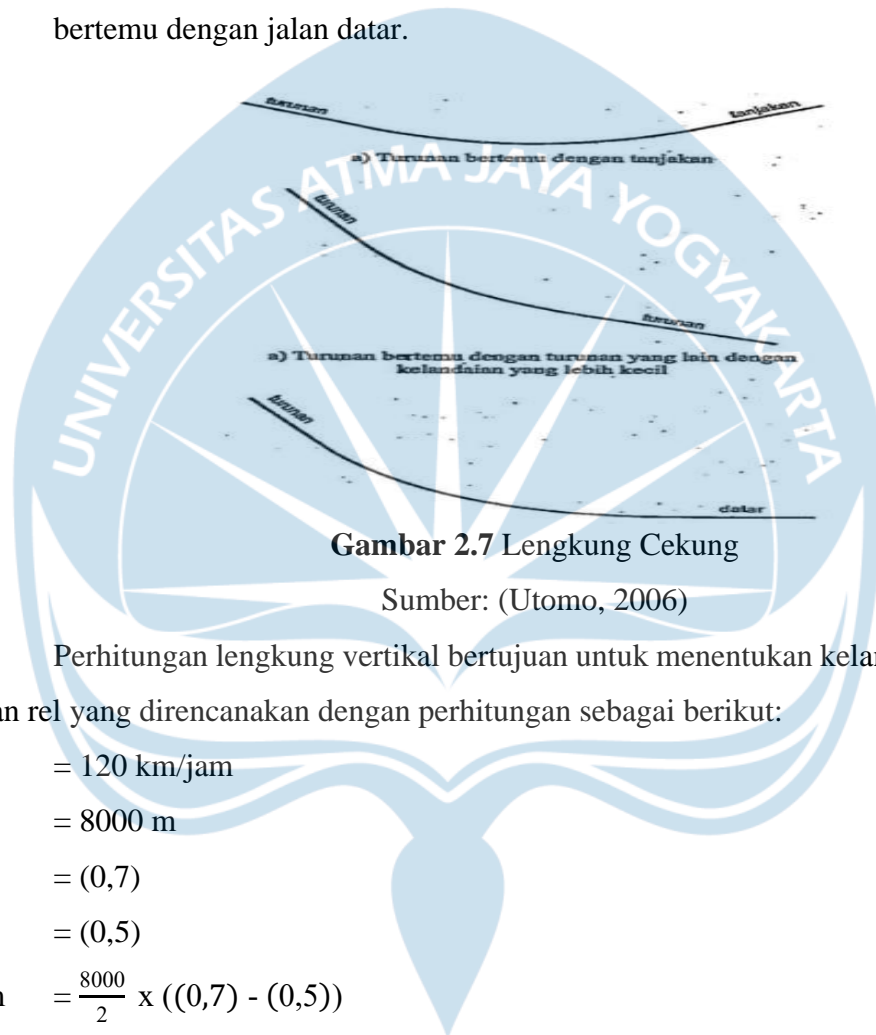
$$= 0,0005 \text{ m}$$

$$L = R \times (0 - (0,7))$$

$$= 5,6 \text{ m}$$

2.10.2 Lengkung Cekung

Lengkung cekung adalah lengkung vertikal yang memiliki kecekungan ke bawah atau dikenal dengan *valley curve* / *sag curve*. Lengkung cekung dibuat pada kondisi turunan bertemu dengan tanjakan, turunan bertemu dengan turunan lain dengan kelandaian yang lebih kecil, atau turunan bertemu dengan jalan datar.



Gambar 2.7 Lengkung Cekung

Sumber: (Utomo, 2006)

Perhitungan lengkung vertikal bertujuan untuk menentukan kelandaian dari jalan rel yang direncanakan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$V = 120 \text{ km/jam}$$

$$R = 8000 \text{ m}$$

$$e_1 = (0,7)$$

$$e_2 = (0,5)$$

$$X_m = \frac{8000}{2} \times ((0,7) - (0,5))$$

$$= 0,8 \text{ m}$$

$$Y_m = \frac{8000}{8} \times ((0,7) - (0,5))^2$$

$$= 0,0005 \text{ m}$$

$$L = R \times (0 - (0,7))$$

$$= 0,00004 \text{ m}$$

2.11 Perbandingan Rencana Trase Terpilih

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor: PM. 11 Tahun 2012 Tentang Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api menjelaskan bahwa trase merupakan rencana tapak jalur kereta api yang telah diketahui titik-titik koordinatnya. Penetapan trase jalur kereta api memiliki tujuan sebagai berikut:

- a. Mewujudkan keharmonisan antara jaringan jalur kereta api dan perencanaan tata ruang wilayah sesuai dengan tatarannya
- b. Mewujudkan keterpaduan pengendalian pemanfaatan ruang untuk jaringan jalur kereta api dalam rangka perlindungan fungsi ruang dan pencegahan dampak negatif terhadap lingkungan akibat pembangunan jalur kereta api.
- c. Mewujudkan keterpaduan jaringan jalur kereta api sebagai satu kesatuan sistem jaringan transportasi nasional, sehingga dapat mempermudah pelayanan angkutan orang dan/atau barang.
- d. Mewujudkan efisiensi dalam penyelenggaraan perkeretaapian.
- e. Dalam menentukan trase jalur kereta api setidaknya terdapat 4 kriteria yang perlu dievaluasi yaitu kriteria secara teknis, hukum, keuangan serta perencanaan. Pada penentuan trase jalur kereta api Pati – Juwana terdapat 6 kriteria yaitu kriteria secara teknis, integrasi jaringan, hukum/kesuaian dengan rencana pengembangan, keuangan/biaya konstruksi, aksesibilitas dan mobilitas serta tata guna lahan.

Tabel 2.15 Perbandingan Karakteristik Alternatif Trase

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Kondisi Karakteristik		
			Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1	Teknis	Geometrik			
		Panjang Trase (km)	13.9	12.5	12.2
		Waktu Tempuh	0,139 jam		
		Tikungan	3	6	5

Sumber: Hasil analisis

Lanjutan **Tabel 2.15** Perbandingan Karakteristik Alternatif Trase

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Kondisi Karakteristik		
			Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
2	Integrasi Jaringan	Terminal Bus Pati/Juwana (km)	Terminal Pati	Terminal Pati	Terminal Pati
		Sentra Industri			
		Pelabuhan	Pelabuhan Juwana	Pelabuhan Juwana	Pelabuhan Juwana
		Moda			
		Pasar			
3	Hukum/Kesesuaian Rencana Pengembangan	RIPNAS	KM nomor 296 Tahun 2020		
		Kesesuaian RTRW	PD 10 Tahun 1986		
		Rencana Pengembangan	Perda No. 2 Tahun 2021		
		Rencana Pengembangan	Perda RPIK Kabupaten Pati 2022		
4	Biaya	Pekerjaan Jembatan			
		Konstruksi Rel			
		Pembebasan Lahan			
		Menjangkau wilayah yang dihubungkan			
5	Aksesibilitas	Kemudahan kendaraan bergerak			

Sumber: Hasil analisis

Lanjutan **Tabel 2.15** Perbandingan Karakteristik Alternatif Trase

6	Tata Guna Lahan	Memindahkan Prasarana/Fasum:			
		a. Pasar	1	Tidak ada	Tidak ada
		b. Rumah	4 daerah	3 daerah	3 daerah
		c. Tempat Ibadah	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
		d. Bangunan Pemerintah	1	Tidak ada	Tidak ada
		e. Sekolah	4	Tidak ada	Tidak ada
		g. Perusahaan	Tidak ada	Tidak ada	1

Sumber: Hasil analisis

a. Teknis

Peninjauan kriteria teknis digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan trase yang akan digunakan. Adapun kriteria-kriteria teknis yakni geometrik, panjang trase, waktu tempuh, jumlah tikungan, topografi yang menyangkut galian timbunan, dan kebutuhan lahan, Jalur kereta api Pati – Juwana akan menggunakan spesifikasi teknis dasar untuk jaringan kereta api eksisting di koridor Jawa secara umum yakni dengan menggunakan lebar jalan rel 1067 mm.

b. Integrasi Jaringan

Setelah menentukan teknis mengenai rencana jalur kereta api Pati – Juwana ditinjau terkait dengan integrasi jaringan yang menyangkut jarak antara stasiun kereta api yang akan dibangun dengan terminal bus yang paling dekat baik yang berada di daerah Pati maupun yang berada di daerah Juwana. Selain terminal bus, juga ditinjau jarak stasiun yang akan dibangun dengan sentra industri dan pasar. Peninjauan terhadap Pelabuhan terdekat juga dilakukan sebagai upaya untuk memaksimalkan mobilitas kereta api Pati – Juwana. Integrasi antar jaringan dilakukan dengan menggunakan teknologi yang ada agar layanan angkutan tetap dapat dilakukan secara lebih optimal.

c. Hukum/Kesesuaian Rencana Pengembangan

RIPNAS KM Nomor 296 Tahun 2020 tentang Rencana Perubahan Atas Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KP 2128 Tahun 2018 Tentang Rencana Induk Perkeretaapian Nasional menjadi pedoman dalam melakukan perencanaan pembuatan jalur rel kereta api Pati Juwana. Selain itu, kesesuaian dengan RTRW yang berlaku pada Peraturan Daerah Kabupaten Pati Nomor 2 Tahun 2021 dan Rencana Pengembangan yang sesuai pada Perda RPIK Kabupaten Pati 2022.

d. Aksesibilitas

Aksesibilitas yang ditinjau meliputi bagaimana nantinya jalur rel kereta api Pati – Juwana dapat menjangkau wilayah yang dihubungkan yakni wilayah Pati dan Juwana, juga kemudahan kendaraan dalam bergerak dimana hal ini penting sebagai mobilitas kendaraan dalam penggunaannya. Selain untuk jangka pendek, juga ditinjau terkait dengan rencana pengembangan yang mungkin untuk dilakukan di kemudian hari.

e. Tata Guna Lahan

Tata guna lahan dalam pembangunan jalur kereta api Pati – Juwana melibatkan beberapa perubahan penggunaan lahan secara spesifik untuk tujuan konstruksi, operasional, dan pemeliharaan jalur kereta api. Hal ini melibatkan perencanaan yang cermat untuk memilih lokasi yang tepat dan optimal untuk jalur rel kereta api serta mengatur penggunaan lahan di sekitarnya. Tata guna lahan yang dilakukan penulis dalam pembangunan jalur kereta api Pati – Juwana meliputi pemindahan sarana dan prasarana atau fasilitas umum berupa pasar, rumah, tempat ibadah, bangunan pemerintahan, sekolah, dan perusahaan.

2.12 Usulan Rencana Trase Terpilih

(Saaty, 1990) yang merupakan pencipta metode AHP (Analitical Hierarchy Process) menyatakan bahwa kuisisioner metode AHP digunakan untuk mengumpulkan data preferensi dan perbandingan dari responden. Kuisisioner ini berisi serangkaian pertanyaan yang dirancang untuk mengukur preferensi dan bobot relative antara kriteria atau alternatif yang terlibat dalam pengambilan keputusan. Penulis mengolah temuan hasil penelitian dengan mewawancarai beberapa narasumber atau responden pengisi kuisisioner yang ahli dalam bidangnya.

Pengolahan data kegiatan perbandingan berpasangan yang dilakukan menggunakan aplikasi BPMSG AHP excel template with EVM multiple inputs version 12.08.2013 yang dibuat oleh K. D. Goepel dan didownload dan diakses <http://bpmsg.com>.

Data atau informasi hasil pengolahan data melalui Aplikasi BPMSG AHP excel template with EVM multiple inputs version 12.08.2013 yang telah dijalankan dengan menggunakan program MS Excel.



Tabel 2.16 Hasil Perhitungan Bobot Kriteria dan Variabel Kriteria

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Bobot Kriteria	Bobot Per Variabel	Bobot Variabel
1	Teknis	Geometrik	0.265	0.121	0.032
		Panjang Trase (km)		0.059	0.016
		Waktu Tempuh		0.130	0.034
		Tikungan		0.139	0.037
		Topografi		0.198	0.052
		Kebutuhan Lahan		0.122	0.032
		Dampak		0.129	0.034
		Keterpaduan Moda		0.103	0.027

Lanjutan **Tabel 2.16** Hasil Perhitungan Bobot Kriteria dan Variabel Kriteria

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Bobot Kriteria	Bobot Per Variabel	Bobot Variabel
2	Integrasi Jaringan	Terminal Bus Pati/Juwana (km)	0.218	0.384	0.084
		Sentra Industri		0.146	0.032
		Pelabuhan		0.066	0.014
		Moda		0.201	0.044
		Pasar		0.203	0.044
3	Hukum/Kesesuaian Rencana Pengembangan	RIPNAS	0.096	0.390	0.037
		Kesesuaian RTRW		0.400	0.038
		Rencana Pengembangan		0.210	0.020

Lanjutan **Tabel 2.16** Hasil Perhitungan Bobot Kriteria dan Variabel Kriteria

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Bobot Kriteria	Bobot Per Variabel	Bobot Variabel
4	Biaya	Pekerjaan Jembatan	0.082	0.275	0.026
		Konstruksi Rel		0.320	0.031
		Pembebasan Lahan		0.405	0.039
5	Aksesibilitas	Menjangkau wilayah yang dihubungkan	0.19	0.481	0.046
		Kemudahan Kendaraan Bergerak		0.251	0.024
		Rencana Pengembangan		0.268	0.026
6	Tata Guna Lahan	Luas Lahan yang Perlu Dibebaskan	0.15	0.461	0.044
		Luas Bangunan yang Perlu Dibebaskan		0.326	0.031
		Luas Pemukiman yang Perlu Dibebaskan		0.213	0.020

Tabel 2.17 Hasil Akhir Ranking Pembobotan

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Bobot Kriteria	Bobot Variabel 1	RANKING			HASIL PEMBOBOTAN		
					Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
1	Teknis	Geometrik	0.265	0.032	1	2	3	0.032	0.064	0.096
		Panjang Trase (km)		0.016	3	2	1	0.047	0.031	0.016
		Waktu Tempuh		0.034	3	2	1	0.103	0.069	0.034
		Persimpangan		0.037	1	3	2	0.037	0.111	0.074
		Topografi (Galian/Timbunan)		0.052	2	3	1	0.105	0.157	0.052
		Kebutuhan Lahan		0.032	3	2	1	0.097	0.065	0.032
		Dampak		0.034	3	2	1	0.103	0.068	0.034
		Keterpaduan Moda		0.027	3	1	2	0.082	0.027	0.055
2	Integrasi Jaringan	Terminal Bus Pati/Juwana	0.218	0.084	3	1	2	0.251	0.084	0.167
		Sentra Industri		0.032	2	2	2	0.032	0.032	0.032
		Perumahan		0.014	1	3	2	0.014	0.043	0.029
		Moda		0.044	3	1	2	0.131	0.044	0.088
		Pasar		0.044	2	2	2	0.089	0.089	0.089
3	Hukum/Kesesuaian Rencana Pengembangan	Peraturan Pengembangan	0.096	0.037	2	2	2	0.037	0.037	0.037
		Kesesuaian RTRW		0.038	2	2	2	0.038	0.038	0.038
		Transportasi Wilayah		0.020	2	2	2	0.020	0.020	0.020
4	Biaya	Pembebasan Lahan	0.082	0.026	3	2	1	0.079	0.053	0.026

No	Kriteria	Variabel Kriteria	Bobot Kriteria	Bobot Variabel	RANKING			HASIL PEMBOBOTAN		
					Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
		Konstruksi Rel		0.031	3	2	1	0.092	0.061	0.031
		Pembebasan Pemukiman		0.039	3	2	1	0.117	0.078	0.039
5	Aksesibilitas	Menjangkau wilayah yg dihubungkan	0.190	0.046	1	2	3	0.046	0.092	0.139
		Kemudahan kendaraan bergerak		0.024	3	2	1	0.072	0.048	0.024
		Rencana pengembangan		0.026	3	2	1	0.077	0.051	0.026
6	Tata Guna Lahan	Luas lahan yang perlu dibebaskan	0.150	0.044	3	2	1	0.133	0.089	0.044
		Luas bangunan yang perlu dibebaskan		0.031	3	2	1	0.094	0.063	0.031
		Luas pemukiman yang perlu dibebaskan		0.020	3	2	1	0.061	0.041	0.020
TOTAL								1.835	1.452	1.222

Berdasarkan **Tabel 2.16** tentang perbandingan alternatif karakteristik trase, penulis telah memiliki beberapa kriteria yang akan digunakan dalam menyusun pertanyaan yang kemudian dibandingkan dalam kuisisioner. Hal ini juga sesuai dengan tinjauan penulis terhadap kondisi yang terjadi di lapangan. Dapat dilihat pada bagian jarak trase dimana trase terpanjang dimiliki oleh trase alternatif 1 dan trase terpendek dimiliki oleh trase alternatif 3. Lokasi pekerjaan pembangunan jalur rel kereta api Pati – Juwana yang masih terletak pada satu kabupaten menyebabkan integrasi jaringan yang terdekat adalah Pelabuhan Juwana dan Terminal Pati. Adapun dalam tata guna lahan trase 1, 2, 3 tidak melewati tempat ibadah, namun terdapat beberapa sekolah yang memungkinkan terjadinya pengrusakan.

Melihat dari hasil Akhir Pembobotan pada **Tabel 2.17**, trase alternatif 3 memiliki nilai yang paling kecil dibandingkan dengan 2 alternatif trase yang lain yakni 1.222. Hal ini berarti trase alternatif 3 dapat dijadikan sebagai trase terpilih untuk Jalur kereta api Pati-Juwana. Berdasarkan data yang sudah dikumpulkan dan dianalisis, alternatif trase 3 unggul dalam kriteria teknis dengan variable kriteria geometri dan persimpangan. Kriteria selanjutnya yang ditinjau oleh penulis adalah integrasi jaringan dimana alternatif trase 3 mendapatkan nilai seri dengan kedua alternatif trase yang lain untuk bidang sentra industry dan pasar. Hal ini dikarenakan pada trase 3 cukup banyak lahan yang harus dibebaskan. Namun dalam hal aksesibilitas, alternatif trase 3 unggul dalam menjangkau wilayah yang dihubungkan. Hal ini menjadi pertimbangan yang sangat penting dalam menentukan alternatif trase yang akan dipilih mengingat fungsi utama dari dibangunnya jalur rel kereta api Pati – Juwana adalah sebagai penghubung antar satu daerah dengan daerah yang lain.

Berdasarkan hasil analisis AHP dan beberapa pertimbangan pada setiap variable kriteria, maka trase alternatif 3 yang penulis pilih sebagai trase yang akan dilakukan pekerjaan pembangunan jalur kereta api Pati – Juwana.

2.13 Analisis Kelayakan Finansial dan Ekonomi

2.13.1 Perhitungan Biaya Pembangunan Jalan Rel Kereta Api

Perhitungan biaya pembangunan jalan rel kereta api Pati - Juwana dengan menggunakan harga satuan berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan RI Nomor 78 Tahun 2014. Harga satuan pembangunan jalan rel kereta api dikonversi berdasarkan Indeks Kemahalan Konstruksi Provinsi Jawa Tengah 2022.

Tabel 2.18 Indeks Kemahalan Konstruksi Provinsi 2022

NO	PROVINSI	INDEKS KEMAHALAN KONSTRUKSI	
		2014	2022
1	ACEH	93,54	100.59
2	SUMATERA UTARA	96,08	103.4
3	SUMATERA BARAT	92,90	97.66
4	RIAU	102,89	99.21
5	JAMBI	94.90	96.84
6	SUMATERA SELATAN	98,80	92.04
7	BENGKULU	96,21	95.65
8	LAMPUNG	91,87	90.46
9	KEP. BANGKA BELITUNG	102,09	102.78
10	KEP. RIAU	107,34	115.97
11	DKI JAKARTA	97,13	121.48
12	JAWA BARAT	88,05	105.97
13	JAWA TENGAH	83,00	100.63
14	DI YOGYAKARTA	84,81	102.37
15	JAWA TIMUR	87,62	100.02
16	BANTEN	89,19	97.72
17	BALI	91,67	104.74
18	NUSA TENGGARA BARAT	81,00	104.44
19	NUSA TENGGARA TIMUR	89,31	93.69
20	KALIMANTAN BARAT	109,46	109.37
21	KALIMANTAN TENGAH	103,23	104.77
22	KALIMANTAN SELATAN	99,18	102.26
23	KALIMANTAN TIMUR	100	115.65
24	KALIMANTAN UTARA	109,86	104.69
25	SULAWESI UTARA	102,10	104.74
26	SULAWESI TENGAH	86,62	92.5
27	SULAWESI SELATAN	88,55	95.22
28	SULAWESI TENGGARA	99,67	98.02

Lanjutan **Tabel 2.18** Indeks Kemahalan Konstruksi Provinsi 2022

NO	PROVINSI	INDEKS KEMAHALAN KONSTRUKSI	
		2015	2022
29	GORONTALO	93,62	95.28
30	SULAWESI BARAT	94,79	87.44
31	MALUKU	104,43	107.97
32	MALUKU UTARA	117,89	110.6
33	PAPUA BARAT	125,79	124.82
34	PAPUA	191,86	192.57

Sumber: Badan Pusat Statistik (BPS)

Harga satuan pembangunan jalur kereta api berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan RI Nomor 78 Tahun 2014 dapat dilihat pada **Tabel 2.19**.

Tabel 2.19 Harga Satuan Pembangunan Jalur Kereta Api per 1 Km 2014

No.	Jenis Pekerjaan	Biaya (Rp)
1	Pengujian Tanah	7.500.000,00
2	Perbaikan tanah dasar dengan geotextile	806.970.511,00
3	Timbunan tanah tubuh jalan KA	2.216.892.852,00
4	Galian tanah untuk jalan KA dan membuang	728.464.422,16
5	Perapian / finishing timbunan	448.010.886,92
6	Pengadaan dan menggelar sub balas	1.971.547.373,97
7	Pengadaan dan memasukkan balas dengan KA	1.142.823.599,98
8	Pengadaan dan memasukkan balas dengan truk	1.573.461.359,97
9	Bantalan Kayu	71.846.400,00
10	Pemasangan bantalan beton lengkap dengan penambat elastis termasuk angkut dan ecer	97.324.453,67
11	Menyetel dan pemasangan rel R.54	367.020.850,96
12	Mengelas rel dengan las thermit	166.427.994,43
13	Mengerjakan angkat listrik HTT, MTT, PBR dan VDM	636.879.501,30
14	Pasang dan stel wesel R.54	97.479.505,28
15	Pasang patok HM dan KM	33.842.287,17
16	Angkutan rel dan wesel dari gudang ke lokasi	296.847.867,18
17	Sub drain	1.247.542.836,29

Lanjutan **Tabel 2.19** Harga Satuan Pembangunan Jalur Kereta Api 1 Km

No.	Jenis Pekerjaan	Biaya (Rp)
18	Switch over	160.225.536,41
19	Perbaikan tanah dasar dengan dolken	51.580.731,57
Biaya Pembangunan Kereta Api per 1 Km		12.122.688.970,26

Sumber: Peraturan Menteri Perhubungan RI Nomor 78 Tahun 2014

Indeks Kemahalan Konstruksi Provinsi Jawa Tengah Tahun 2014, selisih antara tahun 2014 dan 2022 meningkat sebesar 17,63% sehingga harga satuan pembangunan jalur kereta api Pati - Juwana dikonversi berdasarkan Indeks Kemahalan Konstruksi Provinsi Jawa Tengah terlihat dalam **Tabel 2.20**.

Tabel 2.20 Harga Satuan Pembangunan Jalur Kereta Api Pati – Juwana 2022

No.	Jenis Pekerjaan	Biaya (Rp)
1	Pengujian Tanah	8.822.250,00
2	Perbaikan tanah dasar dengan geotextile	949.239.412,09
3	Timbunan tanah tubuh jalan KA	2.607.731.061,81
4	Galian tanah untuk jalan KA dan membuang	856.892.699,79
5	Perapian / finishing timbunan	526.995.206,28
6	Pengadaan dan menggelar sub balas	2.319.131.176,00
7	Pengadaan dan memasukkan balas dengan KA	1.344.303.400,66
8	Pengadaan dan memasukkan balas dengan truk	1.850.862.597,73
9	Pemasangan bantalan beton lengkap dengan penambat elastis termasuk angkut dan ecer	114.482.754,85
10	Menyetel dan pemasangan rel R.54	431.726.626,98
11	Mengelas rel dengan las thermit	195.769.249,85
12	Mengerjakan angkat listrik HTT, MTT, PBR dan VDM	749.161.357,38
13	Pasang dan stel wesel R.54	114.665.142,06
14	Pasang patok HM dan KM	39.808.682,40
15	Angkutan rel dan wesel dari gudang ke lokasi	349.182.146,16
16	Sub drain	1.467.484.638,33
17	Switch over	188.473.298,48

Dari hasil konversi Indeks Kemahalan Konstruksi 2022 pada Provinsi Jawa Tengah, didapatkan total biaya usulan alternatif trase pembangunan kereta api jalur Pati Juwana (12,2 km) sebesar Rp172.199.726.750,38.

2.13.2 Perhitungan Biaya Pengadaan Lahan

Ruang bebas merupakan ruang jalan rel yang harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang. Ukuran ruang bebas untuk jalur ganda adalah 2,35 m di kiri kanan jalan rel. Lebar pengadaan lahan untuk pembangunan jalur kereta api Pati – Juwana sebesar 16,2 m.

Harga satuan diperoleh berdasarkan Peraturan Bupati Pati Nomor 81 Tahun 2012 tentang Penetapan Nilai Pasar Tanah di Kabupaten Pati yang dapat dilihat pada Tabel 2.21.

Tabel 2.21 Biaya Pengadaan Lahan Jalur Kereta Api Pati – Juwana

Trase	STA	Tata Guna Lahan	Luas Lahan (m ²)	Harga Satuan per m ² (Rp)	Biaya Pengadaan Lahan (Rp)
Alternatif 3	0 + 000 - 0 + 500	Pemukiman	8.100	2.000.000	16.200.000.000
	0 + 500 - 1 + 400	Sawah	14.580	200.000	2.916.000.000
	1 + 400 - 1 + 500	Pemukiman	1.620	2.000.000	3.240.000.000
	1 + 500 - 2 + 860	Sawah	22.032	200.000	4.406.400.000
	2 + 860 - 2 + 920	Pemukiman	9.720	2.000.000	19.440.000.000
	2 + 920 - 8 + 700	Sawah	93.636	200.000	18.727.200.000
	8 + 700 - 8 + 950	Pemukiman	4.050	2.000.000	8.100.000.000
	8 + 950 - 11 + 700	Sawah	44.550	200.000	8.910.000.000
	11 + 700 - 12 + 000	Pemukiman	4.860	2.000.000	9.720.000.000
	12 + 000 - 12 + 200	Pemukiman	3.240	2.000.000	6.480.000.000

Sumber: Hasil perhitungan

Hasil perhitungan biaya pengadaan lahan untuk pembangunan jalur rel kereta api Pati – Juwana sebesar Rp98.139.600.000,00.

2.13.3 Perhitungan Investasi Pembangunan

Biaya investasi pembangunan kereta api terdiri dari biaya pembangunan, biaya perencanaan, pengawasan dan izin lingkungan, biaya persiapan serta biaya tak terduga.

1. Biaya Pembangunan Konstruksi Jalan Rel

Total biaya pembangunan jalur ganda kereta api sepanjang 12,2 km sebesar Rp172.199.726.750,38.

2. Biaya Tak Langsung

Rincian biaya tak langsung didapat berdasarkan proyek pembangunan kereta api jalur ganda Gedebage – Cicalengka (16,9 km).

- a) Biaya perencanaan, pengawasan dan izin lingkungan sebesar 1,5% dari biaya konstruksi.
- b) Biaya persiapan dan pengelolaan dan perizinan sebesar 0,5% dari biaya konstruksi.
- c) Biaya tak terduga sebesar 10% dari biaya konstruksi.

Biaya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan kereta api jalur Pati – Juwana dapat dilihat pada Tabel 2.22.

Tabel 2.22 Biaya Investasi Pembangunan Jalur Kereta Api Pati – Juwana

No	Uraian Biaya	Total Biaya (Rp)
1	Biaya pembangunan jalur kereta api	172.199.726.750,38
2	Biaya pengadaan lahan	98.139.600.000,00
3	Biaya perencanaan	2.582.995.901,26
4	Biaya perizinan	12.914.979,51
5	Biaya tak terduga	17.219.972.675,04
Total investasi		290.155.210.306,18

Sumber: Hasil perhitungan

2.13.4 Perhitungan Biaya Operasional Jalan Rel Kereta Api

Biaya operasional dan pemeliharaan prasarana berdasarkan persentase terhadap nilai asetnya (Mott MacDonald, et.al, 2002). Besaran persentase dapat dilihat sebagai berikut:

1. Jembatan dan bangunan : 1%
2. Rel kereta api : 0,5%
3. Stasiun dan pendukungnya: 2%
4. Sinyal : 1%
5. Telekomunikasi : 1%
6. Pekerjaan lainnya : 0,25%

Tabel 2.23 Biaya Operasional dan Pemeliharaan Jalur Kereta Api Pati - Juwana

Biaya Operasional dan Pemeliharaan	Total Biaya (Rp)
Jembatan dan bangunan	1.721.997.267,50
Rel kereta api	860.998.633,75
Stasiun dan pendukungnya	3.443.994.535,01
Sinyal	1.721.997.267,50
Telekomunikasi	1.721.997.267,50
Pekerjaan lainnya	1.721.997.267,50
Total	11.192.982.238,77

Sumber: Hasil perhitungan

2.13.5 Pendapatan

Moda yang digunakan adalah Trainset KRDE ME 204 (SF 4 Kereta) dengan kapasitas penumpang 200 penumpang. Asumsi penumpang yang digunakan pada Jalan Rel Kereta Api Pati – Juwana adalah 70% dari kapasitas penumpang per lintas, sedangkan jumlah lintasan per hari sebanyak 18 lintasan per hari. Penentuan tarif kereta penumpang ditentukan berdasarkan pernyataan Direktur Prasarana Kereta Api Kementerian Perhubungan (Kemenhub) Heru Wisnu Wibowodalam wawancaranya melalui media online terkait biaya KRD per penumpang per km sebesar Rp642, sehingga asumsi tarif kereta Pati – Juwana dikenakan sebesar Rp8.000.



Gambar 2.8 KRDE ME 204
Sumber: PT INKA

Tabel 2.24 Data teknis KRDE

System Configuration	
<p>EgGC: Engine and Generator Control unit DE: Diesel Engine G: Generator SIV: Static Inverter WFFINV: Propulsion Control System M: Traction Motor MRf: Main Rectifier</p>	
Gambar 2.9 Sistem konfigurasi KRDE	Sumber : Woojin
Konfigurasi	TeC1 – M – T – TeC2
Kecepatan maksimum operasional	100 km/jam
Lebar sepur	1067 mm
Panjang carbody kereta	TeC = 20.458 mm
Lebar carbody kereta	M, T = 20.708 mm
Tinggi lantai diukur dari kepala rel	
Dimensi umum	1.100 mm
Khusus pada area engine	1.200 mm

Tinggi atap dari kepala rel (termasuk AC)	3.820 mm
Jarak antara pusat bogie	14.000 mm
Jarak sumbu roda bogie	2.200 mm
Diameter roda baru	860 mm
Diameter roda minimum	780 mm
Berat kosong maksimal	TeC = 43,5 ton
	M = 43,5 ton
	T = 38,5 ton
Tempat duduk	TeC1 = 46 kursi
	M = 56 kursi
	T = 52 kursi
	TeC2 = 46 kursi

Penerimaan yang didapatkan didasarkan pada kapasitas tempat duduk dan jadwal pengoperasian kereta penumpang jalur Semarang – Demak – Kudus – Pati – Juwana, dan diasumsikan bahwa kenaikan pendapatan sebesar 2% setiap 5 tahun dengan pertimbangan penyesuaian terhadap peminat dan peningkatan mutu pelayanan.

2.13.6 Kelayakan Finansial

Analisis finansial memperhitungkan pengeluaran/operasional dan pendapatan/keuntungan sesuai dengan biaya yang telah direncanakan, termasuk biaya pembangunannya.

2.13.7 *Net Present Value (NPV)*

Net Present Value (NPV) adalah metode sederhana dimana jumlah cash in flow dikonversikan ke nilai saat ini (present value) dengan tingkat suku bunga.

Jumlah cash in flow dengan nilai present value sama dengan biaya investasi (NPV = 0), maka pendapatan hanya cukup untuk membayar biaya investasi. Proyek dapat dikatakan layak atau diterima bila NPV lebih dari 0 (Khuzafah & Anggraini, 2017).

$$NPV = \sum(\text{Benefit} \times \text{discount factor}) - (\text{Cost} \times \text{discount rate})$$

Keterangan:

NPV bernilai positif, investasi layak

NPV bernilai negatif, investasi tidak layak

NPV > 0, investasi layak

NPV < 0, investasi tidak layak

NPV = 0, investasi tidak memiliki pengaruh

Nilai *Net Present Value* (NPV) didapatkan sebesar 89.363.967.582,80 (positif) dengan perhitungan sebagai berikut:

Periode (n) = 50 tahun

Biaya investasi = (Rp290.155.210.306,18)

Biaya operasional = (Rp11.192.982.238,77)

$\sum(\text{Pendapatan} \times \text{discount rate}) = \text{Rp}73.879.944.491,35$

$\sum(\text{Pengeluaran} \times \text{discount rate}) = (\text{Rp}401.131.552.762,22)$

Discount rate = 10%

$NPV = \sum(\text{Benefit} \times \text{discount factor}) - (\text{Cost} \times \text{discount rate})$

= Rp73.879.944.491,35 - (Rp401.131.552.762,22)

= Rp327.251.608.270,87 (negatif), investasi tidak layak

2.13.8 *Benefit Cost Ratio* (BCR)

(Soeharto, 1999), menyatakan bahwa untuk mengkaji kelayakan proyek sering digunakan kriteria *Benefit Cost Ratio* (BCR). Penggunaannya sering digunakan dalam mengevaluasi proyek-proyek untuk kepentingan umum atau sektor publik.

$$BCR = \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}}$$

Keterangan:

$BCR \geq 1$, investasi layak

$BCR \leq 1$, investasi tidak layak

Hasil perhitungan nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) didapatkan sebesar $1,2 \geq 1$ dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Sigma(\text{Pendapatan} \times \text{discount rate}) &= \text{Rp}73.879.944.491,35 \\ \Sigma(\text{Pengeluaran} \times \text{discount rate}) &= (\text{Rp}401.131.552.762,22) \\ BCR &= \frac{\text{Benefit}}{\text{Cost}} \\ &= \frac{\text{Rp}73.879.944.491,35}{(\text{Rp}401.131.552.762,22)} \\ &= 0,18 \leq 1 \text{ (investasi tidak layak)} \end{aligned}$$

2.13.9 *Internal Rate of Return* (IRR)

(Susanti & Maini, 2019), menyatakan bahwa *Internal Rate of Return* (IRR) merupakan suatu tingkat bunga yang menggambarkan tingkat keuntungan dari suatu proyek atau investasi yang nilai NPV sama dengan nol.

$$IRR = i_2 + \frac{NPV_2}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1)$$

Keterangan:

i_2 = tingkat suku bunga menghasilkan NPV₂

i_1 = tingkat suku bunga menghasilkan NPV₁

NPV₁ = Net Present Value menggunakan i_1

NPV₂ = Net Present Value menggunakan i_2

Hasil perhitungan nilai *Internal Rate of Return* (IRR) didapatkan sebesar $13,3\% > 10\%$ dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} IRR &= i_2 + \frac{NPV_2}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \\ &= 5\% + \frac{(327.251.608.270,87)}{(355.489.544.791,63) - (327.251.608.270,87)} (5\% - 10\%) \\ &= -52,9\% < 10\% \text{ (investasi tidak layak)} \end{aligned}$$

2.13.10 Kelayakan Ekonomi

Kelayakan ekonomi memerlukan tambahan beberapa hal lain yang terkait dengan keuntungan ekonomi secara lebih luas yang akan diterima oleh masyarakat. Manfaat ekonomi yang diperoleh dari beroperasinya jalur kereta api adalah adanya penghematan biaya perjalanan, penghematan nilai waktu perjalanan dan penghematan biaya polusi udara.

1. Biaya Kesehatan

Badan Pengelola Lingkungan Hidup Daerah (BPLHD) menyatakan penggunaan 4.500.000.000 liter mengakibatkan kerugian biaya kesehatan sebesar Rp38.500.000.000 setara dengan Rp8.556/liter BBM.

Penghematan 84.161,7 liter/tahun memberikan penghematan biaya kesehatan sebesar = Rp8.856/liter BBM x Rp84.161,7 liter = Rp745.336.015,2

2. Penghematan nilai waktu perjalanan

Penghematan nilai waktu perjalanan adalah penghematan waktu perjalanan yang diperoleh angkutan penumpang pengguna mobil pribadi, sepeda motor, angkutan umum yang beralih ke moda kereta api dan angkutan barang pengguna truk yang beralih ke moda kereta api.

Besaran nilai waktu yang digunakan didapatkan dari studi kelayakan yang dilakukan pada Laporan Akhir FS Terminal PPU yaitu sebesar Rp 12.680/orang/jam.

Dengan anggapan per orang menghemat 13 menit maka nilai waktu perjalanan sejumlah 202.746 orang/tahun, maka menghemat senilai :

= (13/60) jam x 202.746 orang x Rp 12.680,-/orang/jam = Rp. 557.010.844,-

3. Penghematan biaya polusi udara

Penghematan biaya polusi udara yang timbul sebagai akibat dari besarnya kendaraan di sepanjang jalan. Penghematan polusi udara dihitung dari perkalian potensi angkutan penumpang dengan selisih biaya polusi udara dari perjalanan angkutan penumpang moda kereta api dengan angkutan penumpang moda

mobil pribadi, sepeda motor dan angkutan umum serta perkalian potensi angkutan barang dengan selisih biaya polusi barang perjalanan angkutan barang moda kereta api dengan angkutan barang moda truk. Beberapa diantara jenis gas buang dari kendaraan bermotor tersebut dikontrol jumlahnya dengan alasan untuk memelihara kualitas udara baik dalam skala lokal maupun global. Gas buang yang jumlahnya dikontrol tersebut antara lain adalah CO (Carbon Monoxide), CO₂ (Carbon Dioxide), HC (Hydrocarbons), NO_x (Nitrogen Oxides), SO₂ (Sulphur Oxides).

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2014 Tentang Kerugian Lingkungan Hidup Akibat Pencemaran Dan/Atau Kerusakan Lingkungan Hidup, dengan basis biaya per unit pencemaran Rp. 24.750,-.

Nilai kalor minyak solar adalah 36×10^{-6} TJ/liter

Sehingga dalam 1 tahun selisih sejumlah 84.161,7 liter/tahun (BBM Solar) menghasilkan

Konsumsi solar = $84.161,7 \text{ liter} \times 36 \times 10^{-6} \text{ TJ/liter} = 3 \text{ TJ} = 3.000 \text{ kg Joule}$

Dampak polusi per unit adalah 400 kg.

Sehingga besaran dampak sebesar $= 3.000 / 400 = 7,5 \text{ unit}$

Nilai rupiah dampak polusi sebesar $= 7,5 \times \text{Rp. } 24.750, = \text{Rp. } 185.625$

4. Penghematan konsumsi BBM

Penghematan konsumsi BBM yang diperoleh angkutan penumpang pengguna mobil pribadi dan angkutan umum yang beralih ke moda kereta api.

Tabel 2.25 Jumlah Penumpang Kereta Api Pati – Juwana

		Kereta Api
Kapasitas	K	200
Jumlah lintasan	n	18
Load factor (%)	LF	70
Headway (menit)	H	7,32
Jarak Perjalanan (km)	J	12,2
Jumlah penumpang	$JP = K*n*LF$	
Per hari		2.520
Per tahun		919.800
Jumlah penumpang km	$JP*J$	
Per hari		30.744
Per tahun		11.221.560

Penggunaan perbandingan energi dapat dilihat pada Tabel 2.26 berikut:

Tabel 2.26 Perbandingan Penggunaan Energi

Moda Transportasi	Volume Angkut	Konsumsi Energi BBM/Km	Penggunaan Energi BBM/Km/Pnp
Mobil	5 orang	0,1 liter	0,02
Bus	40 orang	0,5 liter	0,0125

Perhitungan dengan jumlah penumpang tersebut diatas apabila menggunakan mobil dan menggunakan angkutan umum terdapat selisih sebagai berikut:

Tabel 2.27 Perhitungan Penggunaan Energi

Penggunaan Energi	BBM/Km/Pnp	Kereta Api
Mobil (Pertalite)	0,02	614,88
Bus (Solar)	0,0125	384,3
Selisih	Per hari	230,58
	Per tahun	84.161,7

Terdapat selisih sejumlah 84.161,7 liter/tahun. Harga Pertalite Rp10.000 dan Solar Rp6.800. Terdapat selisih harga sebesar Rp3.200, sehingga terjadi penghematan sebesar $= 3.200 \times 84.161,7 = \text{Rp}269.317.440/\text{tahun}$.

Analisis ekonomi memperhitungkan pengeluaran/operasional dan pendapatan/keuntungan serta biaya keuntungan ekonomi lainnya sebagaimana yang disampaikan di atas sesuai dengan biaya yang direncanakan, termasuk biaya pembangunannya.

Asumsi yang digunakan dalam perhitungan kelayakan ekonomi adalah :

- Biaya Investasi : Rp 290.155.210.306,18,-
- Biaya Operasional : Rp 11.192.982.238,77,-
- Keuntungan (Kenaikan 2%/5 tahun) : Rp 8.776.091.444,-
- Masa perhitungan : 50 tahun

Dari kajian di atas maka didapatkan hasil sebagai berikut :

- NPV : - Rp325.741.020.523,10 (Tidak Layak)
- BCR : -0,07 <1 (Tidak Layak)
- IRR : -103,7% <10% (Tidak Layak)