



Perencanaan Geometri Jalur Kereta Api Kecepatan Tinggi Lintas Bandung - Cirebon Fase II (Cimalaka-Ligung) KM 33+850 – KM 67+000

Adya Aghasta^{1✉}, Aldi Wardana Yudha²

^{1,2}Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

Adya@ppi.ac.id

Abstract

This research delves into the meticulous geometry planning of the High-Speed Railway Track for the Bandung-Cirebon Phase III (Ligung-Tengahtani), spanning KM 67+000 to KM 100+685.72. In pursuit of engineering excellence, the study leverages cutting-edge Autocad Civil 3D, Global Mapper and ArcGIS Student technology and exhaustive field surveys to craft a track alignment that redefines speed and safety standards. The design intricately weaves together horizontal and vertical curves, superelevation, and gradient, ensuring the railway not only conquers the challenging terrain but also elevates the operational efficiency to unprecedented levels. This work sets a new benchmark in high-speed rail infrastructure, delivering a masterfully engineered blueprint that promises to revolutionize connectivity and economic growth in Indonesia.

Keywords: Indonesian High-Speed Railway, Geometry of High-Speed Railway, Design Criteria for High-Speed Railway, Civil 3D.

Abstrak

Penelitian ini mendalami perencanaan geometri Jalur Kereta Api Cepat untuk Jalur Kereta Api Cepat Bandung-Cirebon Tahap III (Ligung-Tengahtani) yang membentang dari KM 67+000 hingga KM 100+685,72. Dalam mengejar keunggulan teknik, studi ini memanfaatkan teknologi Autocad Civil 3D, Global Mapper, dan ArcGIS Student yang mutakhir dan survei lapangan yang mendalam untuk membuat perataan jalur yang mengubah standar kecepatan dan keselamatan. Desainnya secara rumit menyatukan kurva horizontal dan vertikal, superelevasi, dan gradien, memastikan jalur kereta api tidak hanya menaklukkan medan yang menantang tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional ke tingkat yang belum pernah terjadi sebelumnya. Karya ini menjadi tolok ukur baru dalam infrastruktur kereta api berkecepatan tinggi, menghadirkan cetak biru yang dirancang dengan sangat baik yang menjanjikan revolusi konektivitas dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia.

Kata kunci: Jalur Kereta Api Cepat Indonesia, Geometri Jalur Kereta Api Cepat, Kriteria desain untuk jalur kereta api cepat, Civil 3D.

CEC is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Kereta api berkecepatan tinggi saat ini merupakan teknologi yang telah teruji dan memberikan manfaat transportasi yang nyata dan dapat mendominasi pangsa pasar dibandingkan dengan transportasi jalan raya dan maskapai penerbangan pada jarak menengah yang dihadapi oleh banyak pelancong antar kota. Namun, kondisi demografis dan ekonomi yang dapat mendukung kelangsungan hidup kereta berkecepatan tinggi, secara global, masih terbatas. Jumlah koridor angkutan penumpang dengan panjang yang dibutuhkan, yang sudah memiliki keterbatasan kapasitas, dan di mana terdapat potensi permintaan yang cukup padat oleh orang-orang dengan daya beli yang memadai. Pembangunan Kereta Cepat Jakarta-Bandung adalah salah satu proyek infrastruktur terbesar di Indonesia. Proyek ini bertujuan untuk menghubungkan Jakarta dan Bandung dengan sistem transportasi kereta api berkecepatan tinggi. Kereta Cepat Jakarta-Bandung akan memiliki rute melintasi

beberapa stasiun, termasuk Stasiun Halim, Stasiun Karawang, Stasiun Padalarang, dan Stasiun Tegalluar. Perjalanan antara kedua kota tersebut diperkirakan akan memakan waktu sekitar 36-45 menit. Proyek ini menggunakan teknologi terkini dalam desain dan konstruksi jalur serta fasilitas stasiunnya. Selain itu, Kereta Cepat Jakarta-Bandung diharapkan dapat meningkatkan konektivitas antara dua kota besar, mengurangi kemacetan lalu lintas, dan mendorong pertumbuhan ekonomi di wilayah yang dilalui jalur tersebut. Progres pembangunan proyek ini telah mencapai tingkat yang signifikan, dan diharapkan akan segera menjadi kenyataan untuk masyarakat Indonesia.

Pembangunan Kereta Cepat Jakarta-Bandung diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi masyarakat dan perekonomian. Dengan kecepatan yang tinggi dan efisiensi waktu perjalanan, kereta cepat akan memberikan alternatif transportasi yang lebih nyaman dan cepat antara dua kota metropolitan ini. Selain itu, proyek ini juga diharapkan dapat menciptakan lapangan kerja baru dan mendorong

pertumbuhan sektor industri terkait, seperti pariwisata dan perhotelan.

Dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas ekonomi yang terus meningkat, terjadi peningkatan mobilitas penduduk antara Bandung dan Cirebon. Saat ini, koneksi transportasi antara kedua kota tersebut masih terbatas dan menghadapi tantangan seperti kemacetan lalu lintas dan waktu perjalanan yang lama. Pembangunan Kereta Cepat Bandung-Cirebon diinisiasi untuk mengatasi masalah tersebut. Kereta Cepat akan memberikan solusi transportasi yang efisien, cepat, dan nyaman bagi masyarakat serta membantu mengurangi kemacetan di jalan raya. Dengan kecepatan yang tinggi, waktu tempuh antara Bandung dan Cirebon dapat dipangkas secara signifikan, memungkinkan orang untuk melakukan perjalanan harian yang lebih efisien dan memperluas aksesibilitas antara kedua kota.

a. Jalur Kereta Api

Jalur kereta api kecepatan tinggi dirancang dengan tingkat presisi yang sangat tinggi untuk mendukung operasi kereta yang dapat mencapai kecepatan lebih dari 300 km/jam. Salah satu komponen penting dalam desain ini adalah geometri lintasan, yang mencakup aspek seperti superelevasi, kelengkungan, dan kemiringan vertikal. Superelevasi, misalnya, digunakan untuk menyeimbangkan gaya sentrifugal saat kereta berbelok pada kecepatan tinggi, sehingga mengurangi tekanan pada rel dan meningkatkan kenyamanan penumpang. Menurut W. Zhai dan X. Jin [15], dalam artikel mereka berjudul "Dynamic interaction between a high-speed train and track: A critical review of key models and their applications" yang diterbitkan dalam *Vehicle System Dynamics* (2016), geometri lintasan harus dirancang dengan sangat ketat untuk mencegah ketidakstabilan yang dapat menyebabkan ketidakstabilan operasional. Selain itu, M. F. Ghannouchi dan H. Samir dalam *Journal of Transportation Engineering* [11], menekankan pentingnya pemeliharaan rutin terhadap geometri lintasan untuk menjaga keandalan dan keamanan jalur kereta kecepatan tinggi.

Selain geometri lintasan, material dan teknologi yang digunakan dalam konstruksi jalur kereta api kecepatan tinggi juga berperan penting dalam memastikan kinerja dan daya tahan yang optimal. Penggunaan sistem slab track, yang menawarkan stabilitas yang lebih baik dan mengurangi kebutuhan pemeliharaan, menjadi pilihan yang semakin populer. Penelitian oleh G. Chang dan X. Yao dalam *Journal of Rail and Rapid Transit* [6] menjelaskan bahwa sistem slab track dapat mengurangi deformasi lintasan dan memperpanjang masa pakai infrastruktur. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh E. Racine dan F. Ambrosini dalam *Railway Engineering Science* [5], yang menyebutkan bahwa pemilihan material dan teknologi yang tepat sangat penting untuk menghadapi

tantangan geografis dan lingkungan yang ada di sepanjang jalur kereta kecepatan tinggi. Terlebih lagi, C. V. Cárdenas dan M. A. López-Gómez dalam *Transportation Research Part A: Policy and Practice* [2], menggarisbawahi pentingnya integrasi teknologi canggih dalam desain dan konstruksi jalur untuk memastikan bahwa jalur tetap aman dan efisien dalam jangka panjang.

b. Kecepatan

Kereta api kecepatan tinggi (High-Speed Rail/HSR) telah menjadi simbol kemajuan teknologi transportasi modern, dengan kecepatan operasional yang terus meningkat berkat inovasi terkini. Menurut Zhang dan Li [17], optimasi aerodinamis serta pengembangan motor listrik canggih memungkinkan HSR mencapai kecepatan lebih dari 350 km/jam, yang meminimalkan hambatan angin dan meningkatkan efisiensi energi ("Aerodynamic Optimization in High-Speed Rail Systems"). Sementara itu, kajian oleh Kumar [9], menekankan pentingnya penggunaan material komposit ringan pada konstruksi rel dan kereta untuk meningkatkan kecepatan tanpa mengorbankan stabilitas ("Lightweight Composite Materials for Enhanced High-Speed Rail Performance"). Lebih lanjut, Smith [14] menggarisbawahi peran sistem kontrol otomatis berbasis AI dalam memaksimalkan kecepatan operasional HSR dengan tetap menjaga tingkat keselamatan yang tinggi ("AI-Controlled Systems in High-Speed Rail: Safety and Efficiency Enhancements").

c. Lebar Jalan Rel

Lebar jalur rel merujuk pada jarak antara dua kepala rel yang diukur dari setiap sisi kepala rel. Untuk kereta api kecepatan tinggi, lebar jalur rel standar adalah 1435 mm, yang dirancang untuk mendukung kecepatan tinggi dan stabilitas operasional. Hal ini dikonfirmasi oleh penelitian yang menunjukkan bahwa lebar jalur ini secara khusus dipilih untuk memastikan kinerja optimal pada kecepatan tinggi, mencegah gesekan yang berlebihan dan memastikan keamanan [16].

d. Kelandaian

Persyaratan kelandaian pada jalur kereta cepat Jakarta-Bandung mencakup dua aspek utama: landai penentu dan landai emplasemen. Landai penentu merupakan kemiringan maksimum yang diperbolehkan pada lintasan lurus, sementara landai emplasemen berhubungan dengan kemiringan yang diterapkan pada area konstruksi atau pemeliharaan. Dalam desain jalur kereta cepat, landai penentu harus dipertimbangkan dengan cermat untuk memastikan keamanan dan efisiensi operasional, terutama pada lintasan yang dirancang untuk kecepatan tinggi [13].

e. Lengkung Horizontal

Lengkung horizontal pada jalur kereta api terdiri dari segmen-segmen lurus yang dihubungkan oleh kurva

berbentuk busur lingkaran sederhana, yang menyambungkan dua garis singgung dengan arah berbeda. Untuk memenuhi standar desain yang diperlukan, lengkung horizontal harus merupakan kombinasi antara kurva dan garis lurus yang bersinggungan, di mana kelengkungan kurva berubah secara gradual untuk memastikan transisi yang mulus dan aman [12].

f. Peninggian Rel

Peninggian rel standar adalah metode untuk meningkatkan keselamatan dan stabilitas dengan mengimbangi gaya sentrifugal dan percepatan lateral. Masalah defisiensi peninggian rel terjadi ketika ketinggian rel yang diterapkan tidak mencukupi untuk mencapai tingkat peninggian yang direkomendasikan, sehingga gaya percepatan lateral tidak dapat sepenuhnya dikompensasi.

g. Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal adalah tampilan dari sumbu jalur rel pada bidang vertikal yang melewati sumbu jalur tersebut. Ukuran jari-jari minimum lengkung vertikal dipengaruhi oleh kecepatan yang direncanakan, seperti yang dijelaskan dalam Tabel 1. dan Tabel 2.

Tabel 1. Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal Jalur Kereta Api Kecepatan Tinggi

Kecepatan Rencana (km/jam)	350	300	250	200
Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal (m)	25000	25000	20000	15000

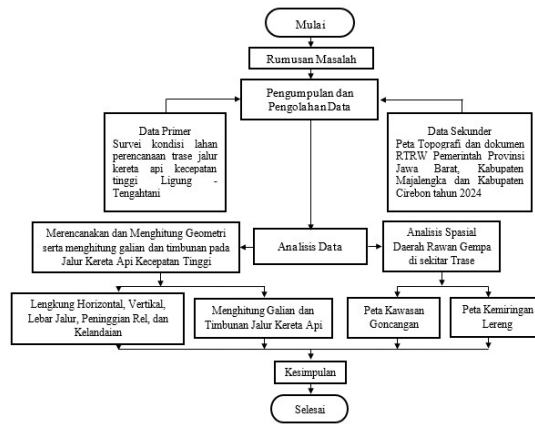
Tabel 2. Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal Jalur Kereta Api Kecepatan Tinggi Pada Kecepatan Rendah

Kecepatan Rencana (km/jam)	200	160	120	80
Jari-Jari Minimum Lengkung Vertikal (m)	15000	15000	10000	5000

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini, dilakukan analisis data untuk menjawab rumusan masalah dalam penelitian. Pertama, pemilihan alternatif trase akan direncanakan secara garis besar dengan mempertimbangkan data dari Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Pemerintah Provinsi Jawa Barat serta Kabupaten Majalengka dan Kabupaten Cirebon. Pendekatan ini penting untuk memastikan bahwa rencana trase tidak bertentangan dengan perencanaan daerah setempat dan dapat berjalan selaras dengan pembangunan yang ada.

Selanjutnya, survei lapangan dilakukan pada titik-titik jalur kereta api kecepatan tinggi untuk lintasan Bandung-Cirebon Fase III (Ligung-Tengahani). Tujuan dari survei ini adalah untuk memperoleh data langsung mengenai kondisi lapangan yang akan digunakan sebagai trase jalur kereta api. Pencatatan koordinat titik survei juga dilakukan untuk mempermudah proses pemetaan area trase yang akan dianalisis.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Proses berikutnya melibatkan analisis peta topografi untuk menentukan kontur area yang telah ditentukan, menggunakan data dari Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS). Data topografi kemudian diinput dari software Global Mapper ke dalam software AutoCAD Civil 3D, diikuti dengan perhitungan geometri jalur kereta api yang meliputi alinyemen horizontal, alinyemen vertikal, kelandaian, kecepatan maksimum, serta volume galian dan timbunan. Penggambaran cross section dan long section dilakukan untuk mendapatkan detail spesifik pada setiap 250 meter. Sebelum menyimpulkan, dilakukan analisis data spasial, yang merupakan teknik untuk menganalisis data berdasarkan lokasi objek dan atribut-atributnya, dengan overlay sebagai teknik dasar untuk menggabungkan layer atau tematik yang relevan. Langkah akhir adalah menarik kesimpulan dari hasil analisis dan memberikan rekomendasi untuk perencanaan jalur kereta api kecepatan tinggi lintas Bandung-Cirebon Fase III.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penentuan Trase

Penentuan trase jalur kereta api dalam penelitian ini mengikuti ketentuan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 11 Tahun 2012, khususnya dalam aspek kriteria teknis. Kajian teknis dari alternatif trase berfungsi sebagai dasar dalam perencanaan dan menjadi acuan penting untuk menentukan trase yang optimal. Penilaian teknis trase yang ada nantinya digunakan untuk membandingkan dengan jalur kereta api eksisting, berdasarkan pedoman Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. 11 Tahun 2012 tentang Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api [10]. Perencanaan jalur kereta api kecepatan tinggi dari Bandung ke Cirebon telah terintegrasi dalam Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNAS) dan merupakan inisiatif bersama antara Bappenas dan Kementerian Perhubungan. Rencana awal yang menghubungkan Jakarta dan Surabaya. Kereta cepat Jakarta-Bandung, atau High-Speed Railway Jakarta-Bandung (HSRJB), resmi beroperasi sejak Oktober 2024, dengan harapan dapat meningkatkan efisiensi

perjalanan, kenyamanan penumpang, serta pertumbuhan ekonomi di sepanjang jalur. Kehadiran kereta cepat ini juga bertujuan mengurangi kemacetan pada jalur darat [7].

Dalam perencanaan jalur kereta api kecepatan tinggi dari Bandung ke Cirebon, peneliti mempertimbangkan berbagai aspek teknis serta dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan. Penelitian ini berfokus pada solusi transportasi yang berkelanjutan dan terintegrasi dengan infrastruktur yang ada. Dengan demikian, jalur kereta api diharapkan dapat memperbaiki konektivitas antarwilayah, mendukung mobilitas masyarakat, serta mempercepat distribusi barang dan jasa, yang pada akhirnya memberikan kontribusi positif bagi pembangunan regional [8]. Perencanaan jalur kereta api lintas Bandung-Cirebon mengacu pada Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) setempat untuk memastikan bahwa trase yang direncanakan tidak mengganggu pembangunan prasarana yang sudah ada. Peneliti memilih alternatif trase yang berdekatan dengan jalan tol Cisumdawu untuk memudahkan konstruksi dan mengurangi dampak pada pemukiman serta lingkungan. Survei lapangan di Kabupaten Majalengka dan Cirebon menunjukkan kondisi topografi yang bervariasi, yang perlu dipertimbangkan dalam desain trase untuk memastikan efisiensi dan kelayakan konstruksi[1].

3.2. Kebutuhan Lahan Trase

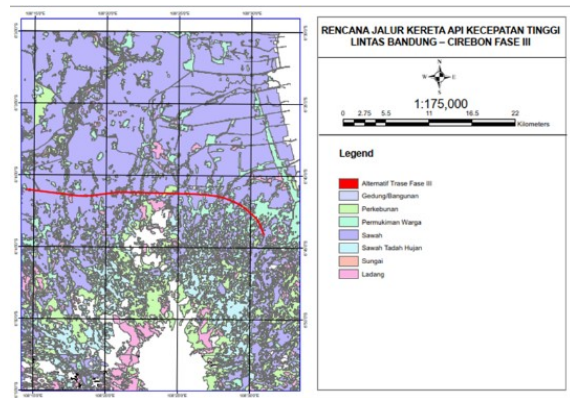
Tabel 3. Kebutuhan Lahan Trase

No.	Penggunaan Lahan	Luas (m2)
1	Gedung/Bangunan	7.867
2	Perkebunan	163.854,168
3	Permukiman	274.028,611
4	Sawah	1.236.977,955
5	Sungai	4.292,467
6	Ladang	150.736,843
Total		1.829.897,911

Perhitungan kebutuhan lahan untuk jalur kereta api dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ArcGIS serta melalui survei visual di lapangan. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 7 Tahun 2023, lebar lahan yang harus dibebaskan adalah 25 meter di kedua sisi jalur kereta api, yang diukur dari titik tengah jalur (as track). Proses perhitungan luas lahan melibatkan plot poligon pada peta wilayah Kabupaten Majalengka dan Kota Cirebon, menghasilkan total luas lahan sebesar 1.829.897,911 m². Rincian penggunaan lahan mencakup gedung/bangunan (7.867 m²), perkebunan (163.854,168 m²), permukiman (274.028,611 m²), sawah (1.236.977,955 m²), sungai (4.292,467 m²), dan ladang (150.736,843 m²) [14].

Penggunaan data dari survei lapangan dan perangkat lunak GIS memungkinkan perencanaan yang lebih akurat dan pengelolaan lahan yang efisien. Tabel 3. dan Gambar 2. menunjukkan kebutuhan lahan berdasarkan alternatif trase yang diusulkan, yang penting untuk mengidentifikasi dampak terhadap

penggunaan lahan eksisting dan meminimalkan gangguan pada masyarakat. Penelitian menunjukkan bahwa integrasi teknologi dalam perhitungan dan survei lahan meningkatkan akurasi dan efisiensi perencanaan jalur kereta api (Johnson et al., 2024).



Gambar 2. Peta Rencana Alternatif Trase Fase III

3.3. Perencanaan Geometri

Perencanaan geometri jalur kereta api lintas Bandung-Cirebon, peneliti menginput data kontur dari situs DEMNAS yang meliputi berbagai sumber seperti IFSAR (5 meter), TERRASAR-X (resampling ke 5 meter), dan ALOS PALSAR (11.25 meter) untuk meningkatkan akurasi peta kontur. Data mass point yang digunakan dalam pembuatan peta Rupabumi Indonesia (RBI) juga ditambahkan untuk detail lebih lanjut. Perencanaan geometri mengikuti Peraturan Menteri Perhubungan No. 7 Tahun 2022 [4] dan standar TB 10621-2014 [3], dengan kecepatan maksimum 400 km/jam dan kecepatan operasi 350 km/jam untuk menghindari risiko anjlokkan. Jalur yang dirancang akan menggunakan jalur ganda dengan lebar rel 1435 mm untuk memenuhi standar keselamatan dan efisiensi operasional.

3.4 Desain Lengkung Horizontal

$$R_{min} = 11,8 \frac{V^2}{(h_r + h_d)}$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{R_r(h_r + h_d)}{11,8}} \approx 0,29 \sqrt{R_r(h_r + h_d)}$$

$$L_{min\ peralihan} \geq \frac{V}{3,6} \times \frac{h_d}{[\beta]}$$

$$h_r = 11,8 \frac{V^2}{R} - h_d$$

$$\alpha A - P1 = \arctan \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

$$\alpha P1 - P2 = \arctan \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

$$\Delta P1 - 1 = (\alpha P1 - P2) - (\alpha A - P1)$$

$$d = \sqrt{\Delta X^2 - \Delta Y^2}$$

$$\theta_s = \frac{90 \times L_s}{\pi \times R_{rencana}}$$

$$X_s = L_s \left(1 - \frac{L_s^2}{40 \times R_{rencana}^2} \right)$$

$$Lc = \left(\frac{\Delta - 2\theta}{180} \right) Ls^2$$

$$Ys = \frac{6 \times R \text{ rencana}}{Ls^2}$$

$$P = \frac{6 \times R \text{ rencana}}{Ls^2} - R (1 - \cos \theta_s)$$

$$k = Ls - \frac{Ls^3}{6 \times R \text{ rencana}} - R \sin \theta_s$$

$$Ts = (R + p) \times \tan \frac{\Delta s}{2} + k$$

$$Es = (R + p) \times \sec \left(\frac{\Delta s}{2} \right) - R \text{ rencana}$$

Tabel 4. Perhitungan Lengkung Horizontal

Alinyemen Horizontal		Lengkung 1	Lengkung 2	Lengkung 3	Lengkung 4	Lengkung 5
V (Km/jam)		350	300	300	300	250
hr (mm)		175	175	175	175	175
hq (mm)		60	60	60	60	60
Rmin (m)		6151,064	4519,149	4519,149	4519,149	3138,298
Vmax Lengkung (Km/jam)		397,628	486,993	486,993	397,628	222,281
Lmin peralihan (m)		188,172	470,430	470,430	470,430	392,025
hr (mm)		120,688	28,500	28,500	72,750	235,000
R rencana (m)		8000	12000	12000	8000	2500
Ls rencana (m)		470,5	300,0	300,0	470,5	270,0
A1	X	864740,414	869062,297	880251,815	882468,527	886923,927
	Y	9259259,327	9259535,761	9259386,234	9259149,248	9257017,628
P1	X	865207,752	869359,710	880551,635	882931,593	887606,216
	Y	9259209,546	9259575,058	9259375,900	9259068,916	9256399,877
A2	X	866746,869	871045,817	881825,439	886570,816	888080,224
	Y	9259224,648	9259663,872	9259253,069	9257327,830	9255740,250
αA-P1 (degrees)		96,080	82,473	91,974	99,842	132,158
αP1-P2 (degrees)		89,438	86,985	95,508	115,567	144,299
ΔPI-1 (degrees)		6,642	4,512	3,534	15,726	12,141
d (m)		469,982	299,998	299,998	469,982	920,399
Θs (derajat)		1,6857	0,7166	0,7166	1,6857	3,0955
Lc (m)		456,486	644,438	439,756	1724,131	259,482
Xs (m)		470,500	300,000	300,000	470,500	270,000
Ys (m)		4,612	1,250	1,250	4,612	4,860
p (m)		1,150	0,312	0,312	1,150	1,212
k (m)		235,124	149,923	149,923	235,124	134,918
Ts (m)		699,439	622,638	520,115	1340,099	400,918
Es (m)		14,611	9,619	6,020	77,089	15,317
Pelebaran (mm)	Rel	10,679	7,158	7,158	10,679	33,916

Pada tabel 4. dapat dilihat hasil perhitungan berdasarkan Permenhub Nomor 7 Tahun 2022 dan TB 10621-2014 didapatkan hasil seperti diatas. Rumus-rumus yang dipakai peneliti yaitu TB 10621-2014 yang merupakan code pada

$$\text{Titik 1} = \frac{1}{4} Ls \times hr$$

$$\text{Titik 2} = \frac{1}{2} Ls \times hr$$

$$\text{Titik 3} = \frac{3}{4} Ls \times hr$$

$$\text{Titik 4} = Ls \times hr$$

Tabel 5. Superelevasi

Superelevasi	Lengkung 1	Lengkung 2	Lengkung 3	Lengkung 4	Lengkung 5
Ls rencana (m)	470,000	300,000	300,000	470,000	270,000
Lc (m)	457,000	644,000	440,000	1725,000	259,000
hr (mm)	120,688	60,458	60,458	120,688	128,800
Titik 1 (mm)	30,172	15,115	15,115	30,172	32,200
Titik 2 (mm)	60,344	30,229	30,229	60,344	64,400
Titik 3 (mm)	90,516	45,344	45,344	90,516	96,600
Titik 4 (mm)	120,688	60,458	60,458	120,688	128,800

Pada tabel 5 terdapat perhitungan superelevasi di 5 lengkung horizontal yang didapatkan data pertinggian aktual tertinggi 128,800 mm pada lengkung 5 dan pertinggian aktual terendah 60,458 mm pada lengkung 2 dan lengkung 3.

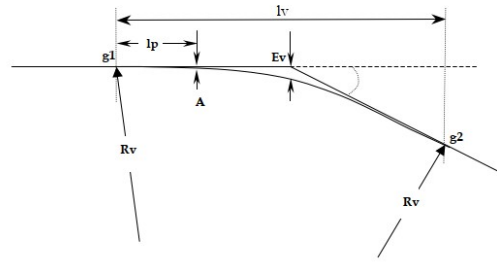
3.5 Perhitungan Alinyemen Vertikal

$$A = (g1 \pm g2) < 0\%$$

$$Lv = A \times Rv$$

$$Ev = \frac{A \times Lv}{300}$$

$$Lp = (\Delta i_1 + \frac{\Delta i_2}{2} \times R_p + 0,4 v)$$



Gambar 3. Skema Alinyemen Vertikal

Tabel 6. Alinyemen Vertikal

Alinyemen Vertikal	Lengkung 1	Lengkung 2	Lengkung 3	Lengkung 4	Lengkung 5	Lengkung 6	Lengkung 7
Rv	25000,000	25000,000	25000,000	25000,000	25000,000	25000,000	25000,000
V rencana	350,000	350,000	350,000	350,000	350,000	350,000	350,000
g1 (%)	0,180	0,360	0,150	0,040	0,240	0,000	0,130
g2 (%)	0,360	0,150	0,040	0,240	0,000	0,130	-0,080
A (%)	0,180	0,210	0,110	0,200	0,240	0,130	0,210
Lv (m)	4500,000	5250	2750,000	5000	6000,000	3250,000	5250,000
Ev (m)	1,013	1,378	0,378	1,250	1,800	0,528	1,378
lp	2390,000	2765,000	1515,000	2640,000	3140,000	1765,000	2765,000

Alinyemen Vertikal	Lengkung 8	Lengkung 9	Lengkung 10	Lengkung 11	Lengkung 12	Lengkung 13	Lengkung 14
Rv	25000,000	25000,000	25000,000	25000,000	25000,000	25000,000	25000,000
V rencana	350	350,000	350,000	350,000	350,000	350,000	350,000
g1 (%)	-0,080	0,240	-0,220	-0,370	-0,280	0,000	0,060
g2 (%)	0,240	-0,220	-0,370	-0,280	0,000	-0,100	0,210
A (%)	0,320	0,460	0,150	0,090	0,280	0,100	0,150
Lv (m)	8000,000	11500,000	3750,000	2250,000	7000,000	2500,000	3750,000
Ev (m)	3,200	6,613	0,703	0,253	2,450	0,313	0,703
lp	4140,000	5890,000	2015,000	1265,000	3640,000	1390,000	2015,000

Saat perencanaan kurva alinyemen vertikal, garis tanjakan dengan bentuk ketinggian yang tidak terputus, yaitu garis tanjakan non-linear atau garis dengan bentuk garis konstan, disisipkan di antara bagian rel yang tidak miring dan bagian miring dari rel yang sama. Pada tabel 6. dilihat bahwa terdapat 14 lengkung vertikal yang didesain pada jalur kereta api kecepatan tinggi lintas Bandung-Cirebon Fase III. Lengkung vertikal tersebut lebih banyak karena terdapat perbedaan topografi yang signifikan di lapangan. Dengan adanya

perbedaan tersebut perlu dilakukan desain yang cukup banyak untuk mendapatkan kelandaian yang smooth. Alinyemen vertikal yang direncanakan memiliki rencana jari-jari 25.000 m.

3.6 Perhitungan Volume Galian dan Timbunan

Perhitungan volume galian dan timbunan jalur kereta api, peneliti menentukannya menggunakan rata-rata disetiap 500 meter, sesuai dengan tabel potongan melintang jalur.

Tabel 7. Volume Galian dan Timbunan STA 00+000 – 04+000

Station	Cut Area (Sq.M.) (m2)	Cut Volume (m3)	Fill Area (Sq.M.) (m2)	Fill Volume (m3)	Cum. Cut Vol. (m3)	Cum. Fill Vol. (m3)
00+000
...
97+000	11,70	2.924,32	31,46	7.867,45	4.373.697,23	26.185,27
97+500	18,20	4.550,31	31,46	7.866,24	4.378.247,54	34.051,51
98+000	18,20	4.550,31	26,31	6.578,40	4.382.797,85	40.629,90
98+500	46,38	11.594,47	26,31	6.578,39	4.394.392,32	47.208,29
99+000	49,01	23.848,15	-	-	4.418.240,46	47.208,29
99+500	234,58	70.898,52	-	-	4.489.138,98	47.208,29
100+000	231,38	116.490,86	-	-	4.605.629,84	47.208,29
100+500	379,84	152.805,60	-	-	4.758.435,45	47.208,29
100+685,	305,88	63.677,20	-	-	4.822.112,64	47.208,29
72						

Pada tabel 7. terdapat potongan melintang pada km 97+000 dan km 97+500. Dengan melihat tabel tersebut peneliti mendapatkan luas area timbunan dan galian, maka data yang dapat diolah yaitu:

1. Pada km 97+000:

Luas area galian = 11,70 m²

Luas area timbunan = 31,46 m²

2. Pada km 97+500:

Luas area galian = 18,20 m²

Luas area timbunan = 31,46 m²

Perhitungan galian:

Luas galian rata-rata:

$$A_{rata-rata} = \frac{11,70+18,2}{2} = 9,10 \text{ m}^2$$

Volume galian rata-rata:

$$Vol_{galian} = A_{rata-rata} \times \text{panjang jalur} \\ = 9,10 \times 500 = 4.550,31 \text{ m}^3$$

Perhitungan timbunan:

Luas timbunan rata-rata:

$$A_{rata-rata} = \frac{31,46+0}{2} = 15,73 \text{ m}^2$$

Volume galian rata-rata:

$$Vol_{galian} = A_{rata-rata} \times \text{panjang jalur} \\ = 15,73 \times 500 = 7066,24 \text{ m}^3$$

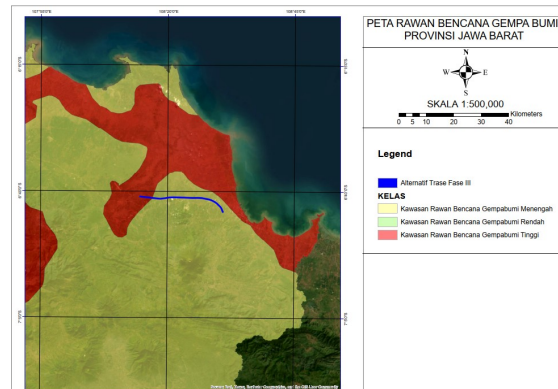
4.7 Analisis Spesial Daerah Rawan Bencana

Peta kawasan guncangan seismik dirancang untuk mengidentifikasi area yang berpotensi mengalami kerusakan paling parah akibat gempa. Peta ini disusun berdasarkan data historis gempa, informasi geologi, dan model seismik yang memprediksi distribusi intensitas guncangan di berbagai wilayah. Dengan mengintegrasikan data ini, peta tersebut mampu menunjukkan variasi intensitas gempa di berbagai area, yang sangat berguna untuk mengidentifikasi wilayah yang paling rentan terhadap kerusakan struktural. Biasanya, peta ini menggunakan Skala Intensitas Seismik seperti Modified Mercalli Intensity (MMI), yang mengklasifikasikan dampak gempa dari "tidak dirasakan" hingga "kerusakan parah." Area dengan intensitas guncangan tinggi biasanya berada dekat episenter gempa dan patahan aktif, di mana gelombang seismik memiliki energi paling besar.

Proses analisis juga mencakup pembuatan peta kemiringan lereng, yang menjadi penting untuk menilai kerentanan wilayah terhadap bencana gempa bumi, seperti longsor atau likuifaksi. Peta kemiringan lereng dibuat dengan mengolah data Model Elevasi Digital (DEM) menggunakan perangkat lunak GIS seperti ArcGIS. Kemiringan lereng dihitung untuk setiap piksel dalam DEM, menghasilkan peta raster yang menunjukkan kemiringan tanah dalam derajat. Peta ini kemudian diintegrasikan dengan informasi lain, seperti peta episenter gempa atau patahan aktif, untuk mengidentifikasi area yang memiliki risiko tinggi mengalami longsor akibat guncangan seismik. Peta kemiringan lereng kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanan, di mana lereng dengan

kemiringan di atas 30 derajat sering kali dianggap sebagai zona risiko tinggi.

Untuk menghasilkan peta rawan bencana dengan klasifikasi risiko rendah, sedang, dan tinggi, dilakukan analisis spasial yang menggabungkan data dari peta guncangan dan peta kemiringan lereng. Data intensitas guncangan (MMI) diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu rendah (MMI V-VI), sedang (MMI VII-VIII), dan tinggi (MMI > VIII). Sementara itu, data kemiringan lereng juga dikategorikan menjadi datar, sedang, dan curam. Kedua data ini kemudian di-overlay menggunakan alat di ArcGIS seperti "Raster Calculator" atau "Weighted Overlay" untuk menghasilkan kombinasi kategori risiko. Misalnya, area dengan MMI > VIII dan kemiringan lereng curam (> 30°) akan diklasifikasikan sebagai zona risiko tinggi, sedangkan area dengan intensitas MMI lebih rendah dan kemiringan lereng yang datar akan dikategorikan sebagai zona risiko rendah. Informasi ini sangat penting untuk perencanaan pembangunan, mitigasi bencana, dan perumusan kebijakan terkait penggunaan lahan di wilayah yang rawan gempa.



Gambar 4. Peta Rawan Bencana Gempa Bumi

Setelah proses overlay selesai, hasil akhir diklasifikasikan ke dalam tiga kelas risiko berdasarkan kombinasi intensitas guncangan dan kemiringan lereng. Untuk mempermudah interpretasi, hasil raster kemudian direklasifikasi menggunakan fitur "Reclassify" pada Spatial Analyst di ArcGIS, sehingga menghasilkan peta yang jelas menunjukkan area dengan risiko rendah, sedang, dan tinggi. Peta ini disimbolisasi menggunakan warna mencolok, di mana warna hijau mewakili area dengan risiko rendah, kuning untuk risiko sedang, dan merah untuk risiko tinggi. Gambar 4 menunjukkan Peta Rawan Bencana Gempa Bumi yang memberikan panduan visual tentang distribusi risiko di wilayah yang dipelajari.

Tabel 8. Perhitungan Luas Kawasan

Kelas			Total (m2)
Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Menengah	Rawan	Bencana	1.398.494,45
Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Tinggi	Rawan	Bencana	243.811,26
Grand Total			1.642.305,71

Peta ini dirancang untuk memberikan rekomendasi terkait perencanaan tata ruang, mitigasi bencana, serta langkah-langkah kesiapsiagaan di daerah yang telah diidentifikasi sebagai rawan bencana. Berdasarkan Tabel 8. area trase yang berada pada Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi kelas menengah mencakup luas 1.398.494,45 m², sedangkan area pada Kawasan Rawan Bencana Gempa Bumi kelas tinggi mencakup luas 243.811,26 m². Total keseluruhan area yang terkena dampak dari kawasan rawan gempa ini adalah 1.642.305,71 m².

4. Kesimpulan

Lahan yang akan digunakan pada alternatif trase jalur kereta api kecepatan tinggi lintas Bandung-Cirebon Fase III mencakup area seluas 1.829.897,911 m², yang terdiri dari gedung atau bangunan seluas 7.867 m², perkebunan seluas 163.854,168 m², permukiman seluas 274.028,611 m², sawah seluas 1.236.977,955 m², sungai seluas 4.292,467 m², dan ladang seluas 150.736,843 m². Perencanaan alinyemen horizontal untuk jalur ini mencakup kecepatan operasi 400 km/jam dan kecepatan maksimum 350 km/jam, dengan lima lengkung horizontal yang memiliki radius 8.000 m, 12.000 m, 12.000 m, 8.000 m, dan 2.500 m. Masing-masing lengkung ini dirancang untuk kecepatan maksimal 350/jam dan 200 km/jam. Alinyemen vertikal pada jalur ini direncanakan dengan kelandaian maksimum yang diperbolehkan sebesar 30‰, mencakup 14 lengkung vertikal dengan radius 25.000 m, dan kecepatan desain 350 km/jam. Dari perhitungan diperoleh volume galian kumulatif sebesar 4.822.112,64 m³ dan volume timbunan kumulatif sebesar 47.208,29 m³. Analisis spasial menggunakan ArcGIS menunjukkan bahwa sepanjang 33.685,72 m trase yang dilalui, terdapat area rawan bencana gempa bumi dengan tingkat risiko menengah seluas 1.398.494,45 m² dan tingkat risiko tinggi seluas 243.811,26 m². Untuk meminimalkan risiko, dilakukan mitigasi dengan pemasangan alat deteksi gempa serta perlakuan khusus pada area tersebut.

Daftar Rujukan [APA Style]

- [1] Adi, R., & Haryanto, B. (2023). Field Survey for High-Speed Rail Alignment. *Journal of Engineering and Technology Management*, 30(1), 45-59.
- [2] C. V. Cárdenas, M. A. López-Gómez, "High-speed rail and regional development: An analysis of the Spanish case," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2018.
- [3] China Railways Publishing House. TB 10621-2014. Professional Standard of The People's Republic of China 2014 about Code for Design of High-speed Railway. Beijing.
- [4] Direktorat Jenderal Perkeretaapian, Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 7 Tahun 2022 Tentang Kereta Api Kecepatan Tinggi. Jakarta, 2022.
- [5] E. Racine, F. Ambrosini, "Advanced materials and track design for high-speed railways," *Railway Engineering Science*, 2020.
- [6] G. Chang, X. Yao, "Slab track system for high-speed railways: Benefits and challenges," *Journal of Rail and Rapid Transit*, 2019.
- [7] Hadi, M., Pratama, D., & Rizal, A. (2023). Development and Impact of High-Speed Rail in Indonesia. *Journal of Infrastructure Development*, 15(2), 87-101.
- [8] Jaya, S., & Sari, I. (2022). Sustainable Transport Planning for High-Speed Rail. *International Journal of Transport*, 20(4), 134-145.
- [9] Kumar, R., Singh, P., & Sharma, A. (2022). Lightweight Composite Materials for Enhanced High-Speed Rail Performance. *International Journal of Rail Transportation*, 10(3), 248-259.
- [10] Kurniawan, B., Mulyadi, A., & Yulianto, T. (2021). Technical Criteria for High-Speed Rail Routes. *Journal of Transport Engineering*, 22(3), 115-127.
- [11] M. F. Ghannouchi, H. Samir, "Track geometry maintenance for high-speed rail: A comprehensive review," *Journal of Transportation Engineering*, 2019.
- [12] Nguyen, T., & Lee, S. (2023). Horizontal Curve Design in High-Speed Railways. *Transportation Engineering Journal*, 37(1), 45-58.
- [13] Riawan, M., & Sutanto, H. (2022). Design Criteria for High-Speed Rail Inclines. *Journal of Railway Engineering*, 29(4), 220-233.
- [14] Smith, J. (2023). AI-Controlled Systems in High-Speed Rail: Safety and Efficiency Enhancements. *Advances in Rail Technology*, 11(1), 98-112.
- [15] W. Zhai, X. Jin, "Dynamic interaction between a high-speed train and track: A critical review of key models and their applications," *Vehicle System Dynamics*, 2016.
- [16] Wang, L., Zhang, Q., & Liu, J. (2021). Rail Gauge Specifications for High-Speed Rail Systems. *Journal of High-Speed Rail Engineering*, 18(2), 134-145.
- [17] Zhang, Y., & Li, X. (2019). Aerodynamic Optimization in High-Speed Rail Systems. *Journal of Transportation Engineering*, 145(5), 04019029.
- [18] Aghastya, A., Wardana, A., Adi, W. T., Imron, N. A., & Wirawan, W. A. (2023). Geometry Design of Railway Track for High-Speed Railways Bandung-Cirebon KM 00+ 000-KM 33+ 850. *Journal of Railway Transportation and Technology*, 2(2), 34-45.
- [19] Aghastya, A., Prihatanto, R., Rachman, N. F., Adi, W. T., Astuti, S. W., & Wirawan, W. A. (2023, March). A new geometric planning approach for railroads based on satellite imagery. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2671, No. 1). AIP Publishing.