

Perencanaan Jalur Kereta Api Lintas Kamal-Suramadu Dengan Global Mapper dan Autocad Civil 3D

Yuwono Wiarco¹, Adya Aghastya¹

¹Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, Indonesia

*Corresponding Author : yuwono@ppi.ac.id, adya@ppi.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan jaringan perkeretaapian di Madura berupa reaktivasi jalur lama dan pembangunan jalur baru, seperti yang tercantum pada Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNas) dan KP No. 2128 Tahun 2018. Penelitian ini akan berfokus pada perencanaan reaktivasi jalur kereta api lintas Kamal-Bangkalan-Suramadu, dengan tujuan untuk mendorong pembangunan jalan rel di Pulau Madura, yang dapat meningkatkan perekonomian dan mobilitas Masyarakat Madura. Perencanaan jalan rel Kamal-Suramadu akan mengacu pada PM no. 11 tahun 2012 dan PM no 60 tahun 2012, serta dengan menggunakan *software Global Mapper dan Civil 3D*. Sebagian besar dari jalur kereta api eksisting di Bangkalan-Kamal telah dimanfaatkan sebagai pemukiman atau pemerintahan yang padat penduduk (54%), pemukiman dengan kepadatan sedang (24%), dan lahan persawahan atau lahan kosong (22%). Jalur kereta api eksisting menggunakan *single track* dengan lebar spoor 1067mm dan rel jenis R25. Trase terpilih adalah alternatif trase ke 2 dengan panjang 31.152 meter dan membutuhkan lahan seluas 566.266 m² untuk pembangunannya. Perencanaan alinyemen horizontal menghasilkan 7 lengkung horizontal dengan radius 1100 m (lengkung 1, 2, dan 7), 800 m (lengkung 3 dan 5), dan 950 m (lengkung 4 dan 6). Pekerjaan galian dan timbunan dengan volume kumulatif galian tanah sebesar 2.399.262,85 m³, dan volume kumulatif timbunan tanah sebesar 891.563,7 m³. Komponen jalan rel yang dibutuhkan mencakup 51,921 buah bantalan beton, 207.684 buah penambat pendrol e-clip, 2.493 batang rel R54, 48.286 m³ balas, dan 59.812 m³ subballas.

Kata kunci: Jalur Kereta Api, Trase, Geometri Jalan Rel, Volume Galian dan Timbunan, Komponen Jalan Rel, *Global Mapper, Civil 3D*.

ABSTRACT

The development of the railway network in Madura is in the form of reactivation of old lines and construction of new lines, as stated in the National Railway Master Plan (RIPNas) and Indonesia Presidential Decree No. 2128 Year 2018. This research will focus on planning the reactivation of the Kamal-Bangkalan-Suramadu railway line, with the aim of encouraging the development of railways on Madura Island, which can improve the economy and mobility of the Madurese people. The Kamal-Suramadu railway planning will refer to Minister of Transport Regulation no. 11 2012 and Minister of Transport Regulation no. 60 2012, and by using Global Mapper and Civil 3D software. Most of the existing railway line in Bangkalan-Kamal has been used as a densely populated settlement or government (54%), medium density settlement (24%), and paddy fields or vacant land (22%). The existing railway line uses a single track with a spoor width of 1067mm and R25 type rail. The selected trace is alternative trace number 2 with a length of 31,152 metres and requires 566,266 m² of land for its construction. Horizontal alignment planning resulted in 7 horizontal curves with a radius of 1100 m (curves 1, 2, and 7), 800 m (curves 3 and 5), and 950 m (curves 4 and 6). Cumulative cut volume of 2,399,262.85 m³, and cumulative fill volume of 891,563.7 m³. Railway components required include 51,921 pieces of concrete sleepers, 207,684 pieces of pendroller fastening, 2,493 pieces of R54 rail, 48,286 m³ ballast, and 59,812 m³ subballast

Keywords: Railroad, Trace, Railroad Geometry, Cut and Fill Volume, Railroad Components, Global Mapper, Civil 3D

1 PENDAHULUAN

Perkeretaapian adalah moda transportasi nasional yang mempunyai karakteristik pengangkutan secara massal dan memiliki keunggulan tersendiri dalam memperlancar perpindahan orang dan/atau barang dengan selamat, aman, nyaman, lancar, tertib dan teratur. Selain itu, perkeretaapian dapat menunjang pemerataan, pertumbuhan, dan penggerak pembangunan nasional. Transportasi perkeretaapian dapat berperan sebagai penghubung pada simpul-

simpul transportasi antar moda seperti, terminal, bandara, dan pelabuhan sehingga dapat menjadi pendukung keterhubungan wilayah serta distribusi logistik nasional maupun internasional. Melihat potensi dan peranannya tersebut, diperlukan pengembangan jaringan perkeretaapian, baik itu berupa pembangunan jalan rel baru maupun reaktivasi jalur lama yang lama tidak digunakan.

Pengembangan jaringan di Pulau Madura sangat penting karena dapat menjadi penggerak utama

perkembangan ekonomi Indonesia terutama di Madura yang saat ini masih belum optimal karena terkendala akses dan infrastruktur yang kurang. Dari aspek transportasi, jaringan perkeretaapian di Madura dapat meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas masyarakat, karena memiliki potensi penumpang sebanyak 1042 orang/hari[1]. Hal tersebut sesuai dengan rencana pengembangan jaringan perkeretaapian nasional yang tertuang pada Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNas) yang kemudian didetailkan pada KP 2128 Tahun 2018, dimana sasaran pengembangan jaringan dan layanan perkeretaapian Indonesia pada 2030 mencapai 10.524 km yang tersebar diseluruh pulau di Indonesia termasuk di Pulau Madura[2].

Jalur yang direncanakan di pulau Madura yaitu reaktivasi dan revitalisasi lintas Kamal-Pamekasan-Semenep, dan lintas Bangkalan-Socah-Kamal. Lintas Bangkalan-Socah-Kamal memiliki potensi yang tinggi dalam memajukan ekonomi di Madura terutama dalam proses distribusi barang (logistik) karena langsung bersinggungan dengan Pelabuhan Kamal dan Madura International Seaport-City (MIS-C) yang direncanakan berlokasi di Kecamatan Socah, Kabupaten Bangkalan. Pada aspek mobilitas masyarakat, jalur Suramadu memiliki potensi yang tinggi, karena merupakan jalur darat utama yang menghubungkan Surabaya dan Madura[3]. Oleh karena itu pada penelitian ini akan direncanakan pula jalur kereta api Bangkalan – Suramadu.

Perkeretaapian yang merupakan transportasi massal cukup efektif dalam kegiatan angkutan barang maupun penumpang, karena memiliki volume angkut yang besar dan konsumsi energi yang cukup rendah jika dibandingkan dengan moda transportasi lain[4]. Hal itu lah yang mendasari penelitian ini, yaitu “Perencanaan Reaktivasi Jalur Kereta Api Lintas Kamal - Bangkalan - Suramadu Dengan Global Mapper Dan Autocad Civil 3d”. Diharapkan dengan adanya jalan rel tersebut dapat meningkatkan perekonomian dan mobilisasi di Pulau Madura.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemilihan Trase

Berdasarkan Peraturan Menteri Pehubungan no.11 tahun 2012 tentang tata cara penetapan jalur kereta api, trase adalah untuk mengetahui titik – titik koordinat dengan merencanakan tapak jalur kereta api[5]. Penetapan trase jalur kereta api sebagai petunjuk untuk analisis mengenai dampak lingkungan hidup, melakukan kegiatan perencanaan teknis serta penyediaan tanah sebelum pembangunan jalur kereta api[6]. Sasaran penetapan trase jalur kereta api untuk mewujudkan tersedianya ruang yang layak berdasarkan rumaja, rumija, dan ruwasja untuk menjamin

keamanan, keselamatan, dan kelancaran perjalanan kereta api.

2.2 Geometri Jalan Rel

Jalan rel adalah satu kesatuan konstruksi yang terbuat dari beton, baja, atau konstruksi yang terletak di bawah, di permukaan, dan di atas tanah serta bergantung beserta perangkatnya yang mengarahkan jalannya kereta api[7]. Perencanaan konstruksi jalur kereta api bisa dipertanggung jawabkan secara teknis dan ekonomis sehingga direncanakan sesuai persyaratan teknis. Secara teknis diartikan konstruksi jalur kereta api tersebut harus aman dilalui oleh sarana perkeretaapian dengan kualitas kenyamanan tertentu sebatas umur konstruksinya. Perencanaan bangunan jalur kereta api berdasarkan jumlah kecepatan maksimum, beban, pola operasi, dan beban gandar[8]. Dasar ini direncanakan klasifikasi jalur kereta api sehingga perencanaan dibuat secara tepat guna.

Penggolongan kelas jalan rel sesuai dengan Permenhub No. 60 tahun 2012 tentang persyaratan teknis jalur kereta api dengan lebar jalan rel 1067 mm. Penyimpangan lebar jalan rel yang dapat di terima +2 mm dan -0 untuk jalan rel baru dan +4 mm dan -2 mm untuk jalan rel yang telah dioperasikan[9].

Hal-hal yang direncanakan pada geometri jalan rel yaitu:

1. Kecepatan Rencana
2. Lebar Jalan Rel
3. Kelandaian
4. Alinyemen Horizontal
5. Alinyemen Vertikal

2.3 Komponen Struktur Jalan Rel

a. Rel

Rel berfungsi untuk menerima beban kereta api dan mengantarkan kereta api dari satu tempat ke tempat lain[9].

Tabel 1 Tipe Rel

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R 42	R 50	R 54	R 60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _b (km)	68,50	71,60	76,20	80,95
A	= luas penampang			
W	= berat rel permeter			
I	= momen inersia terhadap sumbu x			
Y _b	= jarak tepi bawah rel ke gans netral			

- b. **Penambat**
 Penambat rel memiliki fungsi agar kedudukan rel tetap kuat, kokoh, dan tidak bergeser maka penambat rel diletakan pada rel sebagai komponen yang menambatkan rel pada bantalan. Jenis penambat yang digunakan adalah penambat kaku dan penambat elastik. Penambat kaku yaitu tirpon, mur dan baut. Penambat elastik tunggal dan penambat elastik ganda. Penambat elastik ganda yaitu pelat andas, alas rel, pelat atau batang jepit elastik, mur dan baut, dan tirpon. Pada bantalan beton, tidak digunakan pelat andas, tetapi dalam hal ini tebal karet las (rubber pad) rel harus disesuaikan dengan kecepatan maksimal[10].
- c. **Bantalan**
 Bantalan berguna untuk mempertahankan lebar jalan rel, meneruskan beban kereta api dan berat bangunan jalan rel ke balas, dan stabilitas ke arah luar jalan rel. Bantalan terbuat dari kayu, baja/besi, ataupun beton. Pemilihan jenis bantalan berdasarkan pada kelas dan kondisi lapangan serta ketersediaan. Macam-macam bantalan yaitu bantalan beton, bantalan kayu, dan bantalan besi.
- d. **Balas**
 Balas merupakan komponen jalan rel bagian atas dengan material batu kircak ukuran 2-6 cm berbentuk persegi atau sisi-sisinya bersudut tajam dengan tujuan saat dipadatkan tidak berubah posisinya akibat getaran[11].
- e. **Drainase**
 Sistem drainase yaitu sistem pengaliran distribusi air disuatu daerah jalan rel agar tidak sampai terjadi penggenangan. Fungsi drainase yaitu untuk mengurangi pengaruh air yang dapat merubah konsistensi tanah dan supaya tidak ada genangan air pada jalan rel (baik mengenai daerah balas maupun tubuh jalan)

3 METODE PENELITIAN

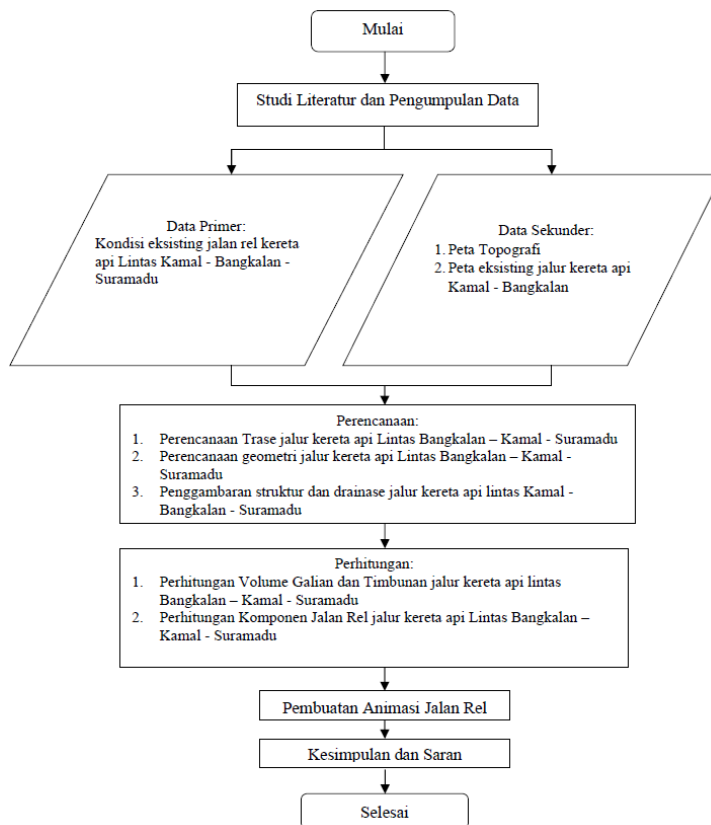
Penelitian diawali dengan studi literatur jalur kereta api, perencanaan trase, dan perhtungan geometri jalan rel. Kemudian dilanjut dengan melakukan survey lapangan untuk mengidentifikasi kondisi eksisting dari jalan rel eksisting Kamal-Bangkalan dan kondisi lahan pada jalur rencana Bangkalan Suramadu. Tahap kedua adalah mendapatkan peta topografi yang diperlukan dalam perencanaan jalan rel.

Tahap kedua yaitu perencanaan trase, perhitungan geometri jalan rel, dan perencanaan struktur jalur kereta api. Pemilihan trase antara jalur eksisting dan alternatif trase dilakukan dengan penilaian berdasarkan panjang jalur, integrasi antar moda, dan kebutuhan lahan. Perhitungan geometri sesuai dengan kecepatan rencana dan berpedoman pada trase yang terpilih. Pada perencanaan struktur dengan menentukan klasifikasi

jalur kereta api dean mengacu pada PM No. 60 Tahun 2012.

Tahap yang terakhir adalah menentukan volume galian dan timbunan dan kebutuhan komponen jalan rel pada trase jalur yang digunakan, Komponen yang dibutuhkan meliputi jumlah rel, jumlah bantalan, jumlah penambat, jumlah volume balas, dan jumlah volume subbalas.

Diagram alir perencanaan jalur kereta api lintas Kamal-Suramadu dijelaskan pada diagram berikut:



Gambar 1 Diagram Alir

4 HASIL PENELITIAN

4.1 **Kondisi Eksisting Jalur Kereta Api**
 Prasarana jalur kereta api eksisting di daerah Bangkalan terdapat pada lintas jalan rel Bangkalan – Kamal yang mana menggunakan rel jenis R25 dan terdiri dari beberapa stasiun yaitu: Stasiun Bangkalan, Stasiun Bilapura, Stasiun Socah, Stasiun Telang, Stasiun Trebung, Stasiun Kamal, dan Dipo Kamal. Sebagian besar dari jalur kereta api yang ada di Bangkalan-Kamal telah telah dimanfaatkan sebagai pemukiman atau pemerintahan yang padat penduduk (54%). Sementara itu, sebagian lahan lainnya digunakan sebagai pemukiman dengan kepadatan sedang (24%), dan sisanya digunakan sebagai lahan persawahan atau masih berupa lahan kosong (22%). Jalur kereta api yang ada saat ini menggunakan jalur

tunggal atau single track dengan lebar spoor 1067mm dan rel jenis R25. Jalan rel Bangkalan-Kamal memiliki rata-rata kemiringan atau kelandaian sekitar 9‰ dan -10‰. Keadaan ini harus diperhatikan dalam perencanaan reaktivasi jalur kereta api Bangkalan-Kamal, baik dalam hal penggunaan lahan saat ini, geometri, maupun komponen yang tidak lagi mendukung atau sesuai dengan persyaratan teknis yang tercantum dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012



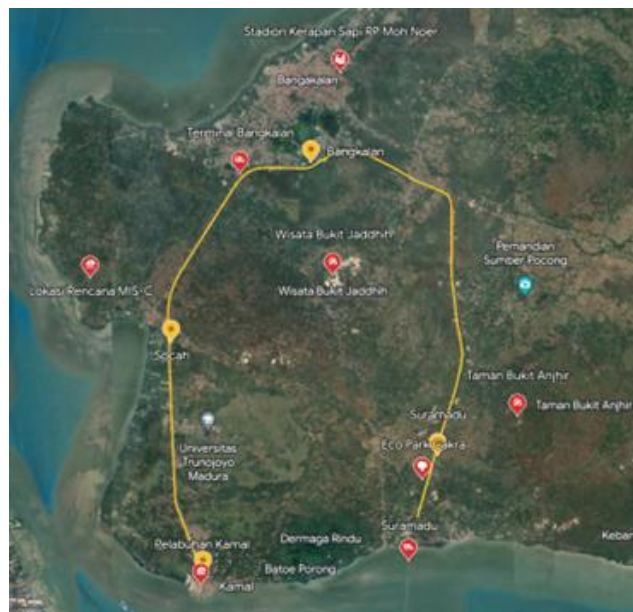
Gambar 2 Bangunan Dipo Kamal

4.2 Perencanaan Trase

Perencanaan trase dilakukan menggunakan software Sistem Informasi Geografis (SIG) seperti Google Earth Pro dan Global Mapper. Peta yang dihasilkan mampu memberikan visualisasi yang jelas dan akurat tentang lingkungan sekitar, memfasilitasi proses evaluasi alternatif jalur, pengelolaan risiko, dan memastikan kepatuhan terhadap persyaratan teknis, keselamatan, serta efisiensi operasional jalur kereta api [12].

Dalam upaya mencari alternatif trase jalur kereta api, terdapat tujuan utama mengurangi kebutuhan lahan di daerah padat penduduk, sambil tetap memanfaatkan secara maksimal jalur yang sudah ada, karena lahan di lokasi tersebut telah menjadi aset milik PT. KAI, sehingga tidak memerlukan biaya pembebasan lahan yang besar. Selain itu, dalam perancangan trase baru, juga memperhatikan integrasi antara berbagai moda transportasi dan lokasi pariwisata di Kabupaten Bangkalan. Pendekatan ini diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan perekonomian daerah tersebut melalui pembangunan jalur kereta api yang lebih efisien dan berdampak positif [13].

Menurut peraturan yang berlaku, ada empat elemen penting yang harus ada dalam trase jalur kereta api, yaitu: titik koordinat, lokasi stasiun, kebutuhan lahan, dan skala gambar.



Gambar 3 Alternatif Trase

Tabel 2 Koordinat Sistem

No	Nama Stasiun	Titik Koordinat (X,Y,Z)
1.	Kamal	690129.030 , 9207267.867 , 6.548
2.	Socah	689127.446 , 9214662.527 , 1.598
3.	Bangkalan	693821.434 , 9220510.823 , 2.006
4.	Suramadu	697686.592 , 9211009.393 , 40.655

Tabel 3 Kebutuhan Lahan

Kebutuhan Lahan	Lebar	Panjang	Luas Lahan
Pemukiman	18 m	8308.42 m	149551.56 m ²
Sawah dan Perkebunan	18 m	23136.76 m	416461.68 m ²
Sungai	18 m	11.82 m	212.76 m ²
Total			566266 m ²

4.3 Perhitungan Alinyemen Horizontal

Perencanaan geometri jalur kereta api untuk lintas Kamal – Suramadu mengacu ketentuan yang tercantum dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.

$$\begin{aligned}
 V \text{ rencana} &= 1,25 \times V \text{ maks} \\
 &= 1,25 \times 120 \\
 &= 150 \text{ km/jam} \\
 V \text{ operasi} &= 100 \text{ km/jam} \\
 V \text{ maksimum} &= 120 \text{ km/jam}
 \end{aligned}$$

Gaya Sentrifugal

$$\begin{aligned}
 R \text{ min} &= 0,076 \times V^2 \\
 &= 0,076 \times 120^2 \\
 &= 1094 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Gaya sentrifugal dan daya dukung komponen jalan, dengan peralihan (Spiral Curve Spiral) :

$$R_{min} = 0,054 \times V^2 = 0,054 \times 120^2 = 778 \text{ m}$$

Maka R yang digunakan adalah 1100 m

$$h_{normal} = 5,95 \times (V^2/R) = 5,95 \times (120^2/1100)$$

$$h_{min} = 77,89 \text{ mm}$$

$$= 8,8 \times (V^2/R) - 53,54 = 8,8 \times (120^2/1100) - 53,54 = 61,66 \text{ mm}$$

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

$$L_h = 0,01 \times h \times V = 0,01 \times 110 \times 120 = 132 \text{ m}$$

Tabel 4 Perhitungan Lengkung Horizontal

	Lengkung 1	Lengkung 2	Lengkung 3	Lengkung 4	Lengkung 5	Lengkung 6	Lengkung 7
Rmin Sentrifugal	1094	1094	760	920	760	920	1094
Rmin SCS	778	778	540	653	540	653	778
Rmin FC	2362	2362	1640	1984	1640	1984	2362
R Dipakai	1100	1100	800	950	800	950	1100
Hnormal	77.89	77.89	74.38	75.78	74.38	75.78	77.89
Hmin	61.66	61.66	56.46	58.54	56.46	58.54	61.66
Hmaks	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00	110.00
Ls/lh	132	132	110	121	110	121	132
Ds/0s	3.44	3.44	3.94	3.65	3.94	3.65	3.44
Xc	131.95	131.95	109.95	120.95	109.95	120.95	131.95
Yc	2.64	2.64	2.52	2.57	2.52	2.57	2.64
P	0.66	0.66	1.39	2.08	1.19	0.92	1.19
K	65.96	65.96	99.76	99.89	49.95	49.96	49.95
β	-0.34	-0.68	24.90	-26.41	4.13	-2.38	-0.29
0c	-3.78	-4.12	20.96	-30.06	0.18	-6.03	-3.73
Lc	222.51	537.90	722.33	409.23	623.62	1001.45	177.65
L	486.51	801.90	942.33	651.23	843.62	1243.45	441.65
Et	15.16	53.73	268.52	38.64	140.85	194.63	11.65
Tt	245.10	411.82	513.66	333.04	450.15	698.05	221.35

Perubahan peninggian rel pada lengkung peralihan :

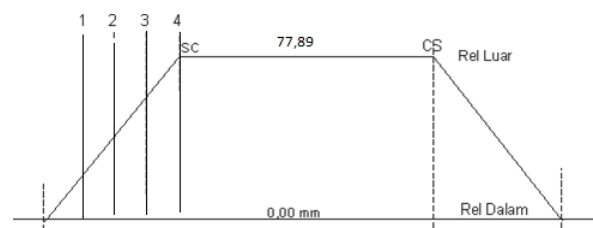
Panjang lengkung peralihan yang ditinjau adalah titik pada 1/4 Ls (titik 1), 1/2 Ls (titik 2), 3/4 Ls (titik 3) dan Ls (titik 4).

$$\text{Titik 1} = (1/4 Ls)/Ls \times 77,89 = 19,47 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 2} = (1/2 Ls)/Ls \times 77,89 = 38,95 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 3} = (3/4 Ls)/Ls \times 77,89 = 58,42 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 4} = Ls/Ls \times 77,89 = 77,89 \text{ mm}$$

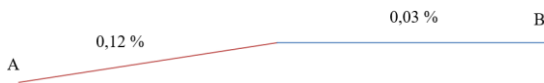


Gambar 4 Diagram Peninggian Rel

4.4 Perhitungan Alinyemen Vertikal

Sesuai dengan Permenhub No. 60 tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api bahwa kelandaian maksimal pada jalur kereta api kelas jalan rel 1 adalah 10‰ permil. Selain itu, jari – jari minimum vertikal adalah sebesar 8000 meter untuk jalan rel dengan

kecepatan maksimal diatas 100 km/jam[14]. Perencanaan alinyemen vertikal menggunakan rumus sebagai berikut.



Gambar 5. Proyeksi Perhitungan Alinyemen Vertikal

$$\begin{aligned}
 0,12\% &= 1,2\text{ ‰} \\
 0,03\% &= 0,3\text{ ‰} \\
 QB &= |0,3\text{ ‰} - 1,2\text{ ‰}| = 0,9\text{ ‰} \\
 Lv &= QB \times R \\
 &= (0,9/1000) \times 8000 \\
 &= 7,2\text{ m} \\
 Ev &= (R \times QB^2)/8 \\
 &= (8000 \times (0,9/1000)^2) / 8 \\
 &= 0,00081\text{ m}
 \end{aligned}$$

4.5 Perhitungan Volume Galian dan Timbunan

Perhitungan volume galian dan timbunan jalur kereta api dihitung tiap 1 km menggunakan Civil 3D. Hasil perhitungan volume galian dan timbunana dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 5 Volume Kumulatif Galian dan Timbunan

Station	Volume Kumulatif Galian (m ³)	Volume Kumulatif Timbunan (m ³)	Selisih Volume Kumulatif (m ³)
0+500	0.00	0.00	0.00
1+000	35993.51	0.00	35993.51
1+500	148833.46	0.00	148833.46
2+000	274468.70	0.00	274468.70
2+500	314191.78	0.00	314191.78
3+000	317500.93	10589.46	306911.47
3+500	317500.93	33501.62	283999.31
4+000	317500.93	69626.54	247874.39
4+500	317500.93	119582.58	197918.35
5+000	317500.93	150978.39	166522.54
5+500	317500.93	179978.26	137522.67
6+000	317500.93	213923.42	103577.51
6+500	317500.93	235392.36	82108.57
7+000	317500.93	248955.75	68545.18
7+500	317500.93	266834.99	50665.94
8+000	322517.81	282432.58	40085.23
8+500	371520.48	282432.58	89087.90
9+000	426064.52	282432.58	143631.94
9+500	453347.67	282432.58	170915.09
10+000	481009.18	282432.58	198576.60
10+500	491935.44	288839.45	203095.98
11+000	491935.44	305662.19	186273.24
11+500	494312.60	316078.06	178234.54
12+000	496919.75	316218.61	180701.13
12+500	497149.73	319864.99	177284.74
13+000	507513.70	323370.81	184142.90
13+500	534422.40	323370.81	211051.60
14+000	551038.62	332211.07	218827.55
14+500	554605.15	341051.34	213553.81
15+000	566247.33	341051.34	225195.99

Station	Volume Kumulatif Galian (m ³)	Volume Kumulatif Timbunan (m ³)	Selisih Volume Kumulatif (m ³)
15+500	574321.69	342431.99	231889.70
16+000	591122.72	343812.61	247310.11
16+500	610737.47	343812.61	266924.86
17+000	615233.86	343812.61	271421.25
17+500	635209.33	343812.61	291396.72
18+000	656003.62	343812.61	312191.01
18+500	658566.91	345293.05	313273.85
19+000	710866.79	346773.50	364093.29
19+500	781380.95	346773.50	434607.45
20+000	828809.25	346773.50	482035.75
20+500	906223.65	346773.50	559450.15
21+000	954548.40	346936.11	607612.28
21+500	954897.57	348430.10	606467.47
22+000	955044.13	367268.33	587775.80
22+500	955044.13	392623.35	562420.78
23+000	955044.13	447077.84	507966.29
23+500	955044.13	537446.65	417597.48
24+000	955044.13	611187.23	343856.90
24+500	955044.13	677622.06	277422.07
25+000	955044.13	776356.98	178687.15
25+500	955044.13	861699.64	93344.49
26+000	955044.13	888165.06	66879.06
26+500	988133.87	891563.70	96570.17
27+000	1130662.88	891563.70	239099.19
27+500	1265146.03	891563.70	373582.33
28+000	1293876.32	891563.70	402312.62
28+500	1317423.59	891563.70	425859.89
29+000	1386335.63	891563.70	494771.93
29+500	1543632.02	891563.70	652068.33
30+000	1810903.52	891563.70	919339.82
30+500	2151962.89	891563.70	1260399.19
31+000	2399262.85	891563.70	1507699.16

4.6 Perhitungan Komponen

Perhitungan komponen jalur kereta api dilakukan menggunakan software Civil 3D, dengan mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012 tentang spesifikasi teknis jalur kereta api. Perhitungan komponen tersebut meliputi perhitungan jumlah bantalan, perhitungan jumlah penambat, perhitungan jumlah rel, perhitungan balas, dan perhitungan subbalas yang diperlukan.

a. Bantalan

Perencanaan dimensi bantalan beton yang akan digunakan berdasarkan PM No.60 Tahun 2012 tentang spesifikasi teknis jalur kereta api dengan jarak peletakan 60 cm antar bantalan.

Tabel 6 Perhitungan Balas

Komponen	Satuan	Jumlah
Jarak antar bantalan	Meter	0.60
Total Panjang Jalur	Meter	31,152.00
Jumlah bantalan	Buah	51,921.00

b. Penambat

Dalam perencanaan, penambat yang digunakan adalah jenis penambat pendrol yang sering disebut sebagai e-clip, dengan kekuatan gaya jepit mencapai 1.742,55 kgf. Penambat pendrol jenis e-clip sesuai dengan persyaratan teknis jalan rel, dimana gaya jepit yang disyaratkan minimal sebesar 900 kgf[15]. Dengan digunakannya penambat e-clip yang memenuhi persyaratan teknis, diharapkan stabilitas dan keamanan jalur tetap terjaga selama operasionalnya.

Tabel 7 Perhitungan Penambat

Komponen	Satuan	Jumlah
Jumlah penambat/bantalan	Buah	4
Total Bantalan	Buah	51,921.00
Jumlah penambat	Buah	207,684.00

c. Rel

Rel yang digunakan berdasarkan perencanaan yaitu R.54, yang mana diproduksi sepanjang 25 meter tiap batangnya. Dengan panjang trase 31,152.00 meter dan bukti bahwa jalan rel terdiri dari 2 rel.

Tabel 8 Perhitungan Rel

Komponen	Satuan	Jumlah
Panjang rel	Meter	25
Total Panjang Jalur	Meter	31,152.00
Jumlah rel	Buah	2,492.16

d. Balas

Volume balas dihitung sesuai penampang melintang balas yang direncanakan, yaitu menggunakan penampang kelas jalan 1. Balas yang digunakan harus sesuai dengan persyaratannya, salah satunya adalah batu pecah bersudut banyak dan tajam, serta berukuran 25-60 mm. Volume balas yang dihitung berdasarkan dimensi penampang balas kelas jalan rel 1.

Tabel 9 Perhitungan Balas

Komponen	Satuan	Jumlah
Panjang Bahu Balas	Meter	1.5
Panjang Kaki Balas	Meter	4.7
Tebal Balas	Meter	0.5
Luas Penampang Balas	m ²	1.55
Total Panjang Jalur	Meter	31,152.00
Volume Balas	m ³	48,285.16

e. Subbalas

Subbalas merupakan komponen jalan rel yang sangat penting karena memiliki fungsi sebagai lapisan

penyaring dan mengalirkan air ke arah drainase. Material subbalas terdiri dari agregat kasar dan halus atau biasa disebut sirtu (pasir dan batu) dengan mengandung sekurang-kurangnya 30% agregat kasar.

Tabel 10 Perhitungan Subbalas

Komponen	Satuan	Jumlah
Panjang Bahu Subbalas	Meter	5.3
Panjang Kaki Subbalas	Meter	7.5
Tebal Subbalas	Meter	0.3
Luas Penampang Subbalas	m ²	1.92
Total Panjang Jalur	Meter	31,152.00
Volume Subbalas	m ³	59,811.84

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perencanaan geometri jalur kereta api lintas Kamal – Suramadu dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Sebagian besar dari jalur kereta api yang ada di Bangkalan-Kamal telah dimanfaatkan sebagai pemukiman atau pemerintahan yang padat penduduk (54%). Sementara itu, sebagian lahan lainnya digunakan sebagai pemukiman dengan kepadatan sedang (24%), dan sisanya digunakan sebagai lahan persawahan atau masih berupa lahan kosong (22%). Jalur kereta api yang ada saat ini menggunakan jalur tunggal atau single track dengan lebar spoor 1067mm dan rel jenis R25.
2. Trase yang dipilih adalah alternatif trase ke 2 dimana mendapatkan poin lebih kecil 2 poin dari trase eksisting. Trase yang terpilih memiliki panjang 31.152 meter dan membutuhkan lahan seluas 566.266 m² untuk pembangunannya.
3. Alinyemen horizontal yang didesain dengan kecepatan operasi 110 km/h dan kelas jalan rel 1. Perencanaan alinyemen horizontal menghasilkan 7 lengkung horizontal dengan radius 1100 m (lengkung 1,2,dan 7), 800 m (lengkung 3 dan 5), dan 950 m (lengkung 4 dan 6).
4. Pada perencanaan jalan rel Kamal-Suramadu terdapat pekerjaan galian dan timbunan dengan total volume kumulatif galian tanah sebesar 2.399.262,85 m³, sedangkan total volume kumulatif timbunan tanah sebesar 891.563,7 m³.
5. Komponen jalan rel yang dibutuhkan pada jalur kereta api Kamal-Suramadu yaitu sebanyak 51,921 buah bantalan beton, 207.684 buah penambat pendrol e-clip, 2.493 batang rel R54, 48.286 m³ balas, dan 59.812 m³ subbalas

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih dipersembahkan untuk para pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah

memberikan kontribusi dan saran yang sangat membantu dalam penyusunan penelitian ini. Semoga hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat untuk seluruh pihak.

REFERENSI

- [1] G. Satrio, M. Z. Arifin, M. Z. Arifin, A. Wicaksono, and A. Wicaksono, "Kajian Potensi Penumpang Angkutan Kereta Api Lintas Madura (Bangkalan–Sumenep PP) dengan Menggunakan Metode Stated Preference," *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, vol. 1, no. 2, p. pp-765, 2014.
- [2] Kementerian Perhubungan Ditjen Perkeretaapian, "Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (PM No.43 Tahun 2011)," *Rencana Induk Perkeretaapian Nasional*, no. 8, 2011.
- [3] M. Z. Muttaqin, "Perancangan Geometri Jalan Rel Kamal-Pelabuhan Tanjung Bulupandan Di Madura," *Railway Engineering*, p. 205, 2018.
- [4] S. Hapsoro Tri Utomo, *Jalan Rel*. 2009.
- [5] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Perhubungan No. 11 Tahun 2012 Tentang Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api," *Kemhub RI*, 2012.
- [6] D. A. Nuswanti, Moch. Z. Mahendra, and A. Aghastya, "Planning Reactivation Train for Kedungjati – Tuntang Using Google Earth, Global Mapper, and AutoCAD Civil 3D," vol. 193, no. Istdc 2019, pp. 57–62, 2020, doi: 10.2991/aer.k.200220.012.
- [7] H. Surakim, *Konstruksi Jalan Rel dan Keselamatan Perjalanan Kereta Api*. Badan Standardisasi Nasional, 2014.
- [8] W. A. Azis, "PERENCANAAN GEOMETRI JALAN REL BERDASARKAN TRASE TERPILIH LINTAS DOLOPO - SURODIKRAMAN Kereta Api Koridor Magelang hingga Ambarawamenggunakan metode Pendekatan," pp. 23–24, 2020.
- [9] Kementerian Perhubungan, "PM No. 60 Tahun 2012," *PM. 60 Tahun 2012*, pp. 1–57, 2012.
- [10] S. A. P. Rosyidi, *Rekayasa Jalan Kereta Api*. 2013.
- [11] A. W. Yudha, A. Aghastya, and W. T. Adi, "PERENCANAAN REAKTIVASI JALUR KERETA API LINTAS MADIUN - DOLOPO Judul : Perencanaan Reaktivasi Jalur kereta api Kedungjati – Tuntang Menggunakan Google," no. 60, pp. 23–24, 2020.
- [12] R. M. Khiuruddin, "Perencanaan Revitalisasi Jalur Kereta Api Lintas Semarang – Demak," pp. 1–11, 2017.
- [13] S. W. Astuti, AA. B. Oka, and A. Soimun, "Pemilihan Alternatif Trase Kereta Api Di Kabupaten Bangkalan Menggunakan Metode Ahp," *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, vol. 3, no. 2, pp. 125–132, 2019, doi: 10.37367/jpi.v3i2.117.
- [14] A. Dhaniswara *et al.*, "Analisis Teknis Jalur Kereta Api Perkotaan Tempel-Yogyakarta-Samas" Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-24 Universitas Indonesia-Universitas Pembangunan Jaya, 2021.
- [15] Menteri Perhubungan Republik Indonesia, "Peraturan Dinas No 10 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel," pp. 1–62, 1986.