

Perencanaan Reaktivasi Jalur Kereta Api Lintas Bondowoso – Prajekan (KM 241+826 – KM 263+976) Menggunakan Aplikasi Civil 3D dan Infracworks

Muhammad Raihan Nurdiansyah¹, Wahyu Tamtomo Adi², Adya Aghastya³
Teknologi Bangunan dan Jalur Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun
Corresponding Author : raihan.tbjp2110301@taruna.ppi.ac.id
Email : tamtomo@ppi.ac.id, adya@ppi.ac.id

ABSTRAK

Reaktivasi jalur kereta api adalah pengaktifan kembali jalur kereta api (KA) yang sudah mati atau sudah lama tidak digunakan untuk operasi kereta api. Berdasarkan dengan Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNas) Tahun 2030 tujuan dari perencanaan ini adalah untuk mengetahui bagaimana kondisi jalur kereta api eksisting yang sudah tidak beroperasi mulai tahun 2004 dan mendorong pembangunan jalan rel khususnya di wilayah Jawa Timur serta meningkatkan perekonomian dan wisata daerah setempat. Pada perencanaan reaktivasi ini menggunakan kelas jalan I dengan menggunakan aplikasi *software civil 3d* dan *infracworks*. Terdapat 13 Lengkung Horizontal dan 11 Gradien untuk lengkung vertikal. Perencanaan jalur kereta api ini mengubah radius lengkung dan ada beberapa lengkung yang mengalami perubahan radius yaitu lengkung 2,5,10, dan 13. Setelah dilakukannya survei secara langsung jalur antara Stasiun Bondowoso – Stasiun Prajekan, kondisi jalur kereta api yaitu (46%) masih menjadi persawahan, (35%) menjadi perkebunan warga, (15%) sudah menjadi permukiman, dan patok tanah kanan kiri PT. KAI terlihat. Berdasarkan PM No. 11 Tahun 2012 dan berdasarkan survei secara langsung trase eksisting sebagai lokasi yang akan direncanakan reaktivasi masih layak untuk diaktifkan kembali. Pekerjaan galian dan timbunan, dengan hasil yang di dapatkan untuk galian sebesar 869.770,09 m³, sementara untuk volume timbunan sebesar 903.549,73 m³. Komponen jalan rel yang dibutuhkan untuk perencanaan tersebut 36.833 buah bantalan, 147.332 penambat pandrol e-clip, 1.768 batang rel R54, dan 36.834 buah drainase *sideditch*.

Kata Kunci: Jalur kereta api kalisat – Panarukan, Trase Jalur kereta api, Geometri jalur kereta api, Autocad civil 3d, Autocad *infracworks*.

ABSTRACT

Railway reactivation is the reactivation of railway lines that are dead or have not been used for railway operations for a long time. Based on the National Railway Master Plan (RIPNas) Year 2030, the purpose of this planning is to find out how the condition of the existing railway line that has not been operating since 2004 and encourage the development of railways, especially in the East Java region and improve the local economy and tourism. In this reactivation planning using class I road using civil 3d and infracworks software applications. There are 13 Horizontal Curves and 11 Gradients for vertical curves. The planning of this railway line changes the radius of the curve and there are several curves that experience changes in radius, namely curves 2, 5, 10, and 13. After conducting a direct survey of the route between Bondowoso Station - Prajekan Station, the condition of the railway line is that (46%) is still a rice field, (35%) is a community plantation, (15%) has become a settlement, and the right and left land stakes of PT KAI are visible. Based on PM No. 11/2012 and based on direct surveys, the existing trajectory as the planned reactivation location is still feasible to be reactivated. Excavation and embankment work, with the results obtained for excavation amounting to 869,770.09 m³, while for the volume of embankment amounting to 903,549.73 m³. The railway component required for the plan is 36.833 pads, 147,332 e-clip pandrol tethers, 1,768 R54 rail bars, and 36,834 sideditch drainage pieces.

Keywords: Kalisat - Panarukan railway, Railway Trace, Railway geometry, Autocad civil 3d, Autocad *infracworks*.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Reaktivasi jalur kereta api adalah pengaktifan kembali jalur kereta api (KA) yang sudah mati atau sudah lama tidak digunakan untuk beroperasi. Pada Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNAS) 2030 jalur Kalisat – Panarukan yang melewati Bondowoso termasuk jalur yang akan di reaktivasi atau di aktifkan kembali. Jalur Kereta api Kalisat – Panarukan adalah Jalur KA yang

menghubungkan 3 Kabupaten yaitu Kabupaten Jember, kabupaten Bondowoso, dan Kabupaten Situbondo. Jalur Kalisat – Panarukan adalah aset yang dikelola oleh PT. KAI DAOP IX Jember. Jalur Kalisat – Panarukan memiliki panjang 67,5 Km[6]. Jalur kereta api Bondowoso - Panarukan resmi dibuka pada tahun 1897 oleh Staatspoorwegen. Kereta penumpang ini dulunya mengangkut penumpang dari Stasiun Panarukan Situbondo ke Stasiun Jember. Menjelang nonaktif, jalur ini dahulu hanya dilayani oleh kereta api

lokal Jember–Pamarukan p.p. Sering ditarik lokomotif diesel hidrolik produksi Henschel (BB303 dan BB306), serta membawa tiga unit kereta penumpang ekonomi non-AC. Tepat pada tahun 2004, PT KAI dinonaktifkan secara keseluruhan, termasuk jalur dan seluruh layanan, karena infrastrukturnya sudah tua dan tidak kompetitif dengan mobil pribadi dan angkutan umum. Selain mengangkut penumpang Jalur tersebut biasanya juga dapat dikelola untuk kereta angkutan barang yang membawa gula hasil dari PG Prajekan dan PG Panji yang akan di distribusikan ke seluruh pulau Jawa. Pada zaman penjajahan Belanda jalur tersebut dan khususnya Stasiun Bondowoso menjadi salah satu bukti perlawanan terhadap penjajahan lewat peristiwa yang dikenal dengan nama Gerbong Maut.

Berdasarkan dengan Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNAS) Tahun 2018 yang telah diubah menjadi KM 296 Tahun 2020 Ditjen Perkeretaapian Kementerian Perhubungan dijelaskan bahwa tujuan pengembangan jaringan dan layanan perkeretaapian yang ingin dicapai pada tahun 2030 salah satunya adalah perkeretaapian nasional mencapai 12.100 km (tersebar di pulau Jawa, Bali, Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, dan Papua)[2]. Perencanaan reaktivasi dan peningkatan jalur kereta api meliputi lintas Bondowoso - Pamarukan direncanakan akan dilaksanakan pembangunannya pada tahun 2025 sampai dengan tahun 2030. Penelitian ini juga berdasarkan Peraturan Daerah Tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Daerah (RPJPD) Tahun 2005 - 2025. Dalam Peraturan Daerah tersebut dijelaskan bahwa semakin banyaknya mobilitas penduduk seperti mahasiswa yang kuliah di luar Bondowoso sangat kesulitan untuk kembali ke Bondowoso, semakin majunya teknologi, dan jika kereta api aktif kembali di jalur tersebut secara otomatis akan banyak membuka lapangan pekerjaan disekitar stasiun untuk menunjang ekonomi Masyarakat Kabupaten Bondowoso serta memperkenalkan akan budaya yang ada di Kabupaten Bondowoso seperti Ijen Geopark dan wisata kopi yang ada di Bondowoso, maka diperlukannya transportasi yang menunjang masyarakat Kabupaten Bondowoso, yaitu transportasi kereta api. Sesuai dengan survei yang dilakukan masyarakat berharap akan adanya kereta api lagi untuk memudahkan mobilitas.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis kondisi jalur eksisting non operasi pada jalur kereta api lintas Bondowoso – Prajekan.
2. Menentukan trase berdasarkan tata ruang dan tata wilayah pemerintah Kabupaten Bondowoso.

3. Merencanakan geometri jalan rel lintas Bondowoso – Prajekan sesuai dengan PM. No 60 Tahun 2012 dan PD. No 10 Tahun 1986 dengan menggunakan software Google Earth, Global Mapper, AutoCad Civil 3D, dan Infracore.
4. Merencanakan komponen struktur jalan rel yang sesuai dengan PM. No 60 Tahun 2012.
5. Menghitung jumlah kebutuhan volume galian timbunan serta Bagaimana Kondisi Struktur Jalan Rel sesuai PM. 60 Tahun 2012.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Penetapan Trase

Menurut PM No. 11 Tahun 2012 Tentang Tata Cara Penetapan Jalur Kereta Api Trase jalur kereta api adalah rencana tapak jalur kereta api dengan titik koordinat yang diketahui. Tujuan penetapan trase jalur kereta api adalah sebagai berikut[4]:

1. Keharmonisan antara jaringan jalur kereta api dan perencanaan tata ruang wilayah sesuai tatanannya.
 2. Keterpaduan pengendalian pemanfaatan ruang untuk jaringan jalur kereta api dalam rangka tata ruang wilayah. perlindungan fungsi ruang akibat pembangunan jalur kereta api.
 3. Keterpaduan jaringan jalur kereta api sebagai bagian dari jaringan transportasi nasional, sehingga mempermudah dan memperlancar pelayanan angkutan orang dan barang.
 4. Efisiensi penyelenggaraan perkeretaapian.
- Penetapan trase jalur kereta api berfungsi sebagai pedoman untuk melaksanakan kegiatan perencanaan teknis, analisis dampak lingkungan hidup atau UKL dan UPL, dan pengadaan tanah sebelum pelaksanaan pembangunan jalur kereta api. Untuk menetapkan trase jalur kereta api paling sedikit memuat :
- a. Titik – titik koordinat.
 - b. Lokasi stasiun.
 - c. Rencana kebutuhan lahan.

2.2 Geometri Jalan Rel

Geometri jalan rel adalah bentuk dan ukuran jalan rel baik memanjang maupun melebar, termasuk kelandaian, lebar, pelebaran, dan lengkung horizontal dan vertikal. Desain dan perencanaan jalan rel harus dilakukan dengan cara yang efisien, aman, nyaman, dan ekonomis. [9].

Jalur kereta api adalah konstruksi yang terbuat dari baja, beton, atau bahan lain yang dibangun di atas atau di bawah tanah atau bergantung pada perangkatnya untuk mengarah ke jalur kereta api. Perencanaan konstruksi jalur kereta api harus dilakukan dengan cara yang sesuai dengan persyaratan teknis sehingga konstruksinya dapat diperhitungkan secara ekonomis dan teknis. [12].

Hal-hal yang direncanakan untuk geometri jalan rel adalah :

1. Kecepatan Rencana
2. Lebar Jalan Rel
3. Pelebaran Jalan Rel
4. Peninggian Jalan Rel
5. Kelandaian
6. Alinyemen Horizontal
7. Alinyemen Vertikal

2.3 Komponen Jalan Rel

Struktur perkeretaapian adalah prasarana transportasi perkeretaapian atau bangunan yang direncanakan sebagai prasarana. Konsep struktur perkeretaapian adalah rangkaian bangunan atas dan bawah yang membentuk satu komponen yang dapat menunjang lalu lintas kereta api dengan aman.

Untuk menunjang lalu lintas kereta api, struktur perkeretaapian merupakan suatu sistem dinamis antar komponennya [7]. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 Tentang persyaratan teknis jalan rel menyebutkan bahwa Persyaratan komponen jalan rel meliputi badan jalan, wesel, sub- balas, rel, alat penambat, bantalan, dan balas.

a. Rel

Rel merupakan struktur balok menerus yang diletakkan di atas tumpuan bantalan yang berfungsi sebagai penuntun dan mengarahkan pergerakan roda kereta api[7]. Rel juga berfungsi sebagai struktur pengikat dalam pembentukan struktur jalan rel yang kokoh.

b. Bantalan

Bantalan merupakan salah satu bagian dari komponen utama jalan rel yang mempunyai fungsi utama untuk mengikat rel agar kedudukan rel menjadi kokoh dan kuat. Bantalan juga bagian dari sistem pembebanan struktur jalan rel yang berfungsi untuk menahan beban dari sarana yang melintas di atas rel dan selanjutnya beban tersebut secara merata didistribusikan kepada struktur yang berada di bawahnya[7]. Bantalan memiliki 3 macam yaitu bantalan kayu, bantalan besi, dan bantalan beton.

c. Penambat

Penambat rel merupakan suatu komponen yang mengikat rel pada bantalan sehingga dapat membuat rel tetap kokoh, tidak bergeser terhadap bantalannya dan kuat[7]. Dengan adanya komponen penambat rel jarak antara kedua rel akan tetap. Semakin berat dan cepat sarana yang akan melintas berarti kuat jepit penambat harus lebih besar. Sesuai dengan kemampuan elastisitasnya yang diberikan oleh penambat, terdapat 2 jenis penambat yaitu : Penambat

kaku yang terdiri dari Paku rel, Tirpon, Baut atau mur dan penambat elastis yang terdiri dari Dorken, Pandrol, Tipe F, DE clip, Nabla.

d. Balas

Lapisan balas dan sub-balas pada dasarnya merupakan kelanjutan dari lapisan tanah dasar dan terletak pada daerah yang mengalami tegangan paling besar akibat lalu lintas kereta api pada suatu jalur kereta api, oleh karena itu bahan untuk membentuknya harus dipilih dengan sangat hati-hati[7]. Balas dan Sub-balas memiliki fungsi utama yaitu meneruskan dan menyebarkan beban bantalan ke tanah dasar, mengokohkan kedudukan bantalan, dan meluruskan air sehingga tidak terjadi genangan di sekitar area bantalan.

e. Drainase

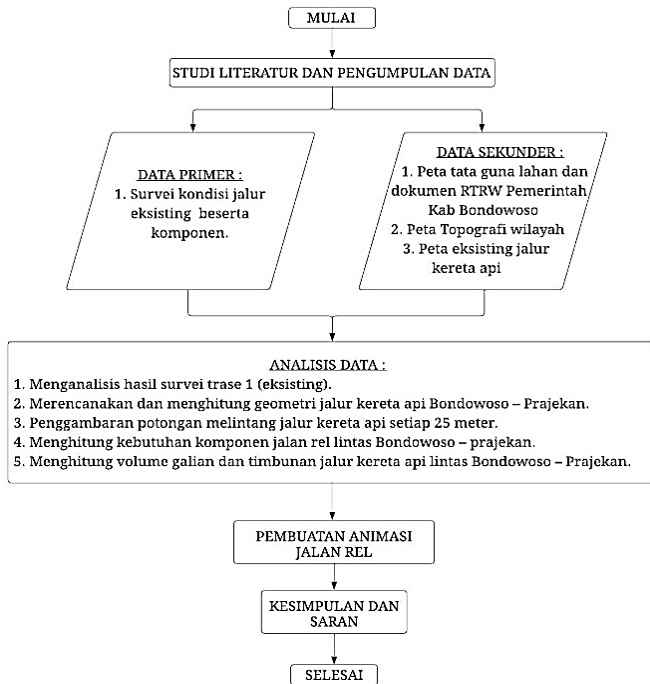
Drainase jalan rel didefinisikan sebagai sistem pengaliran atau pembuangan air di daerah jalan rel, baik secara gravitasi atau dengan pompa air. Tujuan ini dilakukan agar tidak terjadi genangan air[1]. Sesuai dengan definisinya drainase memiliki fungsi, yaitu :

1. Mencegah pengaruh air yang dapat mengganggu konsentrasi tanah dengan menjaga agar tubuh jalan rel tetap dalam kondisi keras (mantap, keras, dan padat) sepanjang waktu. Tidak ada kantong balas karena pembentukan kantong.
2. Tidak ada genangan air di jalan rel; jika terjadi, genangan air akan mengeluarkan lempung dan gaya pompa saat kereta lewat, yang disebut kecrotan atau mup pumping.
3. Pastikan perjalanan kereta api tidak terganggu oleh genangan air.

3. Metode Penelitian

3.1 Diagram Alir

Dalam diagram alir terdapat alur penelitian yang dilakukan oleh penulis yang diawali dengan mengidentifikasi masalah, melakukan studi literatur, dan mengumpulkan data untuk melakukan penelitian, kemudian data dianalisis serta pembuatan gambar animasi. Setelah itu, menyimpulkan penelitian ini. Diagram alir perencanaan reaktivasi jalur kereta api lintas Bondowoso-Prajejan dijelaskan pada gambar 1:



Gambar 1. Diagram Alir

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini penulis dapat memperoleh data sebagai berikut :

Data Primer :

Pada penelitian ini data primer adalah data yang signifikan. Karena data ini didapat dengan melalui survei langsung dilapangan bagaimana kondisi jalur kereta api eksisting lintas Bondowoso – Prajekan dengan melihat dan mendata komponen – komponen tersisa dan struktur jalan rel yang tersisa.

Data Sekunder :

Data sekunder yang dibutuhkan penulis untuk penelitian ini yaitu :

1. Peta atau dokumen RT/RW Kabupaten Bondowoso. Data Dokumen atau peta wilayah RT/RW Kabupaten Bondowoso, peneliti bisa mendapatkan dari Badan Perencanaan Wilayah Kabupaten Bondowoso.
2. Peta topografi, penggunaan lahan, jaringan jalan, serta peta geologi. Data Peta Topografi akan digunakan untuk membuat desain trase jalur kereta api. Data ini peneliti dapatkan dari aplikasi software Global Mapper dan Google Earth.
3. Peta eksisting jalur kereta api lintas Bondowoso – Prajekan sebagai acuan penulis untuk melihat kondisi jalur kereta api saat ini serta sebagai pertimbangan penulis terhadap trase baru yang akan didesain. Data peta eksisting jalur kereta api lintas Bondowoso - Prajekan peneliti sudah menemukan di website indonesiarailwaymap.com dan peneliti juga mendapatkan data ini di DAOP 9 Jember.

3.3 Metode Pengolahan Data

Metode pengolahan data akan menjelaskan bagaimana prosedur pengolahan data. Pada tahap ini terdapat tahap – tahap pengolahan data, antara lain :

1. Data Peta tata guna lahan dan dokumen RTRW
 Data Peta tata guna lahan dan dokumen RTRW terdapat pada rencana pembangunan daerah Kabupaten Bondowoso. Data tata guna lahan yang didapatkan peneliti dalam bentuk file shp sehingga dapat langsung dimasukkan ke dalam aplikasi Google Earth dan data tersebut akan dilanjutkan ke proses pengolahannya. Data tata guna lahan ini dalam pengolahannya kita dapat mengetahui daerah –daerah mana yang akan dan sudah dibangun permukiman penduduk, tempat ibadah, tempat makam penduduk, dan tempat – tempat vital daerah tersebut. Sehingga pada saat kita membuat atau merencanakan trase peneliti dapat mengetahui rencana trase lebih banyak permukiman atau persawahan. Semakin sedikit permukiman yang dilalui oleh trase, maka rencana trase tersebut semakin baik karena tidak banyak mengeluarkan biaya pembebasan lahan. Selain itu, kita juga bisa mengetahui apakah trase eksisting masih laik atau sudah tidak laik untuk kereta api.

2. Data peta Topografi

Data topografi nantinya akan menunjukkan elevasi dan kontur suatu wilayah. Data ini peneliti dapatkan dari website indonesiarailwaymap.com. Untuk mendapatkan suatu kontur wilayah tahap pertamanya dengan cara membuat polygon di software Google earth yang mencakup seluruh wilayah yang ingin diketahui elevasi konturnya. Setelah itu, data polygon tersebut dimasukkan ke software Global mapper yang kemudian diolah sehingga terlihat elevasi konturnya. Hasil dari pengolahan data peta topografi adalah peneliti dapat mengetahui apakah rencana trase akan melewati elevasi yang landai atau ekstrim. Karena semakin ekstrim elevasinya akan mempersulit pembangunan jalan rel. Pengolahan data peta topografi juga bisa dilakukan menggunakan software Infracore.

3. Data peta eksisting

Data peta eksisting jalur kereta api lintas Kalisat – Panarukan akan sangat membantu peneliti dalam melakukan survei trase eksisting untuk mengetahui kondisi jalur eksisting Bondowoso – Prajekan. Data ini juga bisa didapatkan dari kantor DAOP 9 Jember atau lebih tepatnya Resor jalan rel dan jembatan 9.6 Kalisat.

4. Data Hasil Survei Trase eksisting

Data hasil survei trase lama sangat membantu peneliti untuk mengetahui bagaimana kondisi trase yang sebenarnya dan data survei peneliti dapatkan ketika

peneliti sudah meninjau langsung lapangan. Pada saat peneliti melakukan survei, peneliti juga akan mengambil dokumentasi per 100 meter guna sebagai bukti serta laporan pada tugas akhir ini.

3.4 Metode Analisis Data

Dalam menganalisis data diperlukan metode cara untuk mengolah data yang telah diambil. Ada empat tahap proses analisis data di tugas akhir ini, sebagai berikut:

- 1 Mencari literatur terkait perencanaan trase, jalur kereta api, dan perhitungan geometri jalan rel. Kemudian dilanjut dengan melakukan peninjauan langsung untuk mengetahui kondisi jalur eksisting dari jalan rel eksisting Bondowoso-Prajekan dan indentifikasi lahan pada jalur kereta api rencana Kalisat-Panarukan.
- 2 Mendapatkan data peta topografi Kabupaten Bondowoso yang nantinya digunakan untuk perencanaan reaktivasi jalur kereta api lintas Bondowoso-Prajekan.
- 3 Penetapan trase dengan didasari oleh PM No.11 Tahun 2012, perhitungan geometri jalan rel dengan didasari oleh PM No.60 Tahun 2012, dan perencanaan struktur jalur kereta api. Penetapan trase jalur eksisting dilakukan dengan penilaian berdasarkan panjang jalur, integrasi antar moda, kebutuhan pembebasan lahan, dan mobilitas dan aksesibilitas.
- 4 Pada perencanaan reaktivasi tersebut, untuk menentukan klasifikasi jalur kereta api yang berpedoman pada PM No. 60 Tahun 2012 setelah itu, melakukan penggambaran potongan melintang per 25 meter dengan menggunakan aplikasi civil 3d.
- 5 Merencanakan kebutuhan komponen jalan rel pada perencanaan reaktivasi tersebut, Komponen yang dibutuhkan meliputi jumlah rel, jumlah bantalan, jumlah penambat, dan jumlah volume drainase, dan menentukan volume galian dan timbunan
- 6 Hal terakhir yang dilakukan adalah membuat animasi jalur kereta api pada aplikasi infraworks, hal ini bertujuan untuk membuat visual jalur kereta api sesuai dengan kondisi dilapangan dan mempermudah pekerjaan nantinya jika reaktivasi ini terealisasi.

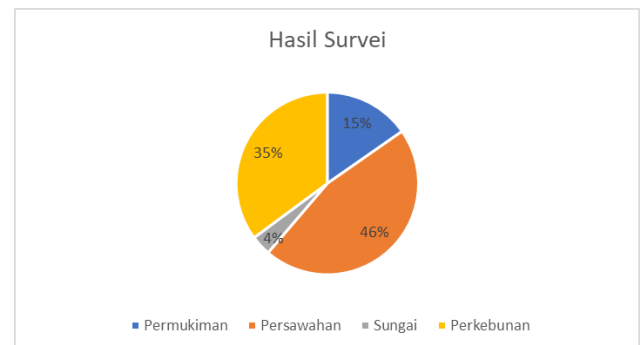
4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Kondisi Jalur Eksisting

Pada Jalur non-aktif ini memiliki beberapa karakteristik yang berbeda – beda pada setiap antar stasiun sehingga dibagi menjadi beberapa segmen. Total panjang jalur tersebut adalah 22+100 Km. Dari panjang jalur tersebut dibagi menjadi 4 segmen yaitu

Segmen 1 Stasiun Bondowoso – Stasiun Tangsil, Segmen 2 Stasiun Tangsil – Stasiun Wonosari, Segmen 3 Stasiun Wonosari – Stasiun Topen, dan Segmen 4 Stasiun Topen – Stasiun Prajekan.

kondisi jalur kereta api eksisting dari Stasiun Bondowoso – Stasiun Prajekan lintas Kalisat – Panarukan sebagian besar masih persawahan dan hanya ditemukan beberapa titik yang dimanfaatkan menjadi bangunan oleh warga. Pada hasil survei juga banyak material yang terlihat dan tersisa dari Stasiun Bondowoso – Stasiun Prajekan seperti rel, H Beam jembatan, penambat, dan bangunan stasiun yang masih utuh. Material yang terlihat dan digunakan dahulunya adalah rel berjenis R25 dan bantalan besi. Jalur eksisting tersebut menggunakan single spoor dengan lebar spoor 1067mm. Berdasarkan Sejarah yang ada jalur tersebut berhenti beroperasi pada tahun 2004, dikarenakan pendapatan yang selalu minus oleh pihak PT. Kereta Api (PERSERO).



Gambar 2. Diagram Hasil Survei

Setelah dilakukannya survei secara langsung jalur antara Stasiun Bondowoso – Stasiun Prajekan, jalur tersebut banyak sekali sudah beralih menjadi persawahan dan untuk permukiman hanya berada pada titik - titik tertentu tepatnya disekitar stasiun bondowoso, stasiun wonosari, dan stasiun prajekan. Pada diagram diatas dapat menjelaskan kondisi jalur kereta api eksisting Bondowoso – Prajekan yaitu 46% masih menjadi persawahan, 35% menjadi perkebunan warga, dan patok tanah kanan kiri PT. KAI terlihat. Jika dilihat dari segi ekonomi, sosial, dan lingkungan, jalur eksisting tersebut masih layak karena tingkat kepadatan penduduk yang memanfaatkan jalur sebagai bangunan hanya 15% dan komponen – komponen penginggalan masih ada seperti stasiun dan jembatan.

4.2 Penetapan Trase

Peneliti menganalisis apakah trase eksisting masih layak atau tidak berdasarkan PM. No. 11 tahun 2012. Penentuan trase eksisting tersebut berdasarkan PM. No. 11 Tahun 2012 tentang tatacara penetapan trase,

panjang trase, pembebasan permukiman, dan pendekatan dengan pusat kota.

Pada Penelitian ini ruas jalur Kalisat – Bondowoso – Situbondo - Pelabuhan Panarukan dengan kondisi eksisting yang masih sangat berpotensi maka jalur ini dapat difungsikan dan tidak membutuhkan jalur alternative.



Gambar 3. Trase Eksisting

Peta jalur eksisting didapatkan dari www.indonesianrailwaymap.com. Panjang trase eksisting tersebut memiliki panjang 22+100 kilometer dengan 18 Persimpangan sebidang. Kondisi topografi jalur eksisting tersebut berada diantara +256 mdpl hingga +96 mdpl dari hasil topografi didapatkan 11 lengkung vertikal dari aplikasi autocad civil 3d. Pada trase eksisting tersebut terdapat 13 lengkung horizontal.

a. Aspek Teknis Perencanaan

Pada reaktivasi tersebut menggunakan jenis konstruksi at grade atau permukaan tanah dengan panjang jalur eksisting 22+100 kilometer. Sesuai dengan PM No. 60 Tahun 2012 perencanaan jalur kereta api sesuai dengan kelas jalan 1 menggunakan komponen jalan rel adalah tipe rel R60/R54, bantalan yang digunakan jenis bantalan beton, penambat yang digunakan adalah penambat jenis elastis ganda, dan untuk tebal balas pada kelas jalan 1 adalah 30 cm dan lebar bahu balas adalah 60 cm.

b. Integrasi Antar Moda

Reaktivasi jalur kereta api harus berkaitan dengan transportasi lainnya. Transportasi kereta api adalah transportasi yang memiliki jalur sendiri dan tidak dapat mengantarkan penumpangnya sampai ke titik tujuan. Tujuan dari integrasi moda adalah untuk mempermudah penumpang kereta api disaat akan pergi ke stasiun atau turun dari stasiun dan ke titik tujuan selanjutnya. Penelitian ini melakukan perhitungan jarak dari Stasiun Bondowoso ke Terminal Bus Kota dan dari Stasiun prajekan ke Halte bus pasar Prajekan. Jarak antara Stasiun Bondowoso ke Terminal bus kota

adalah 400 meter. Jarak ini sangat dekat untuk menunjang integrasi transportasi antar moda antara kereta api dan bus. Pelabuhan Panarukan direncanakan untuk transit peti kemas.

c. Pembebasan Lahan

Tabel 1. Pembebasan Lahan

No	Pembebasan lahan	Luasan (m ²) Trase 1 (eksisting)
1	Sawah	296.950 m ²
2	Permukiman Masyarakat	112.321 m ²
3	Sungai	280,657 m ²
4	Perkebunan	4.102 m ²

Perhitungan Pembebasan lahan yang digunakan untuk reaktivasi jalur kereta api peneliti menggunakan aplikasi globalmapper. Pada PM 60 Tahun 2012 yang mengatur tentang persyaratan teknis jalur kereta api menjelaskan bahwa dalam reaktivasi juga perlu memperhatikan ruang bebas dan ruang bangun, dari acuan tersebut maka ditetapkan lahan yang diperlukan untuk membangun kereta api adalah 25 meter. dan untuk total luasan pembebasan lahan adalah 819.972,345 m².

d. Mobilitas dan Aksebilitas

Mobilitas sendiri dapat diartikan sebagai pergerakan individu atau kelompok sosial dalam masyarakat yang mencerminkan perubahan dalam status, posisi, atau tingkat seseorang atau kelompok dalam berbagai aspek kehidupan. Jika dengan adanya transportasi kereta api di kabupaten Bondowoso sangat membantu mobilitas dan aksebilitas masyarakat Kabupaten Bondowoso seperti, seseorang pindah dari sebuah kota ke kota lain untuk bekerja atau belajar, meningkatkan sosial dan budaya Kabupaten Bondowoso karena mudahnya mobilitas menuju Kabupaten Bondowoso, dan salah satu utama mudahnya mobilitas akan menunjang ekonomi masyarakat Bondowoso. Untuk jalur eksisting mobilitas dan aksebilitas menuju stasiunnya sangat mudah dijangkau karena sesuai dengan survey yang telah dilakukan stasiun eksisting yang ada sangat dekat dengan pasar, kantor desa, ataupun pusat kota.

e. Dampak Sosial dan Budaya

Dari segi sosial terkait terdapatnya beberapa rumah yang berada diarea jalur kereta api dapat dengan

mudah untuk relokasi, karena bangunan liar berada diatas tanah milik negara.

Dari segi budaya terkait adanya reaktivasi nantinya wisata dan budaya yang ada di Kabupaten Bondowoso akan semakin ramai pengunjung. Seperti Potensi wisata Geopark Ijen di Kab. Bondowoso

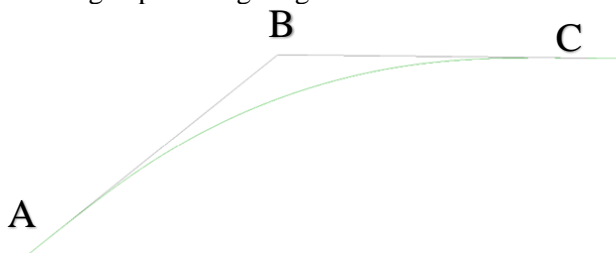
4.3 Perencanaan Geometri Jalan Rel

Pada jalur kereta api lintas Bondowoso-Prajejan yang akan direaktivasi berdasarkan RIPNAS 2030 akan menggunakan kelas jalan 1 dengan kecepatan maksimal 120 km/jam. Penggunaan kelas jalan 1 pada proyek rencana reaktivasi ini bermaksud untuk perencanaan 20 tahun kedepan agar nantinya tidak ada Pembangunan seperti revitalisasi lagi. Jalur ini sebelum berstatus non operasi dulunya menggunakan kelas jalan V. Perubahan yang terjadi pada penelitian ini terletak pada radius lengkung yang bertujuan untuk menunjang kecepatan operasi KA yang semula 60-80 km/jam akan menjadi 100-120 km/jam.

4.3.1 Perhitungan Alinyemen Horizontal

Perencanaan lengkung horizontal pada penelitian ini menggunakan jenis lengkung (*scs*) *spiral circle spiral* atau sering disebut lengkung peralihan. Untuk radius mengalami pembesaran dikarenakan mengikuti perubahan kelas jalan 5 ke kelas jalan 1. Kecepatan yang direncanakan dengan besar radius lengkung yang sudah direncanakan juga telah sesuai dengan dengan PM No. 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.

Perhitungan pada lengkung 1



Gambar 4. Lengkung Horizontal 1

Perhitungan lengkung di titik B.

$$(x_a = 812148,3708 ; y_a = 9123937,949)$$

$$(x_b = 812397,2953 ; y_b = 9123687,925)$$

$$(x_c = 812362,6162 ; y_c = 9124036,203)$$

1. Perencanaan jari – jari horizontal

Gaya sentrifugal :

$$\begin{aligned} R_{\min} &= 0,076 \times V^2 \\ &= 0,076 \times 70 \text{ km/jam}^2 \\ &= 372 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\min} &= 0,054 \times V^2 \\ &= 0,054 \times 70 \text{ km/jam}^2 \\ &= 265 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\min} &= 0,164 \times V^2 \\ &= 0,164 \times 70 \text{ km/jam}^2 \end{aligned}$$

$$= 804 \text{ m}$$

R minimal yang dipakai adalah 264,6 m, dengan R (spiral– circle–spiral) direncanakan adalah 350 m

2. Peninggian rel (h)

$$\begin{aligned} H_{\text{normal}} &= 5,95 \times (V^2/R) \\ &= 5,95 \times ((70 \text{ km/jam}^2)/(350 \text{ m})) \\ &= 83,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\min} &= 8,8 \times (V^2/R) - 53,54 \\ &= 8,8 \times ((70 \text{ km/jam}^2)/(350 \text{ m})) - 53,54 \end{aligned}$$

$$= 70 \text{ mm}$$

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

3. Lengkung peralihan (L_s) :

$$\begin{aligned} L_s &= 0,01 \times h \times V \\ &= 0,01 \times 110 \text{ mm} \times 70 \text{ km/jam} \\ &= 77 \text{ meter} \end{aligned}$$

4. Perencanaan lengkung lingkaran

$$\begin{aligned} \theta_s &= (90 \times L_s)/(\pi \times R) \\ &= (90 \times 77 \text{ m})/(3,14 \times 350 \text{ m}) \\ &= 6,3057 \\ &= 6^\circ 18' 20,52'' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= 2L_s + L_c \\ &= 2 \times 77 \text{ m} + 160 \text{ m} \\ &= 314 \text{ meter} \end{aligned}$$

Tabel 2. Perhitungan Alinyemen Horizontal

Alignment Horizontal	Lengkung 1	Lengkung 2	Lengkung 3	Lengkung 4
Rmin sentrifugal (m)	372	1094	1094	1094
Rmin SCS (m)	265	778	778	778
Rmin FC (m)	804	2362	2362	2362
R dipakai (m)	350	800	800	1000
H normal (mm)	83,3	107,1	107,1	85,7
H min (mm)	70	105	105	73
H maks (mm)	110	110	110	90
Ls (m)	77	132	132	108
θs (°)	6,31	4,73	4,73	3,10
Xc (m)	76,91	131,91	131,91	107,97
Yc (m)	2,82	3,63	3,63	1,94
P (m)	0,71	0,91	0,91	0,48
K (m)	38,47	65,94	65,94	53,89
Δs (°)	388,143	325,836	196,013	237,765
Θc (°)	262,029	231,236	101,413	175,765
Lc (m)	1,599,833	3,227,027	1,415,275	3,066,123
L (m)	314	587	406	523
Et (m)	63,31	34,41	12,77	22,41
Tt (m)	179,52	321,88	208,55	274,28

Alignment Horizontal	Lengkung 5	Lengkung 6	Lengkung 7	Lengkung 8
Rmin sentrifugal (m)	1094	920	760	760
Rmin SCS (m)	778	653	540	540
Rmin FC (m)	2362	1984	1640	1640
R dipakai (m)	1000	660	550	550
H normal (mm)	85,7	109,1	108,2	108,2
H min (mm)	73	108	106	106
H maks (mm)	90	110	110	110
Ls (m)	108	121	110	110
Θs (°)	3,10	5,25	5,73	5,73
Xc (m)	107,97	120,90	109,89	109,89
Yc (m)	1,94	3,70	3,67	3,67
P (m)	0,48	0,93	0,92	0,92
K (m)	53,89	60,51	54,98	54,98
Δs (°)	66,082	290,642	411,063	638,638
Θc (°)	0,4082	185,642	296,463	524,038
Lc (m)	71,208	2,137,358	2,844,398	5,027,853
L (m)	223	456	504	723
Et (m)	2,15	22,77	38,37	99,15
Tt (m)	111,84	244,17	295,33	616,36

Lc (m)	2,668,65	1,657,34	2,502,97	4,419,13	2,381,63
L (m)	6	4	0	2	8
Et (m)	487	382	470	640	454
Tt (m)	34,94	9,95	31,88	99,84	15,69
Tt (m)	280,23	194,51	266,71	671,12	234,51

Perubahan peninggian rel pada lengkung peralihan: Panjang lengkung peralihan yang ditinjau adalah titik pada ¼ Ls (titik 1), ½ Ls (titik 2), ¾ Ls (titik 3) dan Ls (titik 4).

$$\text{Titik 1} = (1/4 Ls)/Ls \times 83,3 \text{ mm} = 20,82 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 2} = (1/2 Ls)/Ls \times 83,3 \text{ mm} = 41,65 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 3} = (3/4 Ls)/Ls \times 83,3 \text{ mm} = 62,47 \text{ mm}$$

$$\text{Titik 4} = (Ls)/Ls \times 83,3 \text{ mm} = 83,3 \text{ mm}$$



Gambar 5. Superelevasi

Adapun untuk perhitungan pelebaran sepur telah diatur pada PM No.60 tahun 2012 :

$$\text{Radius} = 350 \text{ meter}$$

$$w = \frac{4500}{R} - 8$$

$$= \frac{4500}{350 \text{ m}} - 8 = 5 \text{ mm}$$

Sesuai dengan PM. No 60 tahun 2012 Pelebaran pada radius kurang dari 550 maksimal adalah 15mm.

4.3.2 Perhitungan Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal atau biasa juga disebut penampang melintang jalan didefinisikan sebagai perpotongan antara potongan bidang vertikal dengan badan jalan arah memanjang. Perencanaan alinyemen vertical pada perencanaan reaktivasi jalan rel lintas Bondowoso – Prajekan mengacu pada PM. No 60 tahun 2012 yaitu kecepatan yang direncanakan 120 km/jam dengan radius 8000m. Kelandaian maksimal pada kelas jalan 1 sesuai PM. No 60 tahun 2012 yaitu 100%.

Perhitungan Lengkung 1

$$V_{rencana} = 120 \text{ km/jam}$$

$$R_{min} = 8000 \text{ meter}$$

$$-0,181\% = 1,81\text{‰}$$

$$-0,134\% = 1,34\text{‰}$$

$$QA = (-1,34\text{‰} - (-1,81\text{‰}))$$

$$= -0,47\text{‰}$$

Align ment Horizontal	Lengkun g 9	Lengkun g 10	Lengkun g 11	Lengkun g 12	Lengkun g 13
Rmin sentrifugal (m)	760	1094	760	616	1094
Rmin SCS (m)	540	778	540	437	778
Rmin FC (m)	1640	2362	1640	1328	2362
R dipakai (m)	550	1000	550	440	1000
H normal (mm)	108,2	85,7	108,2	109,5	85,7
H min (mm)	106	73	106	108	73
H maks (mm)	110	90	110	110	90
Ls (m)	110	108	110	99	108
Θs (°)	5,73	3,10	5,73	6,45	3,1
Xc (m)	109,89	107,97	109,89	98,87	107,97
Yc (m)	3,67	1,94	3,67	3,71	1,94
P (m)	0,92	0,48	0,92	0,93	0,48
K (m)	54,98	53,89	54,98	49,45	53,89
Δs (°)	392,746	157,007	375,477	704,741	198,527
Θc (°)	278,146	95,007	260,877	575,741	136,527

$$L_v = Q_A \times R$$

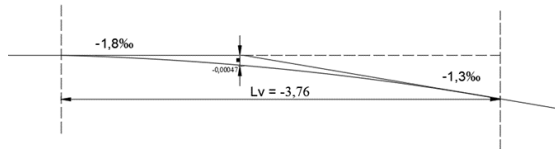
$$= -0,47/1000 \times 8000$$

$$= -3,76 \text{ meter}$$

$$E_v = ((R \times [Q_A]^2))/8$$

$$= ((8000 \times [(-0,47/1000)]^2))/8$$

$$= -0,00047 \text{ meter}$$



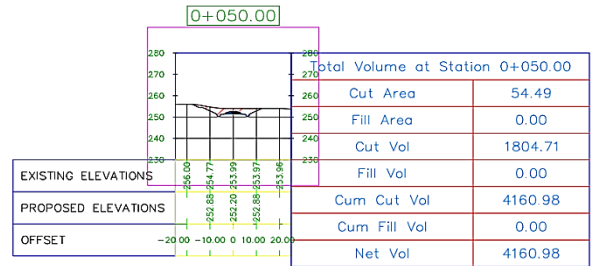
Gambar 6. Skema Lengkung Vertikal 1

Tabel 3. Perhitungan Alinyemen Vertikal

Alinyemen Vertikal	Lengkung 1	Lengkung 2	Lengkung 3	lengkung 4	lengkung 5
Vrencana	120	120	120	120	120
Rmin	8000	8000	8000	8000	8000
g	-1,81	-1,34	-8,15	-1,32	-0,85
Qa	0,47	-6,810	6,830	0,470	-5,560
Lv	3,76	-54,48	54,64	3,76	-44,48
Ev	0,0002	0,0464	0,0466	0,0002	0,0309

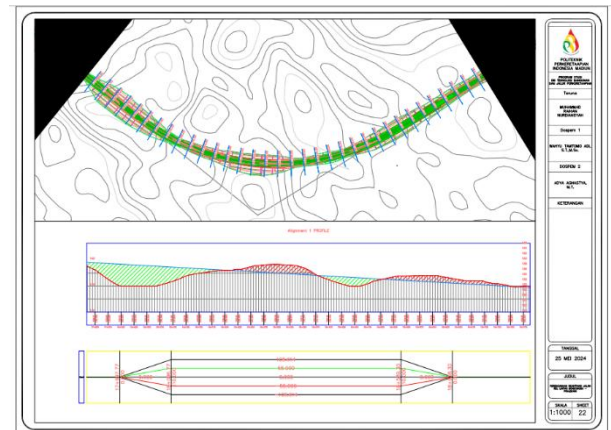
Alinyemen Vertikal	lengkung 6	lengkung 7	lengkung 8	lengkung 9	lengkung 10
Vrencana	120	120	120	120	120
Rmin	8000	8000	8000	8000	8000
g	-6,41	-7,86	-9,95	-8,38	-7,78
Qa	-1,450	-2,090	1,570	0,600	0,720
Lv	-11,6	-16,72	12,56	4,8	5,76
Ev	0,0021	0,0044	0,0025	0,0004	0,0005

4.3.3 Perencanaan Jalan rel Menggunakan Civil 3d



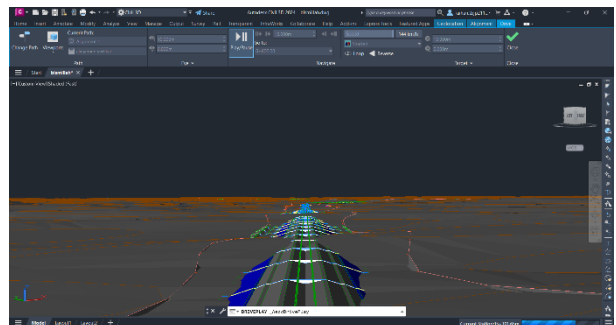
Gambar 7. Cross Section

Gambar 7 menunjukkan cross-section dengan ukuran potongan 25 meter di setiap jalur yang telah dibuat, yang menunjukkan bahwa sta 0+050 membutuhkan 1804,71 m³ tanah untuk galian.

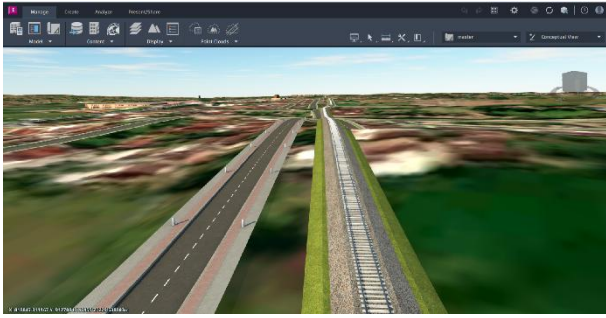


Gambar 8. Long Section

Pada gambar 8 terdapat gambar long section yang ada ditrase yang sudah dibuat pada aplikasi civil 3d. Pada gambar tersebut berada pada km 18+800 – 19+625 serta perpotongan kontur yang ada di gambar dengan keterangan cut atau galian dengan warna hijau, fill atau timbunan dengan warna merah, dan superelevation yang terdapat pada bagian bawah.



Gambar 9. Animasi Civil 3d



Gambar 10. Animasi Infraworks

Pada gambar 9 merupakan animasi dari aplikasi civil 3d dan pada gambar 10 merupakan animasi dari aplikasi infraworks. Dari kedua gambar terdapat perbedaan visual yaitu Pada aplikasi infraworks terlihat jelas 3 dimensinya daripada aplikasi Civil 3D. Pada aplikasi Civil 3D hanya terdapat kontur dan jalur rencana yang tidak dapat diperhalus, animasi Civil 3D tidak memaksimalkan hasil perencanaan, sedangkan aplikasi Infraworks menampilkan bangunan kota atau tata kota yang dapat dilihat dengan jelas, yang mempermudah perencanaan dan meningkatkan hasilnya. Perencanaan Komponen Jalan Rel

Pada trase yang terpilih dan direncanakan untuk proyek reaktivasi membutuhkan komponen jalan rel yang baru. Karena pada hasil survey kondisi komponen sudah tidak layak untuk digunakan kembali. Memperhatikan sisi spesifikasi jalan rel yang direncanakan adanya perubahan kelas jalan rel, radius lengkung, dan terutama komponen jalan rel. Perubahan yang terjadi pada jalur eksisting adanya perubahan jari – jari lengkung karena adanya peningkatan kecepatan pada KA. Jalur tersebut memiliki Panjang 22+150 km dengan 13 lengkung horizontal. rel, radius lengkung, dan terutama komponen jalan rel.

1. Rel

Tipe rel yang digunakan untuk proyek reaktivasi ini adalah tipe R54 sesuai dengan kelas jalan rencana yaitu kelas jalan 1.

Tabel 4. Perhitungan Komponen Rel

Komponen	Satuan	Jumlah
Panjang Jalur	Meter	22.100
Panjang Batang Rel	Meter	25
Jumlah Rel	Batang	1768

2. Bantalan

Jenis bantalan yang digunakan pada proyek reaktivasi adalah jenis bantalan beton. Mengacu pada PM. 60 Tahun 2012 tipe bantalan yang digunakan pada jalan rel kelas jalan 1 yakni bantalan beton dengan

spesifikasi (220 x 26 x 200 cm) dengan jarak tiap bantalan 60cm.

Tabel 5. Perhitungan Komponen Bantalan

Komponen	Satuan	Jumlah
Total Panjang Jalur	Meter	22.100
Jarak bantalan	Meter	0,06
Jumlah bantalan	Buah	36.833

3. Penambat

Jenis penambat yang dipakai pada trase yang terpilih dan kelas jalan 1 sesuai dengan PD No 10 Tahun 1986 adalah penambat tipe elastis (e clip). Pada 1 bantalan terdapat 4 buah penambat. Penambat berfungsi sebagai pengunci rel agar tidak bergerak saat sarana melintas.

Tabel 6. Perhitungan Komponen Penambat

Komponen	Satuan	Jumlah
Total Bantalan	Buah	36.833
Jumlah penambat/bantalan	Buah	4
Jumlah penambat	Buah	147.332

4. Drainase

Perencanaan drainase sangat penting untuk proyek pembangunan jalan rel, karena drainase sendiri bertujuan untuk mengalirkan air agar tidak masuk kedalam badan jalan yang mengakibatkan rusaknya komponen jalan rel. Untuk perencanaan reaktivasi ini jenis drainase yang dipilih adalah side ditch dengan dimensi 60 x 60 x 120mm. Penentuan jenis drainase sendiri berdasarkan penyesuaian dengan penggunaan lahan pada gambar desain autocad civil 3d.

Tabel 7. Perhitungan Komponen Drainase

Komponen	Satuan	Jumlah
Panjang Jalur	meter	22.100
Panjang Drainase	meter	1,2
Jumlah drainase	Buah	36.834

4.4 Kebutuhan Volume Galian Dan Timbunan

Tabel 8. Hasil Volume Galian dan Timbunan

KM	Total Volume Galian dan Timbunan					
	Fill Area (m3)	Cut Area (m3)	Fill Volume (m3)	Cut Volume (m3)	Cumulative Fill (m3)	Cumulative Cut (m3)
0+000	0,00	98,61	0,00	0,00	0,00	0,00
0+025	0,00	89,89	0,00	2356,27	0,00	2356,27
-	-	-	-	-	-	-
22+075	45,34	0,00	939,92	0,00	903092,84	869770,09
22+100	35,23	0,00	456,89	0,00	903549,73	869770,09
Total					903549,73	869770,09

Dari data kebutuhan volume cut and fill setiap 25 meter yang diperoleh dari perhitungan aplikasi civil 3d, hasil yang di dapatkan untuk galian sebesar 869.770,09 m³, sementara untuk volume timbunan sebesar 903.549,73 m³. Hasil tersebut untuk rencana jalur yang memiliki Panjang 22+100 km dengan kondisi trase sudah banyak berganti menjadi persawahan. Sehingga banyaknya galian untuk menemukan kembali tanah dasar pada perencanaan reaktivasi jalan rel lintas Bondowoso – Prajekan.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan pada bab IV, penulis dapat menyimpulkan bahwa:

1. Setelah dilakukannya survei lapangan didapatkan kesimpulan bahwa kondisi jalur kereta api eksisting lintas Bondowoso – Prajekan sebagian besar menjadi 46% persawahan, 35% perkebunan, dan 15% adalah permukiman warga, dan 4% adalah sungai yang dilintasi sebesar 4%.
2. Dari hasil survei yang dipadukan dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 11 Tahun 2012 tentang Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api maka perencanaan reaktivasi ini menggunakan trase eksisting.
3. Geometri pada jalur eksisting menggunakan 13 lengkung horizontal dengan jenis lengkung (SCS) atau lengkung peralihan. Terdapat peningkatan radius pada penelitian ini dikarenakan peningkatan kelas jalan 5 ke kelas jalan 1. Hal ini sangat berpengaruh pada kecepatan sarana yang melintas. Sedangkan untuk lengkung vertikal terdapat 11 kelandaian yakni 1,81 %, -1,34 %, -8,15 %, -1,32 %, -0,85 %, -6,41 %, -7,86 %, -9,9, -8,3 %, -7,78, -7,06 %. Kelandaian tersebut sudah sesuai dengan PM.60 Tahun 2012 yang mensyaratkan kelas jalan 1 maksimal 10%.
4. Setelah melakukan perhitungan kebutuhan komponen jalan rel yang digunakan untuk rencana reaktivasi ini adalah 1.768 batang rel, 36.833 buah bantalan, 147.332 buah penambat berjenis e-clip.

Dan drainase berjenis u-ditch sejumlah 36.834 buah.

5. Setelah melakukan perhitungan pada aplikasi civil 3d maka hasil volume galian dan timbunan diketahui. Besar galian yang dibutuhkan pada rencana reaktivasi adalah 869.770,09 m³ dan timbunan sebesar 903.549,73 m³. Pada penelitian ini terdapat galian dan timbunan yang sangat curam yaitu pada KM 1+135 – 1+145 terdapat sungai, KM 2+550 – 2+625 terdapat sungai, KM 11+475 – 11+625 terdapat sungai, KM 11+300 – 11+500 terdapat lembah, KM 14+100 – 14+500 terdapat lembah, KM 17+950 – 18+150 terdapat sungai, dan KM 19+100 – 19+350 terdapat Sungai.

Referensi

- [1] Aldi Wardana Yudha, A. A. (2020). Perencanaan reaktivasi jalur kereta api lintas Madiun - Dalopo, 986-997.
- [2] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (n.d.). Rencana Induk Perkeretaapian Nasional KP 2128. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- [3] Peraturan Dinas KA No.10. (n.d.). Perencanaan Kontruksi Jalan Rel. Bandung: PT. Kereta Api Indonesia (Persero).

- [4] Peraturan Menteri Perhubungan No. 11. (2011). Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- [5] Peraturan Menteri Perhubungan No. 60. (2012). Persyaratan Teknis Perkeretaapian. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- [6] Pos, R. I. (2022, Desember 14). djka.dephub.go.id. Retrieved from <https://djka.dephub.go.id/tetap-museum-atau-reaktivasi-jalur-ka>
- [7] Rosyidi, S. A. (2020). Rekayasa Jalan Kereta Api. Yogyakarta: Lembaga penelitian, publikasi dan pengabdian masyarakat Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [8] Undang - Undang Nomor 23 Tahun 2007. (2007). Tentang Perkeretaapian. Jakarta: Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- [9] Utomo, S. H. (2006). Jalan Rel. Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta Perum FT-UGM Yogyakarta.
- [10] Vendelstrand, L. &. (2017). Studi implementasi InfraWorks 360 bekerja sama dengan Revit dan AutoCAD Civil 3D Penggunaan BIM.
- [11] Wahyu Abdul Aziz, A. A. (2020). Perencanaan Reaktivasi Jalur Kereta Api Lintas Dalopo - Surodikraman, 998-1008.
- [12] H. Surakim, Konstruksi Jalan Rel dan Keselamatan Perjalanan Kereta Api. Badan Standardisasi Nasional, 2014. (Adya Aghastya, 2023)
- [13] Wahyu Tamtomo Adi, A. A. (2022). Comparison of UAV Drone and Online Terrain Model for Railway Route Planning. *Journal of Railway Transportation and Technology*, 20-27.
- [14] Adya Aghastya, R. P. (2023). A New Geometric Planning Approach For Railroads Based . RESEARCH ARTICLE.