



Received 29th January 2021
 Accepted 8th March 2021
 Published 11st March 2021

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v5.i1.407

Perencanaan Geometri Jalan Rel Trase Bakauheni – Sidomulyo

Nurwanda Sari^{1*}, Muhammad Abi Berkah Nadi², Akhmad Musalim Ridho³

¹Dosen Program Studi Teknik Perkeretaapian, Institut Teknologi Sumatera, Lampung

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Lampung

³Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Lampung

*Corresponding E-mail: nurwanda.sari@ka.itera.ac.id

Abstract: Bakauheni Port is one of the ports in Indonesia, which is located in the Bakauheni sub-district, South Lampung Regency. The use of road-based transportation is felt to be very effective and efficient in serving the delivery of road-based transportation needs which have a higher capacity and speed than road-based transportation. This research was conducted with the aim of designing the geometry of the Bakauheni-Sidomulyo rail road and designing the drainage of the railway road. The geometry of the rail road is designed based on the load of the cross which is derived from the amount of demand foresighting transport and the type of train that crosses it taking into account the factors of safety, comfort, economy and environment. The design of this railroad uses a railroad with road class I with double track and a track width of 1435mm along 39,173 km. This railroad is planned with 7 horizontal curves (with a radius of 1400m) using the Spiral Circle Spiral (SCS) and 6 vertical curves (with a minimum radius of 15736.5 m). The road structure consists of R60 rail, double elastic fastener, concrete bearing, ball thickness 30 cm and sub ballast 30 cm. The side drainage is uniform with a rectangular shape with dimensions of width x height, namely 50 x 30 cm, and height of guard 38.7 cm. The cross section of the culvert used is circular with a uniform diameter of 0.60m.

Keywords: Rail, Design, Geometric, Drainage, Wesel.

Abstrak: Pelabuhan Bakauheni merupakan salah satu pelabuhan di Indonesia yang berlokasi di kecamatan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. Penggunaan transportasi berbasis jalan rel dirasakan sangat efektif dan efisien dalam melayani tingginya tuntutan kebutuhan pergerakan dikarenakan transportasi berbasis jalan rel memiliki kapasitas dan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan transportasi berbasis jalan raya. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendesain geometri jalan rel Bakauheni-Sidomulyo dan mendesain drainase jalan rel. Geometri jalan rel didesain berdasarkan pada beban lintas yang merupakan turunan dari jumlah demand angkutan eksiting dan tipe kereta yang melintasinya dengan mempertimbangkan faktor keamanan, kenyamanan, ekonomi dan lingkungan. Pada perancangan jalan rel ini menggunakan jalan rel dengan kelas jalan I dengan double track dan lebar sepur 1435mm sepanjang 39,173 km. Jalan rel ini direncanakan dengan 7 lengkung horisontal (dengan jari-jari 1400m) yang menggunakan tipe lengkung Spiral Circle Spiral (SCS) dan 6 lengkung vertikal (dengan jari-jari minimum 15736,5 m). Struktur jalan rel ini terdiri dari rel R60, penambat elastic ganda, bantalan beton, tebal balas 30 cm dan sub balas 30 cm. Drainase samping di buat seragam dengan bentuk segi empat dengan dimensi lebar x tinggi yaitu 50 x 30 cm, tinggi jagaan 38,7 cm. Penampang gorong-gorong yang digunakan berbentuk lingkaran dengan diameter seragam sebesar 0,60m.

Kata Kunci : Rel, Perancangan, Geometri, Drainase, Wesel.

Pendahuluan

Sistem jaringan jalan rel di Indonesia masih sangat terbatas baik dari segi kualitas maupun segi kuantitas. Dengan panjang rute lebih kurang 4900 km di pulau Jawa dan hanya sekitar 2100 km di Sumatera, Indonesia masih sangat tertinggal dari negara – negara lain terutama di kawasan Asia. China memiliki ± 75.000 km jalan rel, Jepang memiliki panjang jalan rel 23.670 km [1]. Padahal apabila dianalisa moda transportasi jalan rel sangat menjanjikan. Hal ini sangat cocok dengan kondisi negara kita yang memiliki jumlah penduduk besar yakni 237.641.326 juta jiwa pada tahun 2010 [5]. Sebagai salah satu negara terbanyak penduduknya, moda transportasi jalan rel menjadi pilihan bagi masyarakat. Selain relatif murah, bisa digunakan untuk mengangkut penumpang orang dan barang dalam jumlah yang besar. Karena hampir 40% jumlah penduduk berada di pulau Jawa, maka mereka memiliki banyak pilihan moda transportasi. Kondisi jalan rel di pulau Jawa sendiri mengalami kemajuan yang signifikan di dibandingkan di Sumatera. Hal ini terbukti dengan pembangunan jalur dua arah (*double track*) yang sedang dilaksanakan, pemeliharaan rel secara berkala dan lain sebagainya [1].

Pelabuhan Bakauheni merupakan salah satu pelabuhan di Indonesia yang berlokasi di kecamatan Bakauheni, Kabupaten Lampung Selatan. Pelabuhan ini merupakan salah satu pelabuhan yang terpadat di Indonesia. Dalam melayani tingginya kebutuhan pergerakan antara kota Bandar Lampung dan Pelabuhan Bakauheni diperlukan moda transportasi lain yang lebih efektif, efisien dan ramah lingkungan. Penggunaan transportasi berbasis jalan rel dirasakan sangat efektif dan efisien dalam melayani tingginya tuntutan kebutuhan pergerakan dikarenakan transportasi berbasis jalan rel memiliki kapasitas dan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan transportasi berbasis jalan raya. Oleh karena itu, penulis akan mencoba mendesain geometri jalan rel trase Bakauheni- Sidomulyo sepanjang $\pm 39,2$ km.

Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan penelitian sebelumnya sebagai acuan dalam mengetahui Kriteria

Perancangan. Dengan acuan beberapa penelitian terlebih dahulu sebagai berikut :

Tabel 2. Penelitian acuan

No.	Nama Penulis	Judul	Indikator	Pembahasan
1.	Vicho Pebiandi	Perencanaan Geometri Jalan Rel Kereta Api Trase Kota Pinang Menggala Pada Ruas Rantau Prapat - Duri II Provinsi Riau. (2011)	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi • Tujuan • Tarif • Kenyamanan • Waktu Tempuh 	Pemilihan trase, perencanaan geometrik, perencanaan konstruksi jalan rel dan analisa volume timbunan.
2.	Triska Wasanta	Perancangan Jalan Rel Smpang – Mariana Dengan Lebar Sepur 1435 mm (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi • Tujuan • Muatan Batubara • Tarif • Kenyamanan • Waktu Tempuh 	Merencanakan geometri jalan rel, struktur jalan rel, sistem drainase, emplasemen dan wesel Smpang – Mariana dengan lebar sepur 1435 mm
3.	Priyo Atmaji	Perencanaan Jalan Rel Smpang – Mariana Dengan Lebar Sepur 1067 mm (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Efisiensi • Tujuan • Muatan Batubara • Tarif • Kenyamanan • Waktu Tempuh 	Merencanakan geometri jalan rel, struktur jalan rel, sistem drainase, emplasemen dan wesel Smpang – Mariana dengan lebar sepur 1067 mm.

Metodologi Penelitian

Metodologi adalah alur atau langkah-langkah pengerjaan penelitian untuk dapat mencapai tujuan tugas akhir ini, yaitu desain alinyemen dan komponen pendukung jalan rel bakauheni–Sidomulyo. Secara garis besar, proses perencanaan dapat dibagi menjadi 3 bagian besar, yaitu perancangan geometrik (meliputi alinyemen horisontal dan vertikal), perencanaan struktur, dan perencanaan emplasemen & wesel. Geometri jalan rel didesain berdasarkan pada beban lintas yang merupakan turunan dari jumlah demand angkutan eksiting dan tipe kereta yang melintasinya dengan mempertimbangkan faktor keamanan, kenyamanan, ekonomi dan lingkungan. Metodologi pengerjaan tugas akhir ini dapat di jelaskan oleh diagram alir pada **Gambar.1**



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

a. Kriteria Perancangan

Dalam pengerjaan perancangan geometri jalan rel ini dibutuhkan kriteria perancangan untuk mengetahui parameter-parameter dan batasan-batasan yang dibutuhkan [6].

- **Kebutuhan Kereta**

Dalam perancangan ini terdapat 2 jenis kereta yang digunakan yaitu kereta penumpang dan kereta barang.

1. Kereta Penumpang

Dalam penentuan jumlah kereta diasumsikan berdasarkan jumlah terbesar antara jumlah keberangkatan dan kedatangan penumpang di Pelabuhan Bakauheni. *Demand* penumpang kapal di Pelabuhan Bakauheni berdasarkan proyeksi data dari tahun 2012-2017 sebagai berikut:

Tabel 2. Data Jumlah Penumpang Kapal Terbesar di Pelabuhan Bakauheni

Tahun	Jumlah Kedatangan (penumpang)	Jumlah Keberangkatan (penumpang)	Jumlah Penumpang Terbesar (Penumpang)	Persentase (%)
2012	1398765	1294624	1398765	
2013	1459320	1236154	1459320	4%
2014	1274275	1154491	1274275	-13%
2015	1335463	1281802	1335463	5%
2016	1396650	1664454	1664454	25%
2017	1438550	1731240	1731240	4%

Sumber: BPS Lampung

Pertumbuhan jumlah penumpang terbesar didapati bervariasi setiap tahunnya mulai dari -13% hingga 25%. Adapun jumlah penumpang kapal terbesar sempat mengalami penurunan pada tahun 2014 dan 2017.

2. Kereta Barang

Dalam penentuan jumlah kereta diasumsikan berdasarkan tonase angkutan batubara dan pulp di Provinsi Lampung. Produksi batubara dan pulp dari tahun 2015-2019 Provinsi Lampung sebagai berikut:

Tahun	Batubara (Ton/Tahun)	Pertumbuhan	Pulp (Ton/Tahun)	Pertumbuhan
2015	13497100		172506,902	
2016	14706099	9%	215781,278	25%
2017	18261978	24%	259034,195	20%
2018	19670165	8%	302265,770	17%
2019	20783148	6%	345475,830	14%

Sumber: Laporan Tahunan 2015-2019 PT Bukit Asam

Kebutuhan angkutan batu bara di daerah Sumatera Selatan dan sekitarnya dari tahun ketahun semakin meningkat. Batu bara diangkut dari tambang-tambang menuju Tarahan di Lampung. Pertumbuhan angkutan batubara didapat bervariasi setiap tahunnya mulai dari 6% hingga 24% dan angkutan pulp mulai dari 14% hingga 25%.

Berdasarkan data diatas, maka dapat diketahui jumlah produksi batubara dan pulp per hari sebagai berikut.

Tabel 3. Data Jumlah Penumpang Kapal Terbesar di Pelabuhan Bakauheni

Tahun	Batubara (Ton/Hari)	Pulp (Ton/Hari)
2019	69277,16	1151,58
2020	77471,107	1295,54
2025	109943,80	2014,29
2030	142336,41	2731,26
2035	174649,34	3446,47

Adapun asumsi yang akan digunakan untuk menghitung kebutuhan trip per hari adalah:

- Kebutuhan angkutan batubara = 174649,34 ton/hari (Tahun 2035)
- Kebutuhan angkutan Pulp 3446,47 ton/hari (Tahun 2035)
- Berat kosong gerbong = 22 ton
- Waktu kerja 300 hari kerja
- Kapasitas muat gerbong (Batubara) = 70 ton
- Kapasitas muat gerbong (Pulp) = 1167 ton
- Waktu pengoperasian = 24 jam
- Jumlah gerbong (Batubara) = 60 gerbong/rangkaian, berdasarkan kereta batubara di Provinsi Lampung.
- Jumlah gerbong (Pulp) = 32 gerbong/rangkaian, berdasarkan kereta barang angkutan pulp di Provinsi Lampung.

Tabel 4. Kebutuhan Banyak Gerbong Per Hari

Tahun	Kebutuhan banyaknya gerbong per hari (Batubara)	Jumlah Rangkaian per hari (batubara)	Kebutuhan banyaknya gerbong per hari (Pulp)	Jumlah Rangkaian per hari (Pulp)
2019	990	17	1	1
2020	1107	19	2	1
2025	1571	27	2	1
2030	2034	34	3	1
2035	2495	42	3	1

Maka, berdasarkan proyeksi kebutuhan pergerakan angkutan batubara di tahun 2035 dibutuhkan 42 trip/hari dan pergerakan angkutan pulp di tahun 2035 dibutuhkan 1 trip/hari.

Daya Angkut yang Dibutuhkan

Sebelum melakukan perancangan geometri jalan rel perlu diketahui terlebih dahulu kelas jalan rel yang akan dirancang. Trase Bakauheni - Sidomulyo direncanakan hanya untuk angkutan penumpang dan barang, sehingga kebutuhan daya angkut lintas dapat dicari berdasarkan jumlah trip kereta pelabuhan yang direncanakan dan total berat produktivitas barang.

Kereta Pelabuhan akan mengikuti formasi seperti Kereta Api Rajabasa No. S1 dengan spesifikasi lokomotif CC204 (84 ton), kereta eksekutif K1 (40 ton), kereta ekonomi K3 (37 ton), kereta makan pembangkit KMP3 (40 ton).

- Kriteria Perancangan

Perancangan jalan rel trase Bakauheni – Sidomulyo akan didasarkan pada batasan-batasan berikut:

Parameter	Batasan/Kebutuhan
Kelas jalan rel	Kelas 1
Jumlah Jalur	Jalur ganda (<i>double track</i>)
Lebar sepur	1435 mm
Kecepatan rencana	160 km/jam
Jari-jari lengkung horisontal	Minimal 2370 m (tanpa LS) Minimal 780 m (dengan LS)
Landai maksimum	10‰
Jari-jari lengkung vertikal	Minimal 8000 m

Titik Awal dan Akhir

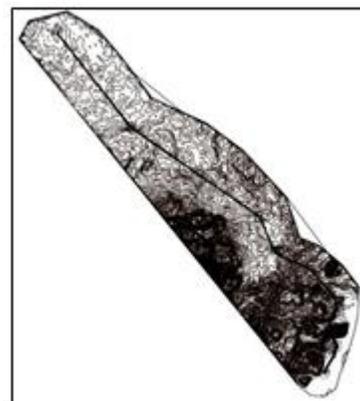
Titik awal STA 0+000 pada perancangan jalan rel ini terdapat pada koordinat (583677,115; 9351634,854; 0). Sedangkan titik akhir STA 39+173,40 terdapat pada

koordinat (561608,628; 9379803,338; 0).

Perancangan Alinyemen Horisontal

- Penentuan titik PI (Point of Intersection)

Dalam perencanaan alinyemen horisontal jalan rel, diperlukan penentuan titik PI (Point of Intersection) terlebih dahulu. Titik-titik PI yang telah ditentukan akan menjadi patokan dalam mendesain alinyemen horisontal dengan memperhatikan persyaratan jari-jari minimum yang dibutuhkan.



- Jarak PI dan Sudut Tikungan

Jarak antara PI dihitung dengan perhitungan kuadrat sederhana sebagai berikut :

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

- Klasifikasi Lintas

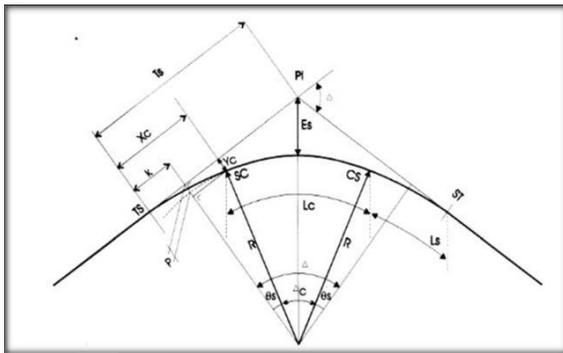
Klasifikasi lintas didasarkan pada kelandaian dari sumbu rel. Pengukuran kriteria lintas dilakukan dengan cara melihat kemiringan penampang tegak lurus terhadap arah jalan rel. Sampel diambil tiap 100 meter dengan lebar sepanjang 40 meter (20 meter ke arah kiri dan 20 meter ke arah kanan jalan rel). Perhitungan kemiringan dihitung dari dua titik, elevasi ujung kiri (e1) dan ujung kanan (e2) dari garis 40 m. Dari total keseluruhan kemiringan tiap segmen diambil nilai rata-rata kemiringan sebagai penentu klasifikasi lintas jalan rel. Kemiringan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$g = \frac{|e_2 - e_1|}{4U} \times 1000$$

Perancangan Alinyemen Horizontal

Berdasarkan perancangan trase yang sudah dibuat dapat ditentukan jari-jari tikungan yang menghasilkan desain geometri yang berada di dalam koridor acuan trase. Tipe lengkungan yang digunakan pada alinyemen horizontal perancangan jalan rel adalah Spiral Circle Spiral (SCS). Adapun contoh perhitungan pada komponen tikungan pada PI-1 sebagai berikut :

1. Data kecepatan rencana dengan lebar sepur 1435 mm
 - Kecepatan Operasi : 90 km/jam
 - Kecepatan maks kelas jalan I : 160 km/jam
2. Kecepatan rencana untuk perancangan jari- jari lengkung dan lengkung peralihan Vrencana= Vmaks = 160 km/jam
3. Perancangan jari-jari horizontal
 - Rmin = 0,08 x V2 = 0,08 x 1602 = 2048 m
 - Rmin = 0,054 x V2 = 0,054 x 1602 = 1382,4m



Komponen Lengkung Horizontal Tipe SCS

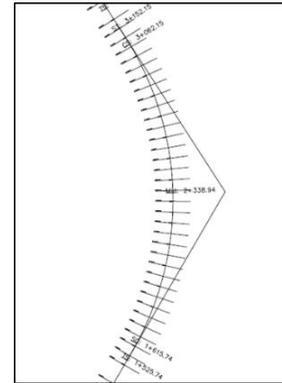
Detail Tikungan

Berikut adalah hasil tikungan hasil dari desain lengkung horizontal.

TikunganPI-1

R= 1400m

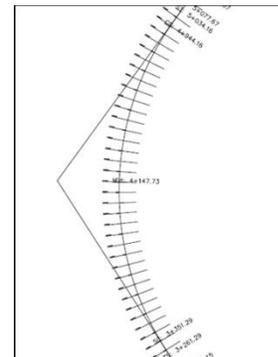
Δ= 117,12°



Tikungan PI-2

R= 1400m

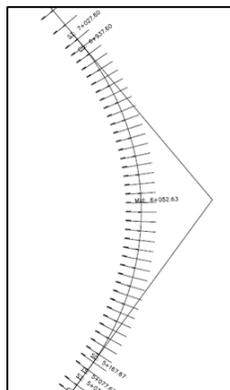
Δ= 111,1°



Tikungan PI-3

R= 1400m

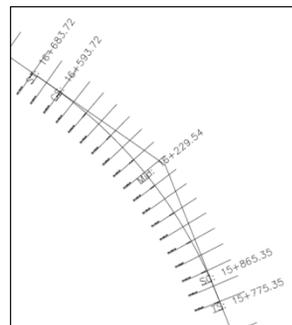
$\Delta = 103,9^\circ$



Tikungan PI-6

R= 1400m

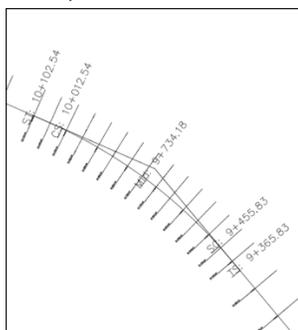
$\Delta = 146,5^\circ$



Tikungan PI-4

R= 1400m

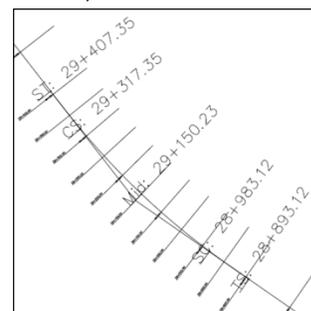
$\Delta = 153,5^\circ$



Tikungan PI-7

R= 1400m

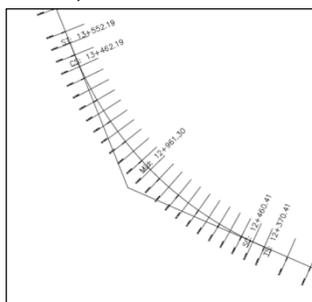
$\Delta = 162,6^\circ$



Tikungan PI-5

R= 1400m

$\Delta = 135,3^\circ$



Stationing

Station dari titik-titik penting dapat dilakukan dengan menggunakan data hasil perhitungan tikung. Titik penting seperti awal lengkung, akhir lengkung, lengkung lingkaran dan akhir station. Hasil perhitungan stationing tikungan dapat dilihat pada Tabel :

Stationing			
Titik	STA	titik	STA
BP	0+000,00		
PI-1	2+338,94	PI-5	12+961,30
TS	1+525,74	TS	12+370,41
SC	1+615,74	SC	12+460,41
CS	3+062,15	CS	13,462,19
ST	3+152,15	ST	13,552,19

Stationing			
Titik	STA	titik	STA
PI-2	4+147,73	PI-6	16+229,54
TS	3+261,29	TS	15+775,35
SC	3+351,29	SC	15+865,35
CS	4+944,16	CS	16+593,72
ST	5+034,16	ST	16+683,72
PI-3	6+052,63	PI-7	29+150,23
TS	5+077,67	TS	28+893,12
SC	5+167,67	SC	28+983,12
CS	6+937,60	CS	29,317,35
ST	7+027,60	ST	29+407,35
PI-4	9+734,18	EP	39+173,40
TS	9+365,83		
SC	9+455,83		
CS	10+012,54		
ST	10+102,54		

Perancangan Alinyemen Vertikal

Dalam perancangan alinyemen vertikal, diperlukan data topografi tanah eksisting pada trase yang telah direncanakan. Perancangan alinyemen vertikal memberikan gambaran volume galian dan timbunan yang akan direncanakan. Perancangan alinyemen vertikal dibuat agar meminimalkan jumlah volume galian dan timbunan yang dibutuhkan.

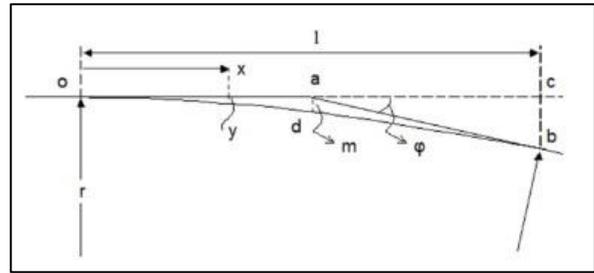
Landai Penentu

Landai penentu adalah suatu kelandaian yang terbesar yang ada pada suatu lintas lurus [2][3]. Pada perancangan jalan rel Bakauheni-Sidomulyo ini memiliki kelas jalan I, Berdasarkan Tabel 2.8. sehingga dalam perancangan ini menggunakan landai penentu maksimum sebesar 10 %.

Lengkung Vertikal

Lengkung vertikal merupakan proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel [2][3]. Dalam perancangan besar jari-jari minimum lengkung vertikal bergantung pada besar kecepatan rencananya. Maka, pada perancangan jalan rel ini digunakan $R=8000$ m sebagai jari-jari minimum lengkung vertikalnya. Untuk menghitung

panjang lengkung vertikal dan dimensi lengkung vertikal dapat mengikuti seperti pada gambar berikut :



Perancangan Perpotongan

Dalam perancangan alinyemen vertikal jalan rel ini, ada beberapa perpotongan jalan rel dengan sungai maupun jalan raya utama yang perlu diperhatikan. Perpotongan jalan rel dengan sungai maupun jalan raya akan difasilitasi dengan jembatan. Elevasi jembatan untuk sungai kecil didesain dengan terlebih dahulu menghitung tinggi muka air banjir pada sungai ditambah tinggi jagaan (freeboard) sebesar 1 m (mengacu pada PM 28 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api), sedangkan elevasi jembatan untuk sungai besar didesain dengan memperhatikan tinggi jagaan untuk kapal melintas sebesar maksimum 5m dari tinggi muka air banjir sungai tersebut. Elevasi jembatan untuk jalan raya didesain dengan tinggi jagaan (clearance) sebesar 5m dari jalan (mengacu pada Standar Konstruksi dan Bangunan yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga). Lokasi jembatan yang di rencanakan pada perancangan alinyemen vertikal jalan rel ini dapat dilihat pada tabel berikut :

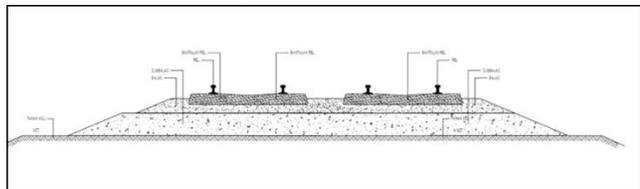
No.	Lokasi	Panjang (m)	Keterangan	Perlindungan
1	STA 7+650 - 7+670	20	Sungai	Jembatan
2	STA 10+185 - 10+210	15	Sungai	Jembatan
3	STA 10+635 - 10+651	25	Sungai	Jembatan
4	STA 15+279 - 15+304	25	Sungai	Jembatan
5	STA 19+949 - 19+969	20	Sungai	Jembatan
6	STA 34+650 - 34+675	25	Sungai	Jembatan

Desain Stuktur Jalan Rel

Struktur jalan rel adalah struktur elastis yang harus cukup kuat untuk menahan beban kereta api yang kemudian harus ditransfer ke tanah dasar [2][3]. Perancangan struktur jalan rel secara garis besar dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Struktur bagian atas dengan komponen rel, penambat, dan bantalan.
2. Struktur bangunan bawah dengan komponen balas, sub balas, tanah dasar, dan tanah asli.

Desain struktur jalan rel dimulai dari paling atas dari desain rel, kemudian desain penambat, desain bantalan, lalu desain balas, desain subbalas, dan lapis dasar beserta drainasenya. Gambar komponen-komponen struktur jalan rel dapat dilihat pada gambar berikut :



Secara garis besar struktur jalan rel harus dapat menjamin keamanan, kenyamanan, umur teknis dan geometri dan sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang ada di dalam peraturan (PD 10). Adapun beberapa hal yang merupakan aspek penting dan harus dipenuhi oleh struktur jalan rel adalah:

1. Kekakuan (stiffness), untuk menjaga deformasi vertikal, dimana deformasi vertikal ini merupakan indikator utama dari umur, kekuatan dan kualitas jalan rel [4]. Deformasi vertikal yang berlebihan akan menyebabkan geometri jalan rel tidak baik dan keausan yang besar diantara komponen-komponen struktur jalan rel.
2. Elastisitas (Resilience), diperlukan untuk kenyamanan perjalanan kereta api, menjaga patahnya as, roda, meredam kejutan, impact, getaran vertikal [4]. Jika jalan rel terlalu kaku misalnya dengan pemakaian bantalan beton, maka untuk menjamin elastisitas diperlukan alas karet (rubber pads) yang dipasang dibawah kaki rel.
3. Ketahanan terhadap deformasi tetap, deformasi vertikal yang berlebihan akan cenderung menjadi deformasi tetap, sehingga geometri jalan rel (ketidakrataaan vertikal, horisontal dan puntir) menjadi tidak baik, yang pada akhirnya kenyamanan dan keamanan menjadi terganggu.
4. Stabilitas, Jalan rel yang stabil adalah mampu tetap pada posisi semula (vertikal dan horisontal) setelah pembebanan terjadi [4]. Untuk ini dibutuhkan balas dengan mutu dan kepadatan yang baik, bantalan dengan penambat yang selalu terikat, dan drainase yang baik.
5. Adjustability, Jalan rel harus bisa diatur/dipelihara untuk dikembalikan ke posisi geometri yang benar, jika terjadi perubahan geometri karena beban yang berjalan[4].

Struktur Bangunan Atas

Struktur bangunan atas terdiri atas beberapa komponen-komponen yaitu:

1. Rel, yang akan digunakan adalah dari jenis rel tahan aus yang sejenis dengan rel UIC-WRA. Dikarenakan lebar sepur yang digunakan adalah 1435mm dan kelas jalan rel I, maka jenis tipe rel yang digunakan adalah tipe rel R-60 dengan berat minimal tidak kurang dari 60 kg/m.
2. Penambat rel adalah suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sedemikian rupa sehingga kedudukan rel adalah tetap, kokoh dan tidak bergeser [2]. Penambat juga berfungsi sebagai alat penghubung antara rel dan bantalan yang mampu menahan beban baik dari beban kereta atau beban cuaca. Jenis penambat yang digunakan dalam perancangan jalan rel Bakauheni – Sidomulyo ini adalah penambat jenis elastis ganda (pandrol).
3. Bantalan merupakan salah satu komponen struktur bangunan atas jalan rel yang berfungsi untuk meneruskan beban kereta api dan berat konstruksi jalan rel dari rel ke balas, dan mempertahankan lebar sepur & stabilitas ke arah luar jalan rel [2]. Tipe bantalan yang dipilih pada perancangan jalan rel Bakauheni- Sidomulyo ini adalah bantalan beton prategang. Bantalan beton, dipergunakan di atas balas di sepanjang jalan rel. Beberapa pertimbangan yang terkait dengan penggunaan bantalan beton adalah faktor ketahanan, faktor workability, dan faktor ekonomi pemeliharaan.

Struktur Bangunan Bawah

1. Balas dan Sub Balas, Lapisan balas memiliki fungsi untuk meneruskan dan menyebarkan beban bantalan

ke tanah dasar, memperkokoh kedudukan bantalan dan mengalirkan air (hujan) sehingga tidak terjadi genangan air disekitar rel dan bantalan. Balas direncanakan dari batu pecah (crushed rock) yang keras dan bersudut tajam dengan ukuran antara 2-6 cm.

Sedangkan sub balas terdiri dari kerikil halus, kerikil sedang atau pasir. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan penyaring (filter) antara tanah dasar dan lapisan balas dan harus mengalirkan air dengan baik. Pada Desain jalan rel Bakauheni – Sidomulyo masuk dalam kelas jalan rel I. Sehingga tebal lapisan balas dan sub balas mengikuti pada PM 60 Tahun 2012 seperti pada tabel berikut:

Kelas Jalan	Vmaks	d1 (cm)	b (cm)	c (cm)	k1 (cm)	d2 (cm)	e (cm)	k2 (cm)
I	120	30	150	235	265	15-50	25	375
II	110	30	150	235	265	15-50	25	375
III	100	30	140	235	240	15-50	22	325
IV	90	30	140	215	240	15-35	20	300
V	80	30	135	210	240	15-35	20	300

Galian dan Timbunan

Mengacu pada Standar Teknis Kereta Api Indonesia untuk Pekerjaan Tanah oleh Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perkeretaapian, timbunan didesain sebagai berikut:

- Kemiringan lereng 1:2
- Terdapat berm pada batas Antara timbunan atas dan timbunan bawah (pada setiap kedalaman 3 m).

Pada perancangan jalan rel Bakauheni – Sidomulyo ini volume timbunan dan galian tanah yang didapatkan dari Software Autocad Civil 3D adalah sebesar 11.999.335,36 m³ dan volume galian tanah total adalah sebesar 15.419.682,99 m³.

Desain Drainase Jalan Rel

Data hujan yang diambil dari stasiun hujan yang berada di wilayah DAS terkait. Stasiun Hujan tersebut adalah Klaten, Palas, Bumi Asri, Tanjung Bintang, Katibung, Panengahan, Pulau Tengah. Dari tujuh stasiun tersebut, diambil nilai rata-rata curah hujan maksimum secara aritmatika, untuk mendapatkan curah hujan maksimum regional untuk perancangan jalan rel. Data curah hujan harian maksimum yang diambil adalah dalam kurun waktu 10 tahun, yaitu

mulai tahun 2010 hingga tahun 2019. Data curah hujan maksimum selama 10 tahun dari 7 stasiun adalah sebagai berikut:

Tahun	Curah Hujan Maksimum Harian Rata-rata (mm)
2010	222
2011	201
2012	45
2013	68
2014	35
2015	39
2016	33
2017	68
2018	40
2019	77

Dalam pengolahan data curah hujan maksimum digunakan pendekatan Log Pearson III. Periode ulang dalam perancangan jalan rel menggunakan periode ulang selama 10 tahun. Hasil perhitungan dengan pendekatan Log Pearson III ditampilkan dalam tabel berikut :

Tahun	Curah Hujan Maksimum Harian Rata-rata	log x	(Log Xr-Log X)	(log Xr-Log X) ²	(log Xr-Log X) ³	(log Xr-Log X) ⁴
2010	221,86	2,3460734	0,5365705	0,2879079	0,1544829	0,0828910
2011	200,86	2,3028873	0,4933844	0,2434281	0,1201036	0,0592573
2019	77,25	1,8878985	0,0783956	0,0061459	0,0004818	0,0000378
2013	67,50	1,8293038	0,0198009	0,0003921	0,0000078	0,0000002
2017	67,50	1,8293038	0,0198009	0,0003921	0,0000078	0,0000002
2012	44,55	1,6488477	-0,1606552	0,0258101	-0,0041465	0,0006662
2018	40,00	1,6020600	-0,2074429	0,0430326	-0,0089268	0,0018518
2015	39,00	1,5910646	-0,2184383	0,0477153	-0,0104228	0,0022767
2014	34,60	1,5390761	-0,2704268	0,0731307	-0,0197765	0,0053481
2016	33,00	1,5185139	-0,2909890	0,0846746	-0,0246394	0,0071698

Pengolahan Debit Aliran Rencana

Desain drainase yang dibuat adalah untuk segmen-segmen tubuh jalan rel yang berada pada daerah galian agar aliran air dari lahan sekitar yang lebih tinggi elevasinya tidak menggenangi jalan rel. Sedangkan untuk daerah timbunan memanfaatkan kemiringan lereng/talud timbunan tubuh jalan rel tersebut untuk mengalirkan air ke saluran drainase.

KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat ditarik sebagai kesimpulan setelah melakukan berbagai analisis dari bab-bab sebelumnya diantaranya adalah :

1. Geometri Jalan Rel
 - a. Alinyemen Horizontal
Perancangan alinyemen horizontal membutuhkan 7 tikungan dengan menggunakan tipe lengkung SCS. Setiap tikungan mempunyai jari-jari sebesar 1400m, dengan peninggian rel 75 mm dan panjang lengkung peralihan sebesar 90 meter
 - b. Alinyemen Vertikal
Perancangan lengkung vertikal menggunakan landai penentu maksimum sebesar 10 %. Perancangan lengkung vertikal ini menghasilkan 6 lengkung vertikal dengan jari-jari lengkung vertikal berturut-turut dari lengkung 1 hingga 6 yaitu 17390m, 21529m, 20979m, 185295m, 28356m, dan 15737m
2. Struktur dan Drainase Jalan Rel
 - a. Struktur Jalan Rel
Perancangan struktur jalan rel lintas Bakauheni-Sidomulyo yang meliputi struktur atas dan struktur bawah, menghasilkan desain struktur sebagai berikut.
 - Struktur bangunan atas menggunakan Rel R60, bantalan beton dengan dimensi panjang 2740 mm x 330 mm x 220 mm. Jarak antar bantalan adalah 60 cm untuk sepanjang *track*. Penambat menggunakan jenis elastis ganda (pandrol).
 - Struktur bangunan bawah menghasilkan tebal balas (d1) 30 cm, lebar balas (k1) 265 cm, tebal sub balas (d2) 30 cm. Total volume timbunan sebesar 11.999.335,36 m³ dan volume galian tanah total adalah sebesar 15.419.682,99 m³.
 - b. Drainase Jalan Rel
Didapatkan dari hasil perhitungan dimensi drainase samping yang berbeda-beda, sehingga untuk memudahkan pembangunan ditentukan dimensi drainase samping paling besar untuk memenuhi semua kriteria debit

yang masuk untuk masing-masing segmen yaitu untuk saluran samping kanan dan kiri dengan dimensi lebar x kedalaman (b x h) = 0,5 m x 0,3 m dan tinggi jagaan (w) = 0,387 m. Penampang gorong-gorong yang digunakan berbentuk lingkaran dengan diameter seragam sebesar 0,60m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pebiandi, Vicho. 2011. *Perencanaan Geometri Jalan Rel Kereta Api Trase Kota Pinang Menggala Pada Ruas Rantau Prapat - Duri II Provinsi Riau*. FTSL. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- [2] PJKA. 1986. *Peraturan Perencanaan Konstruksi Jalan Rel. (peraturan Dinas No.10)*. Bandung.
- [3] *Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2019 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Kementerian Perhubungan. Jakarta.
- [4] Wasanta, Tilaka. 2015. *Perencanaan Jalan Rel Simping – Mariana Dengan Lebar*
- [5] https://www.bps.go.id/statictable/2009/02/20/1_267/penduduk-indonesia-menurut-provinsi-1971-1980-1990-1995-2000-dan-2010.html di akses pada 1 april2020 pukul 21.00