

# Perancangan Geometri Jalan Kereta Api Penajam Paser Utara–Balikpapan, Kalimantan Timur

Lulu Mumtaza Kaysa dan Budi Rahardjo  
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail:* budirahardjo.sipil.its@gmail.com

**Abstrak**—Kalimantan Timur memiliki potensi hasil pertambangan yang melimpah, khususnya minyak bumi dan gas alam. Namun, potensi sumber daya yang melimpah ini masih belum dioptimalkan dengan infrastruktur yang ada, termasuk sektor transportasi. Pembangunan sektor transportasi harus berorientasi pada kebutuhan manusia, bukan pada kepentingan mobilitas kendaraan pribadi. Kereta api menjadi salah satu solusi yang tepat karena memiliki kapasitas angkut yang besar, cepat, aman, hemat energi, dan ramah lingkungan serta membutuhkan lahan yang relatif sedikit. Hal ini juga didukung oleh Kementerian Perhubungan (Kemenhub) yang berencana menyiapkan moda transportasi massal untuk menghubungkan wilayah Ibu Kota dengan wilayah penyangga, terutama dari pintu masuk Kalimantan Timur, salah satunya Kota Balikpapan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan jalur kereta api yang tepat sesuai dengan kondisi topografi dan persyaratan yang ada. Dengan memerhatikan data sekunder seperti peta topografi, data kereta api, lokomotif, dan bantalan maka dapat dilakukan penentuan trase rencana yang mengacu pada RIPNas 2030. Berdasarkan perancangan geometrik jalan rel yang berupa lengkung horizontal dan vertikal, perencanaan konstruksi jalan rel menggunakan PM No.60 Tahun 2012 dan PD No.10 PJKA Tahun 1986 didapatkan hasil perancangan geometrik jalan kereta api Penajam Paser Utara – Balikpapan dengan panjang jalur 77,215 km menggunakan kecepatan rencana 80 km/jam. Desain lengkung horizontal menggunakan jenis S-C-S untuk 43 tikungan dengan jari-jari minimum 350 m. Pada analisis konstruksi jalan rel, jalur ganda Penajam Paser Utara – Balikpapan termasuk kategori kelas jalan III yang didesain menggunakan jenis rel R54 dengan lebar sepur 1.435 mm. Bantalan yang digunakan yaitu bantalan beton dengan penambat elastis ganda tipe E-Clip dan jarak antar bantalan 60 cm serta dengan tebal lapisan balas 30 cm dan subbalas 45 cm.

**Kata Kunci**—Balikpapan, Jalan Rel, Kereta Api, Konstruksi Jalan Rel, Penajam Paser Utara.

## I. PENDAHULUAN

PROVINSI Kalimantan Timur memiliki potensi sumber daya alam melimpah dimana sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal. Terdapat banyak sumber daya alam dan hasilnya yang diekspor keluar negeri, seperti pertambangan khususnya minyak bumi dan gas alam. Minyak bumi dan gas alam memiliki pengaruh yang sangat besar dalam perekonomian Kalimantan Timur dan Indonesia. Selain pertambangan, perkebunan juga cukup mendominasi karena ada beberapa wilayah di Kutai pedalaman terdapat perkebunan kelapa sawit, serta sumber daya kehutanan dan hasil lainnya [1].

Pada tahun 2019, Provinsi Kalimantan Timur kembali menjadi pusat perhatian. Hal ini berdasarkan konferensi pers “Pemindahan Ibu Kota Negara ke Kalimantan Timur” di Istana Negara, Jakarta, Senin, 26 Agustus 2019, Presiden

Joko Widodo mengatakan lokasi Ibu Kota baru akan berada di Kabupaten Penajam Paser Utara dan Kabupaten Kutai Kartanegara. Dimana akan ada 1,5 juta Aparatur Sipil Negara (ASN) yang akan eksodus. Proses pembangunan Ibu Kota baru akan membutuhkan suplai material dan barang ke Provinsi Kalimantan Timur, yang mengakibatkan peningkatan perdagangan dari provinsi lain ke Kalimantan Timur.

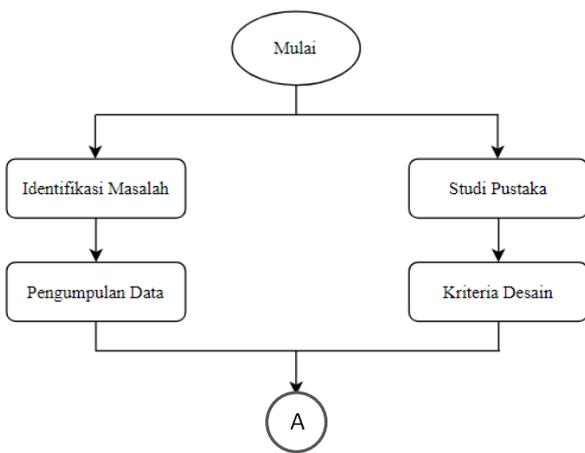
Di tengah persiapan pembangunan Ibu Kota Negara baru ini, Kementerian Perhubungan (Kemenhub) berencana menyiapkan moda transportasi massal untuk menghubungkan wilayah Ibu Kota dengan wilayah penyangga, terutama dari pintu masuk Kalimantan Timur, salah satunya Kota Balikpapan.

Sebagai pintu masuk Ibu Kota, keberadaan moda transportasi dari dan ke Balikpapan menjadi sangat penting. Hal ini dikarenakan sektor transportasi merupakan sektor yang memberi dukungan terhadap hampir semua sektor lainnya, khususnya bagi kegiatan ekonomi masyarakat. Saat ini, sektor transportasi diarahkan pada moda-moda yang ramah lingkungan. Kereta api dapat menjadi alternatif pilihan untuk moda transportasi berbasis ramah lingkungan. Transportasi perkeretaapian mempunyai banyak keunggulan dibanding moda transportasi lainnya, antara lain: kapasitas angkut besar (massal), cepat, aman, hemat energi, dan ramah lingkungan serta membutuhkan lahan yang relatif sedikit [2].

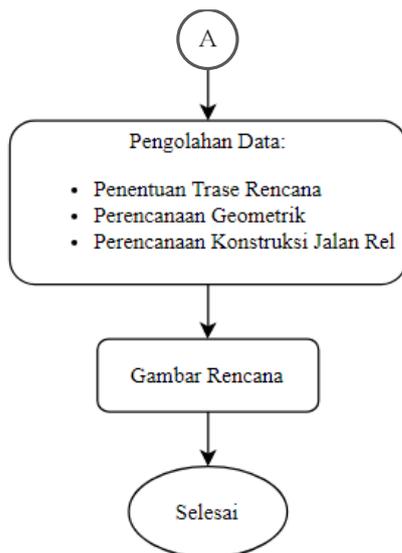
Pada tahun 2015 Pemerintah telah memprogramkan percepatan pembangunan perkeretaapian tahun 2015-2019 yang tidak hanya meliputi jaringan kereta api di Pulau Jawa dan Sumatera yang telah ada saat ini, juga di Pulau Kalimantan, Sulawesi, dan Papua dalam upaya pemerataan pembangunan. Sejalan dengan hal ini, Presiden Joko Widodo telah mengusulkan pembangunan kereta api Kalimantan Timur sebagai Proyek Prioritas [3]. Selain itu, PT. Kereta Api Borneo telah mengajukan permohonan perubahan status dari kereta api khusus menjadi kereta api umum, hal ini memungkinkan PT. Kereta Api Borneo untuk mengangkut penumpang dan barang non-afiliasi seperti minyak kelapa sawit dan kayu.

Kalimantan Timur mempunyai topografi yang bergelombang dari kemiringan landai sampai curam. Sebagian besar atau 43,35% wilayah daratan mempunyai alinemen kelayakan vertikal yang cukup ekstrim diatas 40% dan 43,22% terletak pada ketinggian 100 – 1000 meter di atas permukaan laut.

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, terdapat beberapa alasan mengapa kebutuhan menggunakan kereta api tidak bisa dihindarkan. Pertama, perkiraan pertumbuhan penduduk dan besarnya potensi sumber daya alam yang dimiliki Kalimantan Timur menyebabkan mobilitas massa dan barang



Gambar 1. Diagram alir.



Gambar 2. Diagram alir lanjutan.

tinggi. Kedua, adanya pembangunan Ibu Kota baru yang membutuhkan suplai material dan barang ke Kalimantan Timur. Ketiga, kondisi jalan di wilayah Kalimantan Timur masih ada yang berupa kerikil dan tanah. Kebutuhan akan kereta api ini menyebabkan perencanaan pembangunan jalur kereta api perlu segera dilaksanakan. Salah satu tahap dalam perencanaan jalur kereta api adalah perancangan geometri. Perancangan geometri jalur kereta api ini perlu dihitung dengan tepat untuk menghindari risiko kesalahan dalam melakukan *Detail Engineering Design*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

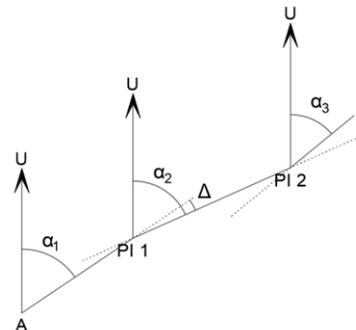
### A. Rencana Induk Perkeretaapian Nasional

Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNas) merupakan dasar dan pedoman yang memayungi seluruh kebijakan dalam penyelenggaraan perkeretaapian nasional, serta merupakan perwujudan dari tatanan perkeretaapian yang memuat kondisi perkeretaapian nasional saat ini dan rencana pengembangan perkeretaapian nasional sampai dengan tahun 2030 yang akan datang.

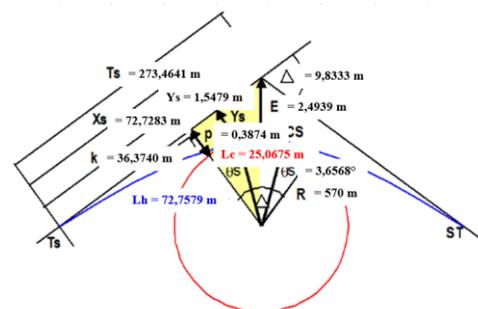
Berdasarkan Rencana Induk Perkeretaapian Nasional sasaran pengembangan jaringan jalur kereta api di Pulau Kalimantan adalah untuk memenuhi kebutuhan pergerakan barang dan memicu pertumbuhan wilayah dengan koridor selatan dan tengah, khususnya untuk angkutan batu bara.

Tabel 1.  
Nilai Koordinat Sudut Tikungan

Titik	X	Y
A	463665,0300	9850038,4341
PI 1	464513,4810	9850611,7118
PI 2	465714,9321	9851151,9826



Gambar 3. Trase rencana tikungan 1 dan 2.



Gambar 4. Skema lengkung horizontal S-C-S.

Spesifikasi teknis dasar untuk jaringan kereta api di koridor Kalimantan secara umum diarahkan menggunakan lebar jalan rel 1.435 mm guna mengakomodir potensi angkutan barang di wilayah tersebut. Penggunaan lebar *gauge* yang berbeda tetap dimungkinkan berdasarkan kajian maupun kebijakan.

### B. Perancangan Geometri

Perancangan geometri jalan rel menggunakan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api dan dengan pelengkap Peraturan Dinas PJKA Nomor 10 Tahun 1986 tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel.

## III. METODOLOGI

Diagram alir Perancangan Geometri Jalan Kereta Api Penajam Paser Utara – Balikpapan, Kalimantan Timur dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

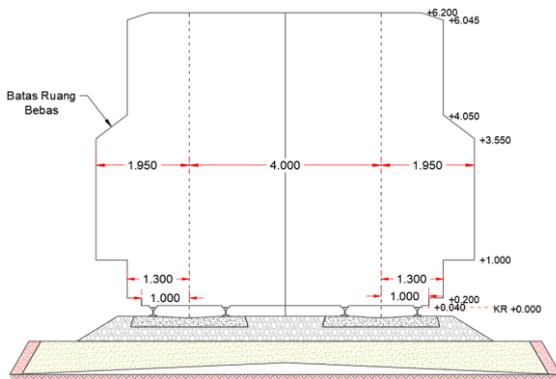
### A. Perencanaan Geometrik Jalan Kereta Api

#### 1) Lengkung Horizontal

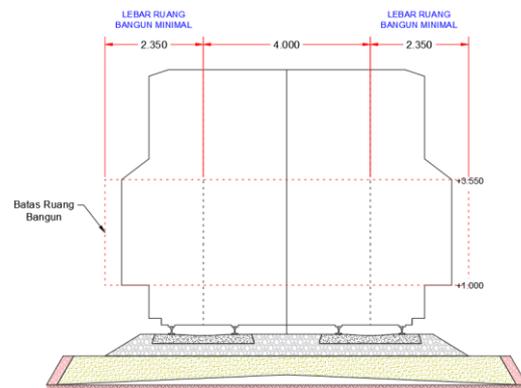
Perencanaan lengkung horizontal digunakan jenis S-C-S untuk semua tikungan karena dapat mengakomodasi peralihan sudut kemudi dengan lebih halus. Sebelum menghitung lengkung horizontal, diperlukan nilai sudut tikungan. Contoh perhitungan untuk PI 1 dan PI 2 dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan trase rencana tikungan 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 2.  
Data Rencana Tonase Harian

Jenis Kereta Api	Rencana Jumlah Lintas Operasi/Hari	Rencana Jumlah Kereta pada Rangkaian	Rencana Tonase Lokomotif & K. Penumpang/Barang	Beban Gandar Kereta Api Rata-rata
KRDI	6	4	K. Penumpang: 56	K. Penumpang: 18
G. Datar	3	12	Lokomotif: 120	Lokomotif: 18
			G. Datar: 90	G. Datar: 22,5
G. B. Bara	5	15	Lokomotif: 120	Lokomotif: 18
			G. B. Bara: 90	G. Datar: 22,5



Gambar 5. Dimensi R.54.



Gambar 6. Dimensi R.54.

Perencanaan lengkung horizontal didesain sesuai dengan kondisi di lapangan, seperti penyesuaian terhadap medan dan kontur lokasi perencanaan. Sebelum menghitung lengkung horizontal, diperlukan nilai sudut tikungan

- a. Sudut Azimuth pada PI 1 ( $\phi$ )  
 $\Delta X, \Delta Y = 848,4510 ; 573,2777$   
 $\phi_1 = \tan^{-1} \frac{\Delta X(PI\ 1)}{\Delta Y(PI\ 1)} = 55,9541^\circ$
- b. Sudut Azimuth pada PI 2 ( $\phi$ )  
 $\Delta X, \Delta Y = 848,4510 ; 573,2777$   
 $\phi_2 = \tan^{-1} \frac{\Delta X(PI\ 2)}{\Delta Y(PI\ 2)} = 65,7874^\circ$
- c. Sudut Tikungan pada PI 1 ( $\Delta$ )  
 $\Delta = \phi_2 - \phi_1 = 9,8333^\circ$

Setelah didapatkan sudut tikungan, kemudian dilanjutkan dengan perencanaan lengkung horizontal. Data yang dibutuhkan sebagai berikut:

- a.  $\Delta PI\ 1 = 9,8333^\circ$
  - b.  $V_{rencana} = 80 \text{ km/jam}$
  - c.  $R_{rencana} = 570 \text{ m}$
- Sehingga dapat dihitung :
- a.  $h = 8,1 \times \frac{V_{rencana}^2}{R_{rencana}} = 90,9474 \text{ mm}$
  - b.  $Lh = 0,01 \times h \times V_{rencana} = 72,7579 \text{ m}$
  - c.  $\theta_s = \frac{90 \times Lh}{\pi \times R_{rencana}} = 3,6568^\circ$
  - d.  $L_c = \frac{(\Delta - 2 \times \theta_s) \times \pi \times R_{rencana}}{180} = 25,0675 \text{ m}$
  - e.  $P = \frac{Lh^2}{6 \times R_{rencana}} - R_{rencana} \times (1 - \cos \theta_s) = 0,3874 \text{ m}$
  - f.  $k = Lh - \frac{Lh^3}{40 \times R_{rencana}^2} - R_{rencana} \times \sin \theta_s = 36,3740 \text{ m}$
  - g.  $T_s = (R_{rencana} + P) \times \tan\left(\frac{1}{2}\Delta\right) + k = 85,4404 \text{ m}$
  - h.  $E = \frac{(R_{rencana} + P)}{\cos\left(\frac{1}{2}\Delta\right)} - R_{rencana} = 2,4939 \text{ m}$
  - i.  $X_s = Lh \times \left(1 - \frac{Lh^2}{40 \times R_{rencana}^2}\right) = 72,7283 \text{ m}$
  - j.  $Y_s = \frac{Lh^2}{6 \times R_{rencana}} = 1,5479 \text{ m}$
  - k.  $p = \frac{4500}{R_{rencana}} - 8 \text{ (mm)} = -0,1053 \text{ mm}$

Karena, p nilainya kurang dari 1, maka dianggap sepur tidak mengalami pelebaran [4]. Hasil dari perhitungan di atas dapat divisualisasikan seperti pada Gambar 4.

### 2) Lengkung Vertikal

Penentuan elevasi tiap-tiap kilometer dilakukan dengan membagi trase sepanjang 77,215 km setiap 100 m secara konstan. Menghitung lengkung vertikal dibutuhkan data sebagai berikut:

- a. Kilometer = STA 0+120,07
- b.  $V_{rencana} = 80 \text{ km/jam}$
- c.  $R_{rencana} = 6.000 \text{ m}$
- d. Elevasi rencana (PPV) = +16,271 m
- e. Kelandaian 1 (G1) = 1,892%
- f. Kelandaian 2 (G2) = 1,377%

Dari data di atas, maka dapat dihitung sebagaimana berikut:

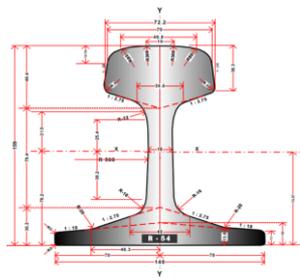
- a.  $Xm = \frac{R}{2} \times (G1 - G2) = -15,450 \text{ m}$   
 (untuk gambar rencana nilainya menjadi positif = 15,450 m)
- b.  $Ym = \frac{R}{8} \times (G1 - G2)^2 = 0,020 \text{ m}$
- c.  $Lv = 2 \times Xm = 30,900 \text{ m}$
- d.  $Elevasi\ PLV = PPV - \frac{G1}{100} \times \frac{1}{2} \times Lv = 16,268 \text{ m}$
- e.  $Elevasi\ PTV = PPV - \frac{G2}{100} \times \frac{1}{2} \times Lv = 16,269 \text{ m}$

### B. Penentuan Klasifikasi Jalan Kereta Api

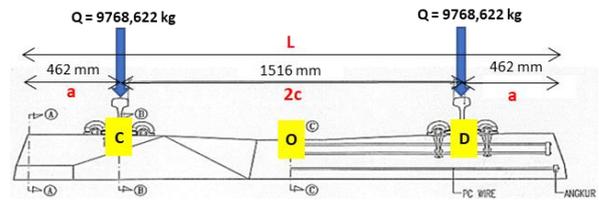
#### 1) Beban Gandar dan Beban Roda

Dalam menghitung tonase daya angkut lintas dibutuhkan data beban komponen kendaraan yang melintas di atas jalan rel. Beban kendaraan ini terdiri dari lokomotif, kereta penumpang, dan gerbong.

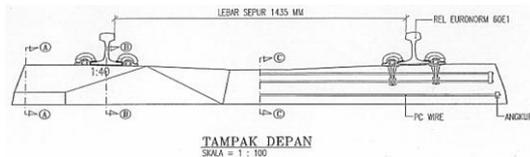
- a. Beban Lokomotif  
 Beban Bogie ( $P_b$ ) =  $\frac{W_{lokomotif}}{2} = 60 \text{ t}$   
 Beban Gandar ( $P_g$ ) =  $\frac{P_b}{3} = 20 \text{ t}$   
 Beban Roda Statis ( $P_s$ ) =  $\frac{P_g}{2} = 10 \text{ t}$



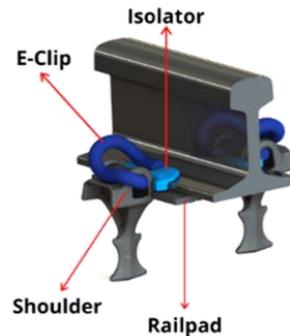
Gambar 7. Dimensi R.54.



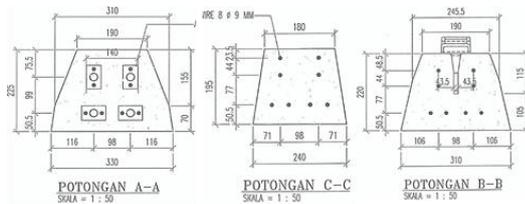
Gambar 10. Beban pada bantalan.



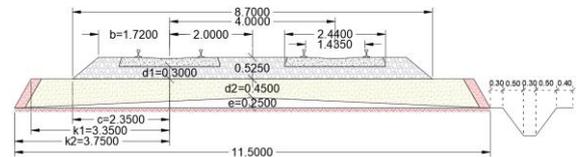
Gambar 8. Tampak depan profil bantalan.



Gambar 11. Komponen penambat rel.



Gambar 9. Profil bantalan melintang.



Gambar 12. Balas dan subbalas.

b. Beban K. Penumpang

$$\text{Beban Bogie (Pb)} = \frac{W_{\text{kereta}}}{2} = 28 \text{ t}$$

$$\text{Beban Gandar (Pg)} = \frac{Pb}{2} = 14 \text{ t}$$

$$\text{Beban Roda Statis (Ps)} = \frac{Pg}{2} = 7 \text{ t}$$

c. Beban Gerbong

$$\text{Beban Bogie (Pb)} = \frac{W_{\text{kereta}}}{2} = 45 \text{ t}$$

$$\text{Beban Gandar (Pg)} = \frac{Pb}{2} = 22,5 \text{ t}$$

$$\text{Beban Roda Statis (Ps)} = \frac{Pg}{2} = 11,25 \text{ t}$$

2) Daya Angkut Lintas

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan rencana daya angkut lintas per tahun adalah sebagai berikut:

- a. Koefisien kereta dengan penumpang (S) = 1,1
- b. Koefisien beban gandar ( $K_b$ ) > 18 ton = 1,3
- c. Koefisien lokomotif ( $K_l$ ) = 1,4

Data rencana tonase harian dapat dilihat pada Tabel 2.

a. Perhitungan Tonase Harian

$$\text{Tonase K. Penumpang (Tp)} = 6 \times 4 \times 56 = 1.344 \text{ t}$$

$$\text{Tonase G. Datar (Tb)} = 3 \times 12 \times 90 = 3.240 \text{ t}$$

$$\text{Tonase G. B. Bara (Tb)} = 5 \times 15 \times 90 = 6.750 \text{ t}$$

$$\text{Tonase Lokomotif (Tl)} = 8 \times 120 = 960 \text{ t}$$

$$\text{TE} = T_p + (K_b \times T_b) + (K_l \times T_l) = 15.675 \text{ t}$$

b. Perhitungan Tonase Tahunan

$$T = 360 \times S \times \text{TE} = 6.207.300 \text{ t}$$

Maka, menurut PM No.60 Tahun 2012 jalur ganda kereta api Penajam Paser Utara – Balikpapan termasuk kelas jalan III dengan ketentuan:  $5.000.000 > 6.207.300 < 10.000.000$  (ton/th).

C. Penentuan Ruang Operasi

1) Ruang Bebas

Batas ruang bebas jalur kereta api untuk lebar rel 1.435 mm pada elevasi 1 m – 3,55 m adalah 1,95 meter di kiri dan kanan as jalan rel. Dan batas ruang bebas untuk tinggi minimum

adalah 6,20 meter dihitung dari kepala rel, dapat dilihat pada Gambar 5.

2) Ruang Bangun

Batas ruang bangun pada lintas bebas untuk jalur lurus adalah 2,35 meter di kiri dan kanan as jalan rel. Sedangkan batas ruang bangun pada lintas bebas untuk jalur lengkung dengan jari-jari lengkung lebih dari 300 m adalah 2,45 meter di kiri dan kanan as jalan rel. batas ruang bangun untuk tinggi minimum adalah 6,20 meter dihitung dari kepala rel, dapat dilihat pada Gambar 6.

D. Perencanaan Struktur Jalan Kereta Api

Berat beban lalu lintas berpengaruh dalam mendesain struktur jalan rel untuk menentukan dimensi dan spesifikasi komponen struktur jalan rel. Desain struktur jalan rel mengacu pada PM No.60 Tahun 2012.

1) Dimensi Rel

Penentuan dimensi rel didasarkan pada tegangan lentur yang terjadi pada dasar rel akibat beban dinamis roda kendaraan ( $S_{base}$ ). Tegangan ini tidak boleh melebihi tegangan ijin dasar rel ( $S_i$ ), dapat dilihat pada Gambar 7.

Digunakan profil rel tipe R.54 dengan data perancangan sesuai [5].

- a. Vrencana = 80 km/jam
- b. Momen inersia ( $I_x$ ) =  $2.346 \text{ cm}^4$
- c. Modulus elastisitas baja (E) =  $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
- d. Jarak tepi bawah ( $y_b$ ) = 7,62 cm
- e. Beban gandar maksimum (Pg) = 22,5 ton
- f. Tegangan ijin rel ( $\sigma_{ijin}$ ) =  $1.325 \text{ kg/cm}^2$
- g. Tegangan ijin dasar rel ( $S_i$ ) =  $1.176,8 \text{ kg/cm}^2$
- h. Modulus elastisitas jalan rel (K) =  $180 \text{ kg/cm}^2$
- i. Tahanan momen dasar (Wb) =  $313 \text{ cm}^3$

Alur perhitungan dimensi rel akan dijelaskan menggunakan persamaan TALBOT sebagai berikut:

a. Beban Dinamis Roda (Pd)

$$Pd = Ps \times Ip$$

$$= Ps + 0,01Ps \left( \frac{v_{renc}}{1,609} - 5 \right)$$

$$= 16.281,036 \text{ kg}$$

b. Dumping Faktor ( $\lambda$ )

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4 \times E \times I_x}} = 0,0098 \text{ cm}^{-1}$$

c. Momen Maksimum (Ma)

$$M_o = \frac{Pd}{4 \times \lambda} = 416.347,299 \text{ kg.cm}$$

$$M_a = 0,85 \times M_o = 353.895,204 \text{ kg.cm}$$

d. Tegangan Ijin Kelas Jalan ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{M_a \times y_b}{I_x} = 1.149,481 \text{ kg/cm}^2$$

e. Tegangan pada Dasar Rel ( $S_{base}$ )

$$S_{base} = \frac{M_a}{W_b} = 1.130,656 \text{ kg/cm}^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas,  $\sigma < \sigma_{ijin}$  dan  $S_{base} < S_i$  sehingga tipe rel R.54 dapat digunakan untuk perencanaan.

### 2) Perencanaan Bantalan

Perencanaan bantalan menggunakan bantalan beton jenis S-35 yang diproduksi oleh PT. Wijaya Karya Beton, Tbk. karena sudah dapat mengakomodasi lebar sepur 1.435 mm, dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Data-data bantalan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- a. Panjang bantalan = 244 cm
- b.  $F_c'$  = 600 kg/cm<sup>2</sup>
- c. L.penampang bawah rel ( $A_1$ ) = 564 cm<sup>2</sup>
- d. L.penampang tengah bantalan ( $A_2$ ) = 409 cm<sup>2</sup>
- e. Momen lentur dudukan rel (+) = 2.300 kg.m
- f. Momen lentur dudukan rel (-) = 1.500 kg.m
- g. Momen lentur tengah bantalan (+) = 1.300 kg.m
- h. Momen lentur tengah bantalan (-) = 2.100 kg.m

Berikut merupakan perhitungan kekuatan dari struktur bantalan beton dalam menahan beban dari kereta dan rel yang melintas di atasnya. Perhitungan mengacu pada PD No.10 PJKA Tahun 1986.

a. Inersia Penampang (I)

$$I = 2 \left( \frac{1}{36} \times b \times h^3 \right) + \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$I_1 = 20.408.667 \text{ cm}^4$$

$$I_2 = 12.358.125 \text{ cm}^4$$

b. Modulus Elastisitas Bantalan (E)

$$E = 6400 \times \sqrt{f_c'}$$

$$= 156.767,344 \text{ kg/cm}^2$$

c. Dumping Faktor ( $\lambda$ )

$$\lambda_1 = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \times E \times I_x}} = 0,010890 \text{ cm}^{-1}$$

$$\lambda_2 = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \times E \times I_x}} = 0,012345 \text{ cm}^{-1}$$

d. Beban masuk ke bantalan (Q)

$$Q = 60\% \times Pd = 9.768,622 \text{ kg}$$

Beban yang diterima bantalan akan divisualisasikan pada Gambar 10.

Perhitungan momen di as rel ( $M_{C/D}$ ) dan di tengah bantalan ( $M_o$ ) adalah sebagai berikut:

a. Momen ( $M_{C/D}$ ) Pada Daerah di Bawah Rel

$$M_{C/D} = \frac{Q}{4\lambda_1 \sin \lambda_1 L + \sinh \lambda_1 L} \begin{bmatrix} 2\cosh^2 \lambda_1 a (\cos 2\lambda_1 c + \cosh \lambda_1 L) \\ -2\cos^2 \lambda_1 a (\cosh 2\lambda_1 c + \cos \lambda_1 L) \\ -\sinh 2\lambda_1 a (\sin 2\lambda_1 c + \sinh \lambda_1 L) \\ -\sin 2\lambda_1 a (\sinh 2\lambda_1 c + \sin \lambda_1 L) \end{bmatrix}$$

$$M_{C/D} = 1.490,025 \text{ kg.cm}$$

b. Momen ( $M_o$ ) Pada Daerah di Tengah Bantalan

$$M_o = -\frac{Q}{2\lambda_2 \sin \lambda_2 L + \sinh \lambda_2 L} \begin{bmatrix} \sinh \lambda_2 c (\sin \lambda_2 c + \sin \lambda_2 (L - c)) \\ + \sin \lambda_2 c (\sinh \lambda_2 c + \sinh \lambda_2 (L - c)) \\ + \cosh \lambda_2 c (\cos \lambda_2 (L - c)) \\ - \cos \lambda_2 c (\cosh \lambda_2 (L - c)) \end{bmatrix}$$

$$M_o = -2.523,320 \text{ kg.cm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas,  $M_{C/D} < M_{min}$  (150.000 kg.cm) dan  $M_o < M_{min}$  (-93.000 kg.cm) sehingga bantalan beton S-35 dapat digunakan untuk perencanaan.

Perencanaan jarak antar bantalan sudah ditentukan 60 cm berdasarkan PM No.60 Tahun 2012. Maka, berikut ini dilakukan perhitungan untuk menguji bahwa nilai 60 cm sudah sesuai dengan jarak yang dibutuhkan.

Data-data bantalan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- a. Jarak pasang bantalan (L) = 60 cm (2a)
- b. Beban statis roda (Ps) = 11.250 kg
- c. Tegangan ijin rel ( $\sigma_{ijin}$ ) = 1.325 kg/cm<sup>2</sup>
- d. Momen inersia Ix (R.54) = 409 cm<sup>2</sup>
- e. Modulus elastisitas rel (E) = 2,1x106 kg/cm<sup>2</sup>
- f. Koefisien bantalan (D) =  $\frac{1}{2} \times 0,90 \times A \times C$
- g. Koefisien balas atas (C) = 8 (kricak)
- h. Jarak tepi bawah ke garis netral (yb) = 7,62 cm

Tegangan ijin rel ( $\sigma_{ijin}$ ) dipilih kelas I karena tabel data tegangan ijin rel untuk lebar 1.435 mm tidak ada pada PD No.10 PJKA Tahun 1986 maupun pada PM N0.60 Tahun 2012. Oleh karena itu, disesuaikan dengan tabel yang ada pada PD No.10 Tahun 1986 untuk lebar rel 1.067 mm. Karena, profil rel yang disarankan untuk lebar rel 1.435 mm dan kelas III adalah R.54/R60. Maka, kelas yang paling sesuai dengan tabel untuk lebar rel 1.067 mm adalah kelas I.

a. Koefisien Lentur Rel (B)

$$B = \frac{6 \times E \times I_x}{a^3} = 1.094.800 \text{ kg}$$

b. Luas Bidang Pikul Bantalan (A)

$$A = 2 \times \text{jarak bantalan} \times \frac{1}{2} \text{ panjang bantalan}$$

$$A = 14.640 \text{ cm}^2$$

c. Koefisien Bantalan (D)

$$D = \frac{1}{2} \times 0,90 \times A \times C = 52.704 \text{ cm}^2$$

d. Koefisien Ketentuan (k)

$$k = \frac{B}{D} = 20,773 \text{ kg/cm}^2$$

e. Momen Maksimum ( $M_{max}$ )

$$M_{max} = \frac{(8 \times k) + 7}{(4 \times k) + 10} \times 0,25 \times Ps \times L$$

$$M_{max} = 313.934,214 \text{ kg.cm}$$

f. Tahanan Dasar ( $W_b$ )

$$W_b = \frac{I_x}{y_b} = 307,874 \text{ cm}^3$$

g. Perbandingan Momen Maksimum dengan Tahanan Dasar

$$\frac{M_{max}}{W_b} = 1.019,684 \text{ kg/cm}^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas,  $\sigma_{ijin} \geq M_{max}/W_b$ . Sehingga, jarak antar bantalan 60 cm sudah dapat menahan tegangan yang terjadi.

### 3) Komponen Penambat Rel

Penambat rel harus mampu menjaga kedudukan kedua rel agar tetap, kokoh, dan tidak bergeser saat berada di atas bantalan, dapat dilihat pada Gambar 11. Dalam perencanaan, digunakan komponen penambat elastis ganda yang diproduksi oleh PT. Pandrol Indonesia.

Tabel 3.  
Data Penampang Melintang Kelas Jalan Rel I

Kelas Jalan	V maks (km/jam)	d1 (cm)	b (cm)	C (cm)	k1 (cm)	d2 (cm)	E (cm)	k2 (cm)
I	120	30	150	235	265	15-50	25	375

Tabel 4.  
Rencana Emplasemen

No.	Nama Stasiun	Posisi Halte Stasiun	Kategori
1	Petung	Kanan	Stasiun Sedang
2	Buluminung	Kanan	Stasiun Besar
3	Kariangau	Kanan	Stasiun Besar
4	Karang Joang	Kiri	Stasiun Sedang
5	Balikpapan	Kiri	Stasiun Kecil

4) Perencanaan Balas dan Subbalas

Berdasarkan tabel penampang melintang yang disediakan PM No.60 Tahun 2012 pada Tabel 3 ternyata masih meliputi lima kelas jalan. Hal ini mengacu pada lebar rel 1.067 mm, sehingga dilakukan penyesuaian untuk lebar rel 1.435 mm. Maka, dipilih kelas jalan I yang pada perhitungan subbalas sebelumnya juga menggunakan penyesuaian kelas yang sama. Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas atas (b) akan dilakukan penyesuaian berdasarkan PD No.10 Tahun 1986 dengan rumus sebagai berikut:

$$b > \frac{1}{2}L + X$$

$$b > \frac{1}{2}(244) + 50$$

$$b > 172 \text{ cm}$$

Maka, nilai jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas atas (b) adalah 172 cm dengan lebar bahu balas atas (X) adalah 50 cm.

Nilai tebal balas bawah (d2) yang masih berupa rentang antara 15 – 50 cm akan dihitung kembali untuk memastikan ketebalan yang sesuai dengan beban yang terjadi. Data yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- a. Tebal lapisan balas atas (d1) = 30 cm
- b. Beban dinamis roda (Pd) = 16.281,036 kg
- c. Panjang bantalan (L) = 244 cm
- d. Jarak as rel ke tepi bantalan (a) = 46,2 cm
- e. Jarak antar as rel (c) = 75,8 cm
- f. Lebar bawah bantalan (b) = 870 cm
- g. Modulus reaksi balas (ke) = 3 kg/cm<sup>3</sup>
- h. Tekanan tanah dasar (σ<sub>t</sub>) = 1,2 kg/cm<sup>2</sup>
- i. Momen inersia bantalan (Ix) = 12.358,125 cm<sup>4</sup>
- j. Modulus elastisitas (E) = 156.767,344 kg/cm<sup>2</sup>

Perhitungan dimensi balas bawah (subbalas) akan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Tegangan di Bawah Bantalan (σ<sub>1</sub>)  
Dihitung menggunakan konsep *beam on elastic foundation*.

$$k = b \times ke = 2.610 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \times E \times I}} = 0,024090$$

$$\sigma_1 = \frac{60\%Pd\lambda}{2b \frac{\sin \lambda L + \sinh \lambda L}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L}} 2cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) + 2cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) + \sinh 2\lambda a (\sin 2\lambda c - \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a (\sinh 2\lambda c - \sin \lambda L)$$

$$\sigma_1 = 6,634 \text{ kg/cm}^2$$

- b. Tebal Lapisan Balas (d)

$$d = \sqrt[1,35]{\frac{58 \times \sigma_1}{\sigma_t}} - 10 = 70,164 \text{ cm}$$

- c. Tebal Lapisan Balas Bawah (d2)

$$d2 = d - d1 = 40,164 \text{ cm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, nilai 15 cm < d2 < 50 cm. Sehingga, tebal lapisan balas bawah (40,164 cm) sudah memenuhi syarat minimal dan maksimal. Dalam mempermudah proses pekerjaan dalam pelaksanaan di lapangan, sebaiknya dibulatkan tebalnya menjadi 45 cm.

Menurut PM No.60 Tahun 2012 untuk ukuran k1 (khusus jalur ganda) diganti dengan L = 335 cm. Detail penampang melintang jalan rel ganda dengan lebar jalan rel 1.435 mm ditunjukkan pada Gambar 12.

Maka, perencanaan balas atas dan balas bawah (subbalas) didapatkan nilai sebagai berikut:

- a. Tebal Lapisan Balas (d1) = 0,300 m
- b. Tebal Lapisan Subbalas (d2) = 0,450 m
- c. Lebar bahu balas = 0,500 m
- d. Lebar bahu subbalas = 1,000 m
- e. Tinggi total badan jalan rel = 1,225 m
- f. Panjang total badan jalan rel = 11,500 m

5) Perencanaan Wesel

Wesel yang digunakan adalah produksi Ruzhou Zhengtie Sanjia Turnout CO.,LTD dengan kriteria desain sebagai berikut:

- a. Jenis wesel = *Simple turnout No.12* (tg 1:12)
- b. Kecepatan ijin = 45 km/jam
- c. Rel wesel = UIC54

E. Layout Emplasemen

Dalam menentukan *layout* emplasemen baru dengan pola jalur ganda dibutuhkan panjang dan lebar peron. Perencanaan panjang dan lebar peron diatur dalam Peraturan Menteri No.29 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Bangunan Stasiun Kereta Api.

1) Perencanaan Peron

Peron direncanakan menggunakan peron tinggi dan jenis kereta penumpang yang digunakan adalah Kereta Rel Diesel Indonesia (KRDI). Perhitungan dimensi peron membutuhkan data-data sebagai berikut:

- a. Konfigurasi = MeC – T – T – MeC
- b. Panjang kereta  
MeC = 20 meter  
T = 20 meter
- c. Total panjang kereta = MeC + T + T + MeC = 80 meter
- d. Penghubung rangkaian = 0,5 m × 3 (4 kereta) = 1,5 m

Perhitungan dimensi peron, baik panjang maupun lebarnya akan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Panjang Peron (Lp)

$L_p = 2 \times (\text{panjang rangkaian} + \text{penghubung rangkaian})$

$L_p = 163 \text{ m}$

b. Lebar Peron (b)

$$b = \frac{0,64 \text{ m}^2 / \text{orang} \times V \times LF}{L_p} = 2,236 \text{ m} \approx 2,3 \text{ m}$$

c. Tinggi Peron = 1,000 m

d. Jarak Tepi Peron ke AS Jalan Rel

Lurusan = 1,600 m

Lengkungan = 1,650 m

Lebar peron yang direncanakan sudah memenuhi syarat lebar peron minimal sesuai [6].

## 2) Perencanaan Emplasemen

Arah posisi halte stasiun mengacu pada arah berangkat kereta dari Kabupaten Penajam Paser Utara menuju Kota Balikpapan. Perencanaan emplasemen dapat dilihat pada Tabel 4.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari perencanaan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut: (1) Bentuk Trase (77,215 km), diantaranya : (a) Penggunaan program bantu Global Mapper V.20 (64 bit) kontur interval 10 meter, kontur major 10 meter, kontur minor 2 meter; (b) Pada perhitungan lengkung horizontal, dari total 43 lengkung terdapat satu tikungan yang menggunakan kecepatan rencana berbeda yaitu 40 km/jam pada PI 43. Hal ini dilakukan karena tikungan sudah memasuki area bandara; (c) Pada perhitungan lengkung vertikal, dari total 130 titik PVI terdapat 26 titik PVI yang kelandaianya melebihi kelandaian penentu (20%) yaitu mencapai 38% untuk kelandaian maksimum. Hal ini masih diperbolehkan menurut PD No.10 PJKA Tahun 1986 karena masuk ke dalam kategori lintas pegunungan; (2) Bentuk Konstruksi Jalan Kereta Api, diantaranya : (a) Kecepatan rencana digunakan 80 km/jam dengan lebar sepur 1.435 mm. Berdasarkan daya angkut lintas didapatkan kelas jalan rel III; (b) Tipe rel yang digunakan R54; (c) Bantalan yang digunakan adalah bantalan beton produksi PT. WIKA Beton jenis S-35 dengan jarak antar bantalan 60 cm dan menggunakan sistem penambat elastis ganda tipe E-Clip produksi PT. Pandrol Indonesia; (d) balas didapatkan 30 cm dengan lebar bahu balas 50 cm dan tebal subbalas 45 cm dengan lebar bahu

subbalas 100 cm; (e) Nomor wesel yang digunakan adalah W 12; (f) Panjang efektif emplasemen direncanakan 330 meter dengan jenis peron tinggi. Dimensi peron didapatkan 163 meter untuk panjang dan 2,3 meter untuk lebarnya; (g) Volume galian dan timbunan tanpa menghitung akibat pembuatan jembatan dan terowongan didapatkan 6.240.619,19 m<sup>3</sup> untuk galian dan 2.130.539,96 m<sup>3</sup> untuk timbunan; (h) Struktur penunjang yang dibutuhkan dalam perancangan karena tidak dapat dilakukan galian atau timbunan akibat beda elevasi yang terlalu tinggi, dengan total jembatan yaitu 21 buah, total terowongan yaitu 13 buah, total box culvert 1 buah, total tunner yaitu 9 buah, total overpass yaitu 9 buah, dan pos petugas jalan lintasan yaitu 52 buah. Adapun saran dan peluang untuk perancangan selanjutnya adalah sebagai berikut : (1) Penentuan trase perlu dibuat melewati daratan yang beda elevasinya tidak signifikan untuk meminimalisir pembangunan struktur jembatan dan terowongan; (2) Penentuan emplasemen diharapkan mampu menampung jumlah penumpang yang akan menggunakan transportasi kereta api; (3) Dalam perhitungan formasi badan jalan dan bantalan diharapkan terdapat persyaratan khusus untuk lebar sepur 1.435 yang beban gandarnya mencapai 22,5 ton; (4) Perlu dilakukan kajian geologi agar lebih akurat terhadap desain yang direncanakan; (5) Program bantu yang digunakan terbatas dengan *student version*, sebaiknya digunakan yang sudah berlisensi profesional.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur, "Kondisi Wilayah," Samarinda: *Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur*, 2019.
- [2] Direktorat Jenderal Perkeretaapian, "Review Rencana Induk Perkeretaapian Nasional," Jakarta: *Direktorat Jenderal Perkeretaapian*, 2018.
- [3] Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas, "Kereta Api Kalimantan Timur," Jakarta: *Komite Percepatan Penyediaan Infrastruktur Prioritas*, 2019.
- [4] Kementerian Perhubungan RI, *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Jakarta: Kementerian Perhubungan RI, 2012.
- [5] Perusahaan Jawatan Kereta Api, *Peraturan Dinas PJKA Nomor 10 Tahun 1986 Tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel*. Jakarta: Perusahaan Jawatan Kereta Api, 1986.
- [6] Kementerian Perhubungan RI, *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 29 Tahun 2011 Tentang Persyaratan Teknis Bangunan Stasiun Kereta Api*. Jakarta: Kementerian Perhubungan RI, 2011.