

REAKTIVASI JALUR REL KERETA API KEDUNGGJATI – TUNTANG DENGAN JALUR DOUBLE TRACK DAN LEBAR SEPUR 1435 mm

Bima Reffi Anugrah, Wahyu Herijanto, Istiar
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: trims36@gmail.com

Jalur rel Kedungjati-Tumpang diresmikan pada tahun 1873 dan ditutup pada tahun 1970. Pada awal peresmian, jalur tersebut merupakan bagian dari Jalur rel Jogjakarta-Kedungjati.

Pengaktifan jalur rel Kedungjati-Tumpang diharapkan dapat mengalihkan pengangkutan barang dari menggunakan truk menjadi menggunakan kereta api. Disamping untuk mengurangi beban jalan, pengaktifan ini juga bermanfaat untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan mengembangkan potensi pariwisata Provinsi Jawa Tengah.

Desain eksisting dari jalur rel Kedungjati-tumpang adalah jalur *single track* dengan lebar sepur 1067 mm. Dimensi rel tersebut tidak sesuai dengan Rencana Induk Perkeretaapian Nasional 2030 (RIPNAS 2030). Pada RIPNAS 2030 dijelaskan bahwa lebar sepur di Pulau Jawa adalah 1435 mm..

Jalur yang direncanakan disini sejauh 31 km. Metode perencanaan rute jalur ini antara lain dengan melakukan studi literatur, pengumpulan data, perencanaan geometrik, perencanaan alinemen horisontal dan vertikal, perencanaan detail potongan, perhitungan galian dan timbunan, serta perencanaan struktur tipikal jalan rel.

Tugas akhir ini akan menghasilkan suatu rute jalur rel yang sesuai dengan Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.

Kata kunci : Kereta Api, Desain Geometri Jalan Rel, Jalan Rel Kedungjati-Tumpang.

I. PENDAHULUAN

Pulau Jawa pada akhir abad ke-19 sampai pertengahan abad ke-20 mempunyai sistem jalur rel kereta api yang hampir menjangkau seluruh wilayahnya. Sistem tersebut merupakan suatu sistem *trunk and feeder* perkeretaapian, dimana jalur Jakarta-Semarang-Surabaya dan Jakarta-Jogja-Surabaya menjadi *trunk* sedangkan jalur-jalur lain yang menuju pelosok-pelosok sebagai *feeder*. Jalur-jalur tersebut berperan sangat penting untuk angkutan penumpang dan pengiriman logistik dengan cepat ke seluruh wilayah pulau jawa karena pada waktu itu belum terdapat jalan dengan perkerasan yang memadai seperti saat ini.

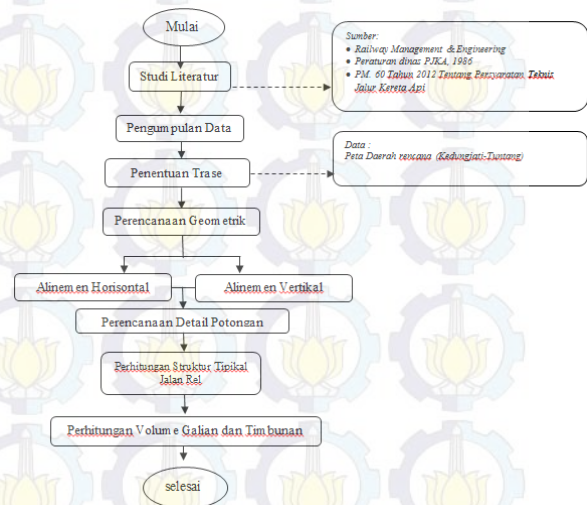
Setelah Indonesia merdeka, banyak jalur di Pulau Jawa khususnya jalur-jalur yang menuju pelosok daerah menjadi kurang terawat dan tidak aktif. Hal tersebut mengakibatkan masyarakat tidak memiliki pilihan lain untuk begerak dan melakukan pengiriman barang selain menggunakan angkutan jalan. Dengan semakin besarnya ketergantungan masyarakat terhadap angkutan jalan, timbullah banyak sekali permasalahan lain seperti kemacetan, kecelakaan lalu-lintas, serta umur perkerasan jalan yang pendek. Oleh karena itu pengaktifan kembali jalur-jalur rel nonaktif sangat diperlukan guna mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap angkutan jalan. Salah

satu jalur yang berpotensi untuk diaktifkan kembali adalah jalur rel Kedungjati-Tumpang.

Pengaktifan jalur rel Kedungjati-Tumpang diharapkan dapat mengurangi beban jalan dengan mengalihkan pengangkutan barang dari menggunakan truk menjadi menggunakan kereta api. Sebelumnya perlu diketahui bahwa volume lalu lintas angkutan barang pada jalur jalan Kedungjati-Tumpang cukup padat karena jalur tersebut merupakan salah satu jalur utama yang menghubungkan Provinsi Jawa Tengah bagian selatan dan utara. Banyaknya angkutan bermuatan berat yang melalui jalur tersebut menyebabkan kondisi perkerasan jalan di banyak titik menjadi rusak berat. Kondisi jalan yang demikian sangat menghambat pergerakan lalu-lintas di jalur tersebut.

I. METODOLOGI

Metodologi Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1. Metodologi Tugas Akhir

Penjelasan lengkap tentang Metodologi dapat dilihat pada buku Tugas Akhir penulis.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

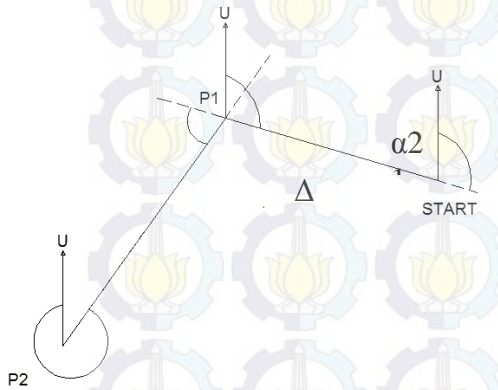
A. Perencanaan Geometrik Jalan Rel

Pada perencanaan alinemen horisontal disini akan dibahas bagaimana desain lengkung yang digunakan dengan menggunakan parameter lengkung horisontal *spiral-circle-spiral* dan *full circle*. Trase yang digunakan pada tugas akhir ini merupakan trase eksisting rel Kedungjati-Tumpang.

Pemilihan kecepatan rencana yang dipakai memakai cara coba-coba sehingga didapat kecepatan rencana yang sesuai dengan desain trase horizontal eksisting. Adapun langkah-langkah dalam menghitung parameter lengkung tersebut di atas adalah sebagaimana berikut :

Contoh perhitungan untuk PI:

PI	x	y
Start	563,3076	443,1987
P1	555,1385	445,6146
P2	549,4489	437,6413



Gambar 4.1. Trase awal pada Start-P1, P1-P2

Contoh perhitungan PI:

- α_1 (garis start-PI di kuadran II)

- o $l_x = 8,1691, l_y = -2,4159$

- o $\alpha_1 = 360 + \tan^{-1} \frac{(l_x)}{(l_y)}$
 $= 360 + \tan^{-1} \frac{(8,1691)}{(-2,4159)}$
 $= 286,475$

- α_2 (garis P1-P2 di kuadran III)

- o $l_x = 5,6896, l_y = 7,9732$

- o $\alpha_2 = 180 + \tan^{-1} \frac{(l_x)}{(l_y)}$
 $= 180 + \tan^{-1} \frac{(5,6896)}{(7,9732)}$
 $= 215,5111$

- $\Delta = (\alpha_2 - \alpha_1)$
 $= 70,9639$

Setelah didapatkan sudut P-I, kemudian dilanjutkan perencanaan lengkung horizontal.

$V_{rencana} = 60 \text{ km/jam}$

$R_{taksir} = 200 \text{ m} \dots \dots \dots (\text{Permen No.10 2012})$

Sehingga dapat dihitung :

- $h = 8,1 \cdot \frac{v^2}{R} \dots \dots \dots (5.1)$

$$= 8,1 \cdot \frac{60^2}{200}$$

$$= 145,8 \text{ mm} < h = 150 \text{ mm}$$

- $Lh = 0,01 \cdot h \cdot v \dots \dots \dots (5.2)$
 $Lh = 0,01 \cdot 145,8 \cdot 60 = 87,48 \text{ m}$

- $\theta_s = \frac{90 Lh}{\pi R} \dots \dots \dots (5.3)$

$$\theta_s = \frac{90 \cdot 87,48}{3,14 \cdot 200} = 12,536943^\circ$$

- $Lc = \frac{(\Delta - 2 \theta_s) \cdot \pi R}{180} \dots \dots \dots (5.4)$

$$Lc = \frac{(68,015 - 2 \cdot 12,5369) \cdot \pi \cdot 200}{180} = 149,8186 \text{ m}$$

- $p = \frac{Lh^2}{6 R} - R (1 - \cos \theta_s) \dots \dots \dots (5.5)$

$$p = \frac{87,48^2}{6 \cdot 200} - 200 \cdot (1 - \cos 12,536943) = 1,608542 \text{ m}$$

- $k = Lh - \frac{Lh^3}{40R^2} - R \sin \theta_s \dots \dots \dots (5.6)$

$$k = 87,48 - \frac{87,48^3}{40 \cdot 200^2} - 200 \cdot \sin 12,536943 = 43,64777$$

- $T_s = (R + p) \cdot \text{tg} \left(\frac{1}{2} \Delta \right) + k \dots \dots \dots (5.7)$

$$T_s = (200 + 1,60854) \cdot \text{tg} \left(\frac{1}{2} \cdot 68,01553 \right) + 43,6477 = 187,35789 \text{ m}$$

- $X_s = \frac{h V}{144} \dots \dots \dots (5.8)$

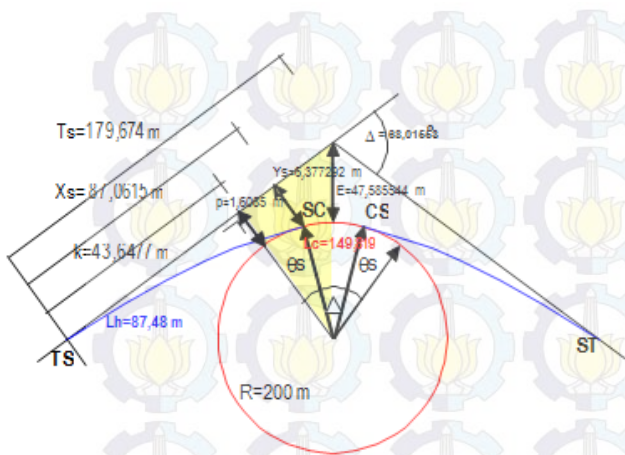
$$X_s = \frac{145,8 \cdot 60}{144} = 87,061586 \text{ m}$$

- $E = \frac{(R + p)}{\cos \left(\frac{1}{2} \Delta \right)} - R \dots \dots \dots (5.9)$

$$E = \frac{200 + 1,608542}{\cos \left(\frac{1}{2} \cdot 68,01553 \right)} - 200 = 47,585544 \text{ m}$$

- $Y_s = \frac{Lh^2}{6 \cdot R} \dots \dots \dots (5.10)$

$$Y_s = \frac{87,48^2}{6 * 200} = 6,377292 \text{ meter}$$



Gambar 4.2. Skema lengkung horizontal spiral-circle-spiral

Untuk hasil perhitungan lengkap dapat dilihat dalam

Alinemen Vertikal

Analisa diawali dengan membagi trase eksisting setiap 250 meter. Dari setiap potongan tersebut dicari elevasi tanah dengan perhitungan metode interpolasi. Untuk lebih jelas mengenai perhitungan dapat dilihat pada contoh perhitungan di bawah ini:

Contoh perhitungan elevasi trase :

Potongan pada titik STA 0+500.

Diketahui :

Elevasi kontur atas = +37,5 m

Elevasi kontur bawah = 25

Jarak antar kontur = 631,04719 m

Jarak titik ke kontur bawah = 209,94878 m

Dari data diatas maka dapat dihitung dengan menggunakan metode interpolasi sebagaimana berikut :

$$\text{Titik STA} = eb + \frac{(ea - eb)}{\text{jarakkontur}} \times \text{jarak titik bawah}$$

$$\text{Titik STA } 0 + 500 = 25 + \frac{(37,5 - 25)}{631,04719} * (209,94878) = 29,15874 \text{ m}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan elevasi trase yang bisa digunakan untuk merencanakan elevasi jalan rel. contoh perhitungan bisa dilihat pada contoh berikut.

Contoh perhitungan lengkung vertikal :

Perencanaan lengkung vertikal pada STA 008+500



Gambar 4.5 Skema lengkung vertikal PVI(STA 6+000)

• $V_{Rencana} = 60 \text{ km/jam}$

• $R_{Lengkung} = 6000 \text{ m}$

$$\begin{aligned} X_m &= \frac{R}{2} \phi \\ &= \frac{6000}{2} ((0,004 - 0,011)) \\ &= 21,04 \text{ m} \end{aligned}$$

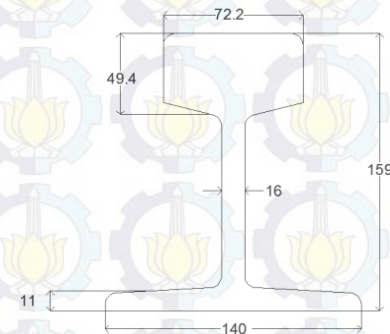
$$\begin{aligned} Y_m &= \frac{R}{8} \phi^2 \\ &= \frac{6000}{8} (0,004 - 0,011)^2 \\ &= 0,037 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan dapat dilihat dalam tugas akhir penulis. [3]

Perencanaan Struktur

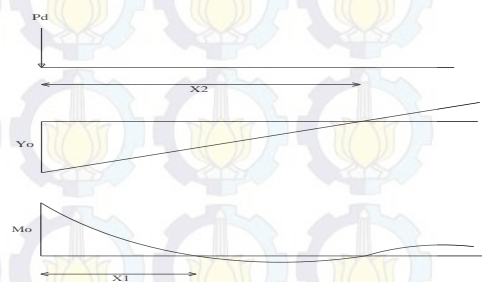
Pada perencanaan jalan rel ini didesain dengan kriteria jalan rel kelas V lebar sepur 1435mm, dengan data-data sebagaimana berikut : (PD10)

- Digunakan R54 dengan spesifikasi:
- Berat rel teoritis (W) : 54,43 kg/m
- Momen inersia searah sumbu X (I_x) : 2,346 cm⁴
- Luas penampang melintang (A) : 69,34cm²
- Tegangan ijin rel (σ) : 1325 kg/cm²
- Modulus elastisitas : 2,1x10⁶ kg/cm²
- Passing ton tahunan : < 5 Juta Ton
- Beban gandar : 22,5 ton



Gambar 4.6. Penampang rel R.54

Rel dianggap sebagai suatu balok tidak terhingga panjangnya, dengan beban terpusat dan ditumpu oleh struktur dengan modulus elastisitas jalan rel (k).



Gambar 4.7. Pemodelan pembebanan jalan rel.

Digunakan tipe rel R54 dengan kecepatan rencana 60 km/jam. Tekanan gandar 22,5 ton, transformasi gaya statis roda menjadi gaya dinamis roda digunakan persamaan Talbot sebagai berikut:
 $V_{rencana} = 60 \text{ km/jam}$

$$Pd = P + 0,01 P (V-5)$$

$$\begin{aligned} Pd &= (11,5 + 0,01. 11,5. ((60/1,609) - 5)) \text{ ton} \\ &= 15,21337787 \text{ ton} \end{aligned}$$

= 15213,37 kg

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{k}{4E.Ix}} = \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 2,1 \cdot 10^6 \times 2346}} = 9,777 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-4}$$

$$M_o = \frac{Pd}{4\lambda} = \frac{15213,37 \text{ kg}}{4 \times 0,009777 \text{ cm}^{-1}} = 389009,36 \text{ kg cm}$$

$$\sigma = \frac{M.I.y}{Ix}$$

Dimana:

- P : gaya statis roda (ton)
- V : kecepatan kereta api (mil/jam)
- σ : tegangan yang terjadi pada rel
- MI : 0,85 Mo (akibat super posisi beberapa gandar)
- Y : jarak tepi bawah rel ke garis netral
- Ix : momen inersia terhadap sumbu x-x

$$\sigma = \frac{M.I.y}{Ix} = \frac{0,85 \cdot 389009,36 \cdot 5,443}{2346}$$

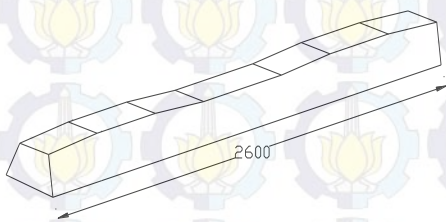
$$\sigma = 767,166 \text{ kg/cm}^2 < \text{tegangan ijin rel } 1325 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}$$

Bantalan

Untuk merencanakan bantalan digunakan bantalan beton prategang *monoblock* spesifikasi *german railways* dengan dimensi sebagaimana berikut:



a. Bawah rel b. Tengah bantalan
Gambar 4.8 Penampang Melintang Bantalan



Gambar 4.9. Dimensi bantalan beton *monoblock*

- Panjang bantalan = 2600 mm = 260 cm
- $f_c' = 600 \text{ kg/cm}^2$
- Kemampuan momen yang diijinkan:
 - o Bawah rel (positif) = 2300 kg m
 - o Bawah rel (negatif) = 1500 kg m
 - o Tengah bantalan (positif) = 2100 kg m
 - o Tengah bantalan (negatif) = 1300 kg m

Besar momen dari bantalan sebagaimana berikut
Momen pada daerah di bawah rel:
 $157376,1 \text{ kg cm} < \text{momen ijin} = 230000 \text{ kg cm} \dots \text{OK}$
Momen pada daerah tengah bantalan:

$-82062,4 \text{ kg cm} < \text{momen ijin} = 130000 \text{ kg cm} \dots \text{OK}$
Penjelasan lengkap mengenai perhitungan bantalan dapat dilihat pada buku Tugas Akhir penulis [4].

Pengelasan Jalan Rel

Untuk mendapatkan panjang minimum rel panjang $L > 2L$. Untuk rel R-54 dan menggunakan bantalan beton maka panjang rel panjang dimana L dapat dihitung dengan persamaan:

$$L = \frac{F = E.A.\alpha.\Delta T}{r}$$

$$L = \frac{2,1 \cdot 10^6 \times 76,87 \times 1,2 \cdot 10^{-5} \times (48 - 30)}{450}$$

$$= 69.89472 \text{ m}$$

Panjang rel minimum rel panjang R-54 dengan bantalan beton = $2 \times 1 = 2 \times 69.89472 = 139.78944 \text{ m}$.
Dibulatkan kelipatan 25 m menjadi 150 m. Untuk menyambung rel-rel pendek menjadi rel panjang digunakan las.

Perencanaan Balas

Balas atas

- Ada 3 perbandingan perhitungan yang digunakan,
1. Menurut Wahyudi (2003) didapatkan hasil dengan tebal balas minimum 29 cm.
 2. Menurut British regulation, didapatkan tebal balas minimum sebesar 15 cm
- Dari beberapa metode di atas maka diambil tebal ballas yang paling maksimum sehingga didapat tebal ballas adalah 0,29 m

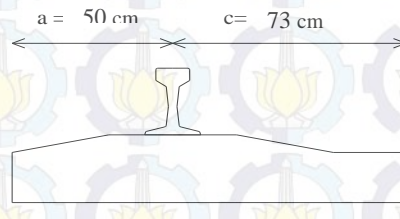
Lapisan balas bawah

Untuk perencanaan balas bawah pada jalan rel ini diketahui data perencanaan sebagai berikut:
Jalan kelas V, beban gandar 22,5 ton.
Dipakai bantalan beton dengan data sebagai berikut:
Lebar bantalan : 30 cm ; Panjang bantalan : 260 cm
Bantalan dibuat dari beton pratekan dengan mutu beton K600

Modulus elastisitas (E) bantalan
: $6400 \sqrt{600} = 156767,343 \text{ kg/cm}^2$
Beban kereta sebagai beban dinamis didapatkan 12195,27 kg.
Prosentase beban kereta yang membebani adalah 49 %
 $49 \% Pd = 5972,68 \text{ kg}$
$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{(9 \cdot 25)}{(4 \cdot 156767,34 \cdot 19239,75)}} \quad (23)$$

= 0,0125487

Sedangkan nilai a dan c diberikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Besar nilai a dan c pada bantalan
 $\sigma_1 = 6,972 \text{ kg/cm}^2$

$$d = 1,35 \sqrt{\frac{58 \times \sigma_1}{\sigma_r}} - 10$$

$$d = 53,751 \text{ cm}$$

$$d2 = d - d1 > 15 \text{ cm}$$

Tebal lapisan balas atas ditentukan berdasarkan perhitungan di atas yaitu setebal 29 cm.

$$d2 = 53,751 - 29$$

$$= 24,751 \text{ cm dipakai } d2 = 25 \text{ cm}$$

Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan bawah didapatkan sebagai berikut:

- Pada sepur lurus 315 cm

- Pada tikungan 385 cm

Untuk hasil perhitungan dapat dilihat dalam tugas akhir penulis. [5]

Volume

Terdapat dua macam cara untuk menghitung volume galian dan timbunan tanah yaitu perhitungan volume seragam dan tak seragam. Perhitungan seragam apabila pada STA awal sampai STA selanjutnya hanya merupakan galian atau hanya merupakan timbunan. Contoh perhitungan tersebut dapat dilihat pada volume STA 1+000 – STA 1+500.

$$V = (A1+A2)/2 \times L$$

Dimana:

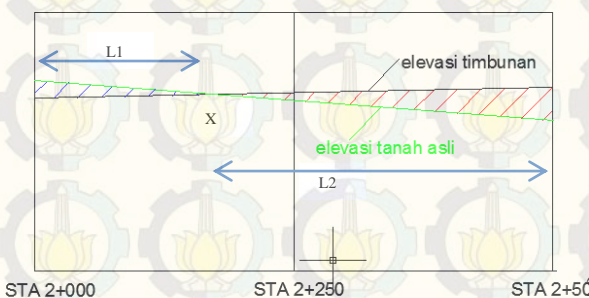
awal $A1$ = Luas tanah yang dipindahkan pada STA

akhir $A2$ = Luas tanah yang dipindahkan pada STA

L = Jarak antar STA

- A STA 1+000 = -118,2078 m² (galian)
- A STA 1+500 = - 125,5478 m² (galian)
- L = 500 m

Perhitungan volume tidak seragam digunakan saat menghitung volume tanah diantara dua STA dimana salah satunya merupakan timbunan dan yang lain adalah galian. Contoh perhitungan volume memakai cara ini dapat dilihat pada STA 2+000 sampai STA 2+500



Gambar 4.16 Skema STA 2+000 – 2+500

- A STA 2+000 = -79,7788

- A STA 2+500 = 153,2712

- L1 = 180,227

- L2 = 310,773

- $V = \frac{A}{2} \times L$

- $V \text{ STA } 2+000 - X = \frac{-79,7788}{2} \times 180,227$
= -7189,1491

- $V \text{ STA } 2+500 - X = \frac{153,2712}{2} \times 310,773$
= -24505,99215

Dari kedua macam perhitungan didapatkan hasil:

Total Galian = -3.372.866,4937 m³

Total Timbunan = 668.197,9956 m³

Untuk hasil perhitungan dapat dilihat dalam tugas akhir penulis. [6]

III. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil perencanaan Tugas Akhir yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Alinemen Horizontal dan Vertikal

a. Pada perhitungan alinemen horizontal terdapat beberapa titik PI yang desain trase awalnya tidak sesuai dengan standart perhitungan alinemen horizontal. Titik-titik tersebut antara lain P 10, P 15, dan P 26. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan penyesuaian parameter lengkung dan penggeseran trase.

b. Pada perhitungan alinemen vertikal eksisting diketahui bahwa kemiringan trase dari STA 14+250 sampai STA 27+250 tidak sesuai dengan landai penentu maksimum yang terdapat pada PM No.60 Th 2012. Oleh karena itu penulis merencanakan ulang alinemen vertikal pada bagian tersebut agar lebih sesuai dengan standart landai penentu.

c. Diperlukan beberapa pembangunan jembatan pada jalur rel Kedungjati – Tuntang ini antara lain pada STA 7+500, 13+500, 17+000, dan pada STA 21+000

Hasil perhitungan geometri dan konstruksi jalan KA:

➤ Lebar Sepur yang digunakan adalah 1435 mm sesuai anjuran RIPNAS 2030 dengan beban gandar 22,5 ton

- Menggunakan rel tipe R54 ASCE 136.
- Bantalan yang digunakan adalah Monoblock Sleepers of German Railways dengan jarak antar bantalan 60 cm. Dengan sistem penambat elastis Pandrol tipe e2000.
- Jarak dari rel ke tepi balas atas pada jalur lurus 315 cm dan pada tikungan 385cm
- Dari hasil perhitungan tebal balas atas didapat 29 cm dan lapisan ballas bawah ditetapkan 25 cm.

3. Hasil perhitungan volume galian dan timbunan tanpa menghitung galian dan timbunan akibat pembuatan jembatan.

- Volume Galian = 3.372.866,494 m³
- Volume Timbunan = 668.197,996 m³

DAFTAR PUSTAKA

- Anshory, I. 2009. **Perencanaan Struktur Jalan Rel Rantau Prapat – Duri II**. Tugas Akhir Di Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Bina Marga. 1997. **Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota**. Jakarta : Bina Marga.
- DEPHUB, 2011. **Rencana Induk Perkeretaapian Nasional 2030**, <URL: <http://perkeretaapian.dephub.go.id/>>
- Menteri Perhubungan, 2012. **Peraturan Menteri No . 60 Tahun 2012 (Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api)**.
- PJKA, 1986. **Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (PeraturanDinas no. 10)**.
- PJKA, 1986. **Penjelasan Perencanaan Konstruksi Jalan Rel (Penjelasan Peraturan Dinas no.10)**.
- Profillidis, V.A. 2006. **Railway Management and Engineering**. Greece: Democritus Thrace University
- UU, 2007. **Perkeretaapian (UU. No. 23 Tahun 2007)**.
- Wahyudi, H. 1985. **Jalan Kereta Api (Struktur dan Geometrik Jalan Rel)**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil-FTSP ITS
- Wahyudi, H. 1993. **Jalan Kereta Api (Struktur dan Geometrik Jalan Rel)**. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil-FTSP ITS
- Zulmi Z. E., Z. 2013. **Perencanaan Geometri Jalan Rel Samarinda-Bontang Provinsi Kalimantan Timur**. Tugas Akhir Di Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.