

Perancangan Jalan Rel dan Geometri Trase dari Ponorogo – Slahung untuk Reaktivasi

Cut Munawwarah dan Wahyu Herijanto

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: herijanto@ce.its.ac.id

Abstrak—Moda transportasi kereta api menjadi salah satu jenis transportasi darat yang cukup penting di Indonesia. Melalui Departemen Perhubungan, pemerintah telah menyusun program revitalisasi pembangunan infrastruktur transportasi kereta api. Adapun tujuan pengaktifan kembali jalur rel kereta api Ponorogo-Slahung diharapkan dapat terjadi penurunan volume kepadatan kendaraan dengan mengalihkan pengangkutan barang dari menggunakan truck menjadi menggunakan kereta api. Metode yang digunakan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah mengidentifikasi masalah yang terjadi pada saat ini di lokasi reaktivasi, mencari beberapa studi literatur yang terkait untuk menambah informasi apa saja yang perlu dilakukan untuk membantu pengerjaan tugas akhir, mengumpulkan data primer melalui survei pengamatan lapangan (Recognisance Survey) yang dibutuhkan seperti kondisi rel eksisting, stasiun yang dilalui, dan tata guna lahan, melakukan pengumpulan data sekunder seperti peta topografi, data kereta api penumpang, brosur bantalan, dan data lokomotif yang digunakan untuk perhitungan konstruksi jalan rel. Kemudian melakukan pengolahan data, evaluasi kondisi eksisting dan konsep reaktivasi. Setelah itu melakukan analisis perancangan geometri menggunakan TCRP report 155 untuk perhitungan geometri yaitu berupa alinyemen horizontal untuk proyeksi sumbu jalan rel pada bidang horizontal yang terdiri dari garis lurus dan lengkungan, dari perhitungan geometri juga didapatkan alinyemen vertikal yaitu proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang melalui sumbu jalan rel. Melakukan perhitungan konstruksi jalan rel berupa bantalan, ballas, subballas, profil rel, sambungan, penambat, dan wesel. Dari hasil analisis perhitungan, didapatkan trase yang digunakan yaitu trase eksisting dengan menggunakan kereta LRT sebagai alternatif. Berdasarkan perhitungan geometrik rel dengan desain kecepatan 40 km/jam dan lengkung horizontal direncanakan berupa S-C-S dengan jumlah 9 tikungan. Untuk perhitungan konstruksi jalan rel menggunakan jenis rel 115 RE berdasarkan TCRP report 155, bantalan beton menggunakan produk dari PT. WIKA BETON yaitu tipe S-35 dengan panjang bantalan untuk lebar sepur 1435 mm yaitu 2440 mm.

Kata Kunci—Kereta Api, Revitalisasi, Kontruksi Jalan Rel, Ponorogo, Slahung.

I. PENDAHULUAN

MODA transportasi kereta api menjadi salah satu jenis transportasi darat yang cukup penting di Indonesia, sebab merupakan transportasi massal yang diminati oleh masyarakat. Namun hingga kini perkembangan industri ini belum maksimal seperti halnya industri jalan tol yang mengalami perkembangan sangat pesat. Sampai dengan 2008 panjang lintasan rel kereta api di Indonesia mencapai 4.813,000 km atau naik 0,2% dibandingkan 4.802.547 km pada tahun sebelumnya. Jumlah gerbong kereta api naik 5,8% yaitu dari 4.840 unit meningkat menjadi 5.120 unit. Sedangkan jumlah penumpang kereta api meningkat 10,9% dari 175 juta orang menjadi 194 juta orang pada 2008 [1].

Jalur kereta api Ponorogo-Slahung merupakan salah satu jalur kereta api nonaktif di Jawa Timur yang menghubungkan Ponorogo dengan Slahung. Jalur ini sepenuhnya termasuk dalam Wilayah Aset VII Madiun serta digunakan untuk memperlancar arus pengangkutan penumpang dan distribusi barang dari Ponorogo menuju Madiun yang selanjutnya dikirim ke berbagai jurusan di Pulau Jawa serta diekspor ke Eropa. Kemudian jalur kereta api dilakukan perpanjangan untuk menghubungkan Ponorogo dengan tambang batu gamping di Slahung [2].

Jalur kereta api Ponorogo-Balong resmi dibuka sejauh 17 kilometer pada tahun 1907. Kemudian seiring meningkatnya pengangkutan batu gamping ke Slahung, maka dilanjutkan perpanjangan rel kereta api Balong-Slahung dengan panjang jalur kereta api sejauh 25,5 km pada tahun 1922. Jalur kereta api Ponorogo-Slahung resmi ditutup pada tahun 1983 karena kalah bersaing dengan mobil pribadi dan angkutan umum [2].

Jalan rel merupakan moda transportasi alternatif jika melihat potensi yang dimiliki kota Ponorogo karena sangat menguntungkan jika dibandingkan dengan moda transportasi lain karena memiliki kapasitas angkut tinggi (500 orang), hemat energi (0,002 liter/orang), aman, bebas hambatan, ramah lingkungan. Selain itu, jalan rel tidak menggunakan lahan seluas lahan jalan raya [3].

Adapun tujuan reaktivasi jalur rel kereta api Ponorogo-Slahung diharapkan dapat terjadi penurunan volume kepadatan kendaraan dengan mengalihkan pengangkutan barang dari menggunakan truck menjadi menggunakan kereta api dan mendongkrak perekonomian daerah tersebut dan potensi pariwisata khususnya di daerah tersebut dan pada umumnya Provinsi Jawa Timur. Potensi ekonomi yang terdapat di jalur Ponorogo-Slahung dominan pertanian, dan yang menjadi unggulan kabupaten Ponorogo adalah komoditas tanaman pangan seperti padi dan palawija.

Perancangan ulang dalam rencana reaktivasi jalur rel akan didesain eksisting dari jalur rel Ponorogo-Slahung sesuai dengan Rencana Induk Perkereta Apian Nasional 2030 (RIPNAS 2030). Lebar sepur awal jalur kereta api Ponorogo-Slahung adalah 1435 mm dan desain rel Ponorogo-Slahung yaitu *single track*.

A. Rumusan Masalah

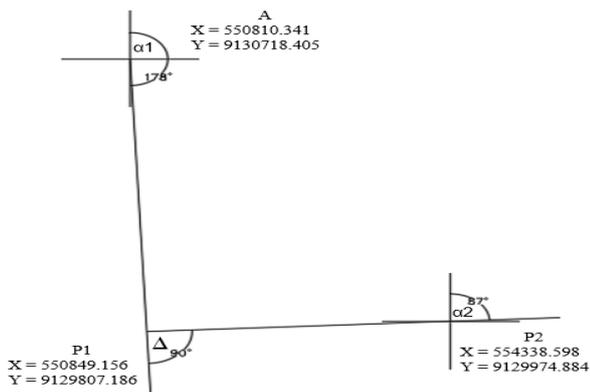
Dari latar belakang diatas maka dapat didapatkan rumusan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang geometrik dari trase alternatif terpilih yang sesuai dengan kriteria?
2. Bagaimana struktur jalan rel standar untuk trase jalan rel Ponorogo-Slahung?

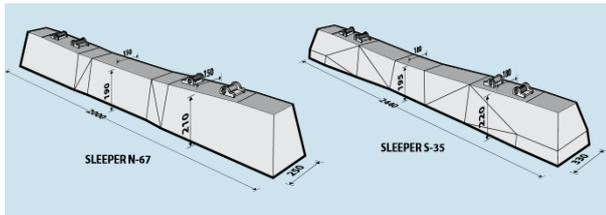
B. Tujuan

Adapun tujuan yang diharapkan dengan rumusan masalah diatas yaitu:

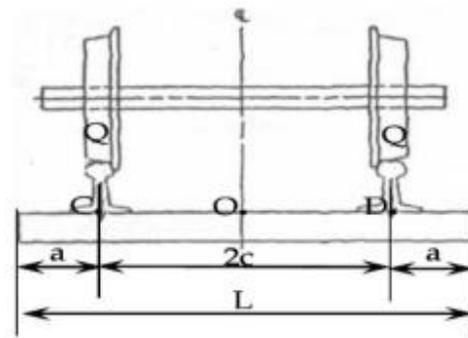
1. Dapat merencanakan geometrik dari trase alternatif terpilih sesuai dengan kriteria



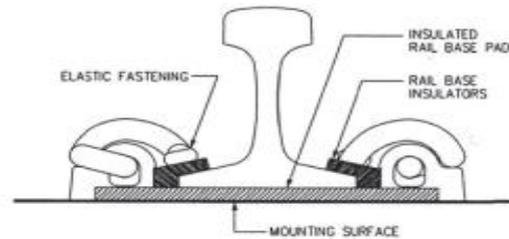
Gambar 1. Sampel Trase Pada Titik A, PI 1, PI 2.



Gambar 2. Bantalan Beton.



Gambar 3. Dimensi Bantalan dan Posisi Beban.



Gambar 4. Komponen Penambat Rel.

2. Merencanakan struktur jalan rel standar untuk trase jalan rel Ponorogo-Slahung.

C. Batasan Masalah

Untuk batasan masalah dalam perencanaan trase Ponorogo-Slahung meliputi:

1. Perencanaan geometri jalan rel dari Ponorogo sampai Slahung.
2. Tidak membahas persinyalan dan stasiun.
3. Tidak menghitung kekuatan timbunan dan konstruksi perkuatan lereng.

D. Manfaat

Pada akhir setelah perancangan ini selesai, diharapkan dapat bermanfaat bagi pemerintah untuk perencanaan reaktivasi pada pembangunan jalur rel kereta api Ponorogo-Slahung di Jawa Timur.

II. METODOLOGI

A. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan perumusan masalah yang ada pada kondisi saat ini seperti, perancangan trase jalan rel Ponorogo-Slahung yang sesuai dengan kondisi topografi, konstruksi jalan rel yang dibutuhkan dalam perancangan jalan rel Ponorogo - Slahung ini.

B. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk menambah informasi mengenai kereta api yang dapat menunjang penyelesaian perancangan ini. Dari studi pustaka ini didapatkan kriteria desain yang nantinya akan digunakan dalam pengolahan data. Beberapa literatur terkait antara lain sebagai berikut:

1. Anugrah,(2015) *Reaktivasi Jalur Rel Kedungjati – Tuntang Dengan Jalur Double Track Dan Lebar Sepur 1435 mm*. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Hazubi,(2015) *Geometric Jalan Rel Socah – Sampang*. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

3. Ardian, (2017) *Studi Perancangan Alternatif Geometrik Dan Struktur Jalan Rel Untuk Reaktivasi Jalur Magelang – Temanggung – Parakan*. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Sakti, (2017) *Perancangan Alternatif Geometrik Jalan Rel Untuk Reaktivasi Jalur Kereta Api Yogyakarta-Magelang*. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. *Transit Cooperative Research Program Report 155*.
6. PM. 60 tahun 2012
7. Buku dan jurnal Terkait

C. Pengumpulan Data

Untuk penyusunan perancangan pengumpulan data diperlukan untuk merencanakan jalur alternatif kereta api Ponorogo - Slahung adalah data primer – sekunder. Berikut ini akan dijelaskan kebutuhan data primer – sekunder beserta sumbernya.

1) Data Primer

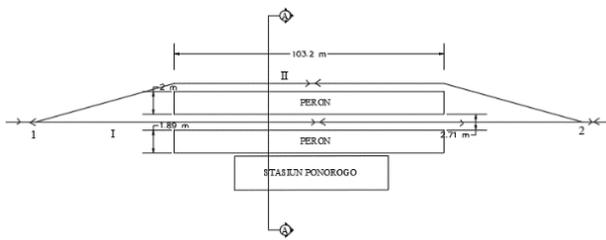
- a. Survey pengamatan lapangan (*Reconnaissance Survey*):
- b. Kondisi rel eksisting
- c. Stasiun yang dilalui
- d. Tata guna lahan

2) Data Sekunder

- a. Peta topografi dari Badan Geospasial untuk mengetahui kontur pada lokasi eksisting.
- b. PT.INKA untuk mendapatkan data penumpang kereta api.
- c. Brosur bantalan dari PT.Wika yaitu untuk mengetahui jenis bantalan yang akan digunakan sesuai dengan sepur yang digunakan.
- d. Data spesifikasi teknis yaitu untuk perencanaan konstruksi jalan rel.

D. Pengolahan Data

Setelah data dikumpulkan dilakukan pengolahan data. Perhitungan teknis dilakukan untuk menghasilkan input bagi proses perencanaan selanjutnya, Pengolahan data yang dilakukan meliputi pemilihan trase, perhitungan geometrik jalan rel dan perencanaan konstruksi jalan rel.



Gambar 5. Dimensi Peron Stasiun Ponorogo.



Gambar 6. Denah Stasiun Ponorogo

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Konsep Reaktivasi

Dengan kondisi eksisting dari jalur rel yang telah dibahas sebelumnya dapat diketahui bahwa kebanyakan bekas jalan rel telah diubah menjadi perumahan, beberapa tidak digunakan dan dijadikan daerah persawahan oleh warga. Untuk menentukan konsep reaktivasi, hasil survei tersebut menjadi pertimbangan. Dalam perencanaan ini jenis kereta rencana ditentukan antara *Heavy Rail* atau *Light Rail*. Adapun beberapa pertimbangan dalam memilih jenis kereta antara lain:

1. Kondisi Lingkungan Sekitar
2. Medan Dari Trase
3. Kecepatan Rencana

B. Perencanaan Sudut Azimuth dan Sudut Tikungan

Berikut adalah contoh perhitungan sudut azimuth dan sudut tikungan pada trase dengan sampel trase pada titik A, PI 1, PI 2 yang akan ditampilkan pada Gambar 1:

1) Mencari nilai ΔX dan ΔY

$$\begin{aligned} \text{Koordinat } \Delta X (\text{PI } 1) &= X(\text{PI } 1) - X(A) \\ &= 550849.156 - 550810.341 \\ &= 38.815 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koordinat } \Delta Y (\text{PI } 1) &= Y(\text{PI } 1) - Y(A) \\ &= 9129807.186 - 9130718.405 \\ &= -911.219 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koordinat } \Delta X (\text{PI } 2) &= X(\text{PI } 2) - X(\text{PI } 1) \\ &= 554338.598 - 550849.156 \\ &= 3489.442 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koordinat } \Delta Y (\text{PI } 2) &= Y(\text{PI } 2) - Y(\text{PI } 1) \\ &= 9129974.884 - 9129807.186 \\ &= 167.698 \end{aligned}$$

2) Mencari Panjang trase tiap titik (L)

$$\begin{aligned} \text{Titik A ke titik PI } 1 &= \sqrt{\Delta X (\text{PI } 1)^2 + \Delta Y (\text{PI } 1)^2} \\ &= \sqrt{38.815^2 + (-911.219)^2} \\ &= 912.045 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Titik PI } 1 \text{ ke titik PI } 2 &= \sqrt{\Delta X (\text{PI } 2)^2 + \Delta Y (\text{PI } 2)^2} \\ &= \sqrt{3489.442^2 + 167.698^2} \\ &= 3493.469 \end{aligned}$$

3) Mencari sudut azimuth

$$\begin{aligned} \text{Sudut } \alpha_1 (\text{Kuadran } 2) &= \tan^{-1} \times \frac{\text{koordinat } \Delta X (\text{PI } 1)}{\text{koordinat } \Delta Y (\text{PI } 1)} + 180 \\ &= \tan^{-1} \times \frac{38.815}{-911.219} + 360 \\ &= 177.561 \end{aligned}$$

Tabel 1.
Data Wesel Stasiun Ponorogo

No Wesel	Sudut	Arah Wesel		Type Rel
		Kanan	Kiri	
1	1 : 12		Kr	115 RE
2	1 : 12	Kn		115 RE

$$\begin{aligned} \text{Sudut } \alpha_2 (\text{Kuadran } 1) &= \tan^{-1} \times \frac{\text{koordinat } \Delta X (\text{PI } 2)}{\text{koordinat } \Delta Y (\text{PI } 2)} \\ &= \tan^{-1} \times \frac{3489.442}{167.698} + 180 \\ &= 87.249 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Mencari sudut tikungan PI } 1 & \\ &= \text{sudut azimuth PI } 2 - \text{sudut azimuth PI } 1 \\ &= 87.249 - 177.561 \\ &= -90.312 \end{aligned}$$

C. Alinyemen Horizontal

Perencanaan alinyemen horizontal menggunakan parameter lengkung SCS (Spiral-Circle-Spiral). Berikut adalah contoh perhitungan lengkung horizontal pada titik PI 1 menggunakan parameter dibawah ini.

$$\begin{aligned} \Delta \text{PI } 1 &= -90.132 \\ R \text{ rencana} &= 200 \text{ m} \\ V \text{ rencana} &= 40 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

1) Peninggian Rel (h)

$$\begin{aligned} E &= 12 \times \frac{V^2}{R} \\ &= 12 \times \frac{40^2}{200} \\ &= 96 \text{ mm} \end{aligned}$$

2) Lengkung Peralihan / Spiral (Lh)

$$\begin{aligned} L_s &= 0,008 \times V \times E \\ &= 0,008 \times 40 \times 96 \\ &= 30,72 \text{ m} \end{aligned}$$

3) Sudut lengkung peralihan / spiral (Θs)

$$\begin{aligned} \Theta_s &= \frac{1}{2} \times \frac{L_s}{R} \\ &= \frac{1}{2} \times \frac{30,72}{200} \\ &= 0.0768 \text{ rad} = 4.4025^\circ \end{aligned}$$

4) Panjang Lengkung Peralihan / circle (Lc)

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{\Delta c - 2\Theta_s}{Dc} \times 100 \\ &= \frac{90,132 - 2(4.4025^\circ)}{873.188} \times 100 \\ &= 9.334 \text{ m} \end{aligned}$$

5) Jarak dari busur lingkaran terhadap sudut tangen (p)

$$\begin{aligned} p &= L_s \times \frac{\Theta_s}{12} - \frac{\Theta_s^3}{335} + \frac{\Theta_s^5}{15840} \\ &= 30,72 \times \frac{4.4025}{12} - \frac{4.4025^3}{335} + \frac{4.4025^5}{15840} \\ &= 6,67 \text{ m} \end{aligned}$$

6) Jarak dari titik Ts ke titik P (K)

$$\begin{aligned} k &= L_s \times \left(\frac{1}{2} - \frac{\Theta_s^2}{60} + \frac{\Theta_s^4}{2160} - \frac{\Theta_s^6}{131040} \right) \\ &= L_s \times \left(\frac{1}{2} - \frac{\Theta_s^2}{60} + \frac{\Theta_s^4}{2160} - \frac{\Theta_s^6}{131040} \right) \\ &= 9,07 \text{ m} \end{aligned}$$

7) Jarak dari titik TS ke titik PI (Ts)

$$\begin{aligned} T_s &= (R + p) \times \text{tg}\left(\frac{1}{2}\Delta\right) + k \\ &= (200 + 6,67) \times \text{tg}(-90.132/2) + 9,07 \\ &= 502,1048 \text{ m} \end{aligned}$$

8) Jarak eksternal total dari PI ke tengah Lc (E)

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

$$= (200+6,67) \cos\left(\frac{1}{\cos\frac{-90,132}{2}} - 1\right) + 6,67$$

$$= 1707,773 \text{ m}$$

9) Jarak dari titik TS ke titik proyeksi pusat Ys(Xs)

$$X_s = L_s \times \left(1 - \frac{\theta_s^2}{10} + \frac{\theta_s^4}{216} - \frac{\theta_s^6}{9360}\right)$$

$$= 30,72 \times \left(1 - \frac{4,4035^2}{10} + \frac{4,4035^4}{216} - \frac{4,4035^6}{9360}\right)$$

$$= 0,078 \text{ m}$$

10) Jarak dari titik SC ke garis proyeksi TS (Ys)

$$Y_s = L_s \times \left(\frac{\theta_s}{3} - \frac{\theta_s^3}{42} + \frac{\theta_s^5}{1320} - \frac{\theta_s^7}{75600}\right)$$

$$= 30,72 \times \left(\frac{4,4025}{3} - \frac{4,4025^3}{42} + \frac{4,4025^5}{1320} - \frac{4,4025^7}{75600}\right)$$

$$= 8,1330 \text{ m}$$

D. Alinyemen Vertikal

Perencanaan alinyemen vertikal direncanakan dengan memakai acuan dari peraturan *Transit Cooperative Research Program Report 155*

Berikut adalah parameter yang harus dikerjakan dalam menentukan alinyemen vertikal.

Vencana = 40 km/jam
 Elevasi PVI = +104.10 m (Elevasi rencana)
 G1 = 0.51%
 G2 = -0.64%
 $L_{vc} = \frac{AV^2}{215}$
 $= \frac{g_1 - g_2}{215} = \frac{0,51\% - (-0,64\%) \times 40^2}{215}$
 = 85.581 m
 $R_v = \frac{L_{vc}}{0,01(g_2 - g_1)}$
 $= \frac{85,581 \text{ m}}{0,01(-0,64\% - 0,51\%)}$
 = 98,41 m
 e = $\frac{(g_2 - g_1)}{8} \times L_{vc}$
 $= \frac{(-0,64\% - 0,51\%)}{8} \times 85,58 \text{ m}$
 = 0.123 m
 Elevasi PVC = $PV1 - G1 \times \frac{1}{2} \times L_{vc}$
 $= 104,10 - 0,54\% \times \frac{1}{2} \times 85,58$
 = 103.88
 Elevasi PVT = $PV1 - G2 \times \frac{1}{2} \times L_{vc}$
 $= 104,10 - (-0,64\% \times \frac{1}{2} \times 85,58)$
 = 104.37

E. Kecepatan Rencana

Kecepatan Rencana merupakan kecepatan yang akan digunakan untuk merencanakan konstruksi jalan rel. kecepatan rencana dapat dihitung seperti dibawah ini:

Vrencana = 1,25 x Vmaks
 Vrencana = 1,25 x 40 km/jam
 Vrencana = 50 km/jam

F. Rencana Dimensi Profil Rel

Dimensi Rel direncanakan memakai tipe rel 115RE. Dengan contoh perhitungan sebagai berikut.

Tipe Rel = 115RE
 Berat Rel Permeter = 56.9 kg/m
 Momen Inersia (Ix) = 2726 cm4
 Modulus Elastisitas (E) = 2,1x10⁶ kg/cm2

Luas Penampang (S) = 72.37 cm2
 Jarak tepi bawah ke garis netral (G) = 82.55 mm
 Beban Gandar LRT = 12 Ton
 Tahanan Momen Dasar (Zx) = 295 cm3
 Modulus Elastisitas Jalan Rel (k) = 180 kg/cm2

Perhitungan transformasi beban roda dinamis menjadi statis menggunakan persamaan Talbot berikut:

a. Beban Dinamis Roda (Pd)

$$P_{statis} = \frac{\text{Beban Gandar}}{2} = \frac{12000 \text{ kg}}{2}$$

$$P_{statis} = 6000 \text{ kg}$$

$$P_{dinamis} = P + 0,01 \times P \times \left(\frac{V}{1,609} - 5\right)$$

$$P_{dinamis} = 6000 + 0,01 \times 6000 \times \left(\frac{50}{1,609} - 5\right)$$

$$P_{dinamis} = 7564,51 \text{ kg}$$

b. Dumping Faktor (λ)

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4 \times E \times I_x}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times (2,1 \times 10^6) \times 2726}}$$

$$\lambda = 0,00942 \text{ cm}^{-1}$$

c. Momen Maksimum (Ma)

$$M_o = \frac{P_d}{4 \times \lambda}$$

$$M_o = \frac{7564,51 \text{ kg}}{4 \times 0,00942}$$

$$M_o = 200841,736 \text{ kg.cm}$$

$$M_a = 0,85 \times M_o$$

$$M_a = 0,85 \times 200841,736$$

$$M_a = 170715,4762 \text{ kg.cm}$$

d. Cek terhadap Tegangan Izin rel

$$\sigma_{izin} = \frac{(M_a \times G)}{I_x}$$

$$\sigma_{izin} = \frac{(170715,4762 \times 8,25)}{2726}$$

$$\sigma_{izin} = 516,655 \text{ kg/cm}^2 < 1843 \text{ kg/cm}^2$$

Memenuhi syarat (OK)

e. Cek terhadap Tegangan Dasar Rel

$$S_{base} = \frac{M_a}{W_b}$$

$$S_{base} = \frac{170715,4762}{295}$$

$$S_{base} = 578,7 \text{ kg/cm}^2 < 1343 \text{ kg/cm}^2$$

Memenuhi Syarat (OK)

G. Penentuan Tipe Bantalan

Berdasarkan PM No. 60 Tahun 2012 untuk perencanaan tipe bantalan kereta api trase Ponorogo – Slahung menggunakan jenis bantalan beton dikarenakan saat ini jenis bantalan yang paling sering digunakan adalah bantalan beton yang dinilai lebih mudah dalam pengadaan, lebih tahan lama, serta lebih ekonomis. Pada tugas akhir ini perencanaan bantalan menggunakan bantalan beton buatan PT. WIKA. Untuk dimensi dan spesifikasi bantalan akan ditampilkan pada Gambar 2:

Data Bantalan

Lebar sepur = 1435 mm
 Panjang bantalan = 2440 mm
 Kekuatan material (fc') = K-600
 Momen inersia bantalan:
 Di bawah rel (A) = 21974,5490 cm⁴

Di tengah bantalan (B) = 17488,9339 cm⁴
 Kemampuan momen:
 Di bawah rel (+) = 2300 kgm
 Di bawah rel (-) = 1500 kgm
 Di tengah bantalan (+) = 1300 kgm
 Di tengah bantalan (-) = 2100 kgm

Nilai modulus elastisitas:
 $E = 6400 \times \sqrt{fc'}$
 $E = 143108,35 \text{ kg/cm}^2$

Dumping faktor (λ):

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4 \times E \times I.A}}$$

Dengan menggunakan rumus di atas, didapatkan nilai λ :
 λ di bawah rel = 0,0120
 λ di tengah bantalan = 0,0131

Kekuatan Struktur Bantalan

Beban yang akan diterima bantalan dapat digambar seperti pada Gambar 3.

Panjang bantalan (L) = 2440 mm = 244 cm

Lebar sepur = 1435 mm = 143,5 cm

Jarak as rel ke tepi bantalan (a) = $\frac{2440 - 1435}{2} - \frac{Crel}{2}$
 = 468,25 mm

Jarak antar as rel (c) = 75.18

λ di bawah rel = 0,0126

λ di tengah bantalan = 0,0133

Q = 60% x Pd
 = 60% x 7564,512 kg
 = 4538,707 kg

Kemudian untuk memudahkan perhitungan nilai trigonometri (λ) maka digunakan *software* bantuan yaitu *Microsoft Excel*. Hasil perhitungan nilai trigonometri (λ) dari momen di bawah rel dan tengah bantalan

Setelah diketahui nilai trigonometri (λ), selanjutnya nilai-nilai di atas dihitung momen pada bawah rel (Momen C/D) dan momen ditengah bantalan (Momen O).

1) Momen di bawa rel (Momen C/D):

$$\frac{Q}{4\lambda} \times \frac{1}{(\sin\lambda \times L) + (\sinh\lambda \times L)} \times \left[\begin{array}{l} (2 \times \cosh^2 \lambda a) \times (\cos 2\lambda c + \cosh \lambda L) - \\ (2 \times \cosh^2 \lambda a) \times (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) - \\ (\sinh 2\lambda a) \times (\sin 2\lambda c + \sinh \lambda L) - \\ (\sin 2\lambda a) \times (\sinh 2\lambda c + \sinh \lambda L) \end{array} \right]$$

= 89889,11 x 11,34743 x 0,000721
 = 735,204 kg.cm < 230000 kg.cm (Memenuhi)

2) Momen di tengah bantalan (Momen O):

$$\frac{Q}{2\lambda} \times \frac{1}{(\sin\lambda \times L) + (\sinh\lambda \times L)} \times \left[\begin{array}{l} (\sinh \lambda c) \times (\sin \lambda c + \sinh \lambda (L-c)) + \\ (\sin \lambda c) \times (\sinh \lambda c + \sinh \lambda (L-c)) + \\ (\cosh \lambda c) \times (\cos \lambda (L-c)) - \\ (\cos \lambda c) \times (\cosh \lambda (L-c)) \end{array} \right]$$

= -171206 x 10,806 x 0,000295
 = - 546,586 kg.cm < -210000 kg.cm (Memenuhi)

H. Penambat Rel

Penambat rel adalah pengikat rel ke bantalan rel kereta api. Pindad (Persero) Beton. Berikut ini adalah komponen penyusun alat penambatnya pada Gambar 4:

I. Balas dan Subbalas

Ballasted Track merupakan jenis trek yang paling umum digunakan dalam angkutan kereta ringan (LRT). Perhitungan parameter-parameter dan hasil tebal yang sudah ada dari TCRP yaitu untuk dimensi balas dan sub balas.

Tebal Balas = 255 mm (25,5 cm)

Tebal Sub Balas = 200 mm (20 cm)

J. Perencanaan Peron

Peron adalah jalan kecil yang sejajar dengan rel kereta api tempat lalu lalang penumpang

Pada sampel perhitungan dimensi peron akan digunakan Stasiun Ponorogo. Jenis kereta yang digunakan adalah Light Rail Transit (LRT), berdasarkan data yang didapat dari PT. INKA dimensi moda kereta api yang digunakan adalah:

Konfigurasi = Mc1 – T – Mc2
 Total Panjang kereta = Mc1 + T + Mc2 = 51,6 m
 Lebar kereta = 2.650 mm
 Tinggi kereta = 3.600 mm
 Kapasitas penumpang duduk = 80 penumpang
 Kapasitas penumpang berdiri = 320 penumpang
 Panjang Peron

Untuk Panjang peron dihitung menggunakan ketentuan dibawah ini:

$Lp = 2 \times (\text{Panjang KA} + \text{Penghubung Rangkaian})$
 = 2 x (51,6 m)
 = 2 x 51,6 m = 103.2 m

1) Lebar Peron

$$b = \frac{0,64 \text{ m}^2/\text{orang} \times VxLF}{I}$$

$$b = \frac{0,64 \text{ m}^2/\text{orang} \times 400 \times 80\%}{103.2}$$

$$= 1.984 \text{ m}$$

2) Jarak Antar Peron

Jarak antar peron adalah sama dengan lebar ruang bebas yaitu 2680 mm.

3) Tinggi Peron

Tinggi peron adalah setinggi lantai kereta, untuk Stasiun Ponorogo direncanakan menggunakan peron tinggi dengan tinggi peron 1000 mm.

K. Perencanaan Wesel

Jenis wesel yang digunakan adalah jenis wesel 1:12 dikarenakan pada umumnya di Indonesia menggunakan jenis wesel 1:12. Tabel 1 adalah data perencanaan wesel dan emplasemen stasiun Ponorogo:

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa pemilihan perencanaan perhitungan geometrik jalan rel yaitu alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal Ponorogo - Slahung maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1) Untuk pemilihan trase menggunakan trase eksisting yang sudah ada dikarenakan trase yang sekarang masih dapat digunakan jadi tidak menggunakan MCA. Untuk perencanaan geometrik jalan rel digunakan:

- Alinyemen Horizontal dan Vertikal
 Rminimal LRT (TCRP) = 25 meter
 Rrencana = 200 – 300 m
 Vrencana = 40 km/jam

2) Untuk kontruksi jalan rel digunakan:

Lebar sepur = 1435 mm
 V rencana = 50 km/jam
 Beban Gandar LRT = 12 Ton
 Bantal an = Tipe S-35(Produk Wika Beton)
 Panjang Bantalan = 244 cm

Jarak Bantalan	= 30,5 cm (TCRP)
Tebal Balas	= 25,5 cm (TCRP)
Tebal Subbalas	= 200 cm (TCRP)
Nomor wesel	= W 12

Untuk dimensi tipe Rel 115 RE:

A	= 168.28 mm
B	= 139.70 mm
C	= 69.06 mm
D	= 15.88 mm
E	= 42.86 mm
F	= 28.58 mm
G	= 82.55 mm
R	= 203.2 mm
S	= 72.37 cm ²
Berat Rel	= 56.9 Kg/m

Berdasarkan hasil perhitungan emplasemen baru, didapat hasil sebagai berikut:

Jenis kereta api	= Light Rail Transit(LRT)
Panjang kereta api	= 51.600 mm
Lebar Kereta	= 2.650 mm
Panjang Peron	= 103,2 m
Dimensi Peron Stasiun Ponorogo dapat dilihat pada Gambar 5. Denah Stasiun Ponorogo pada Gambar 6.	

B. Saran

Saran dalam perencanaan jalur kereta trase Ponorogo – Slahung adalah sebagai berikut:

1. Kondisi eksisting trase jalan rel Ponorogo-Slahung dapat berubah sewaktu-waktu. Kondisi lapangan sebaiknya ditinjau kembali jika akan dilakukan reaktivasi pada jalur rel kereta api tersebut.
2. Perencanaan konstruksi LRT Ponorogo-Slahung masih banyak terdapat kekurangan seperti penentuan bangunan stasiun, peron, diharapkan dapat menampung jumlah penumpang kereta api.
3. Perancangan alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal menggunakan peraturan TRCP dan merupakan saran dari penyusun dan perlu ditinjau kembali jika peraturan khusus LRT diindonesia sudah ada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indonesian Commercial Newsletter, "Perkembangan Infrastruktur Transportasi Kereta Api," 2010. [Online]. Available: [http://www.datacon.co.id/Infrastruktur 2010KeretaApi.html](http://www.datacon.co.id/Infrastruktur%20KeretaApi.html).
- [2] Kereta-Api.Info, "Sasaran pengembangan dalam rencana Induk Perkeretaapian Nasional Hingga Tahun 2030," 2016. [Online]. Available: <https://kereta-api.info/sasaran-pengembangan-dalam-rencana-induk-perkeretaapian-nasional-hingga-tahun-2030-6114.html>.
- [3] Direktorat Jendral Bina Marga, "Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antar Kota Nomor 38," Jakarta, 1997.