

PERANCANGAN STRUKTUR JALAN REL

ANTARA STASIUN CIGADING - STASIUN ANYER KIDUL

Muhamad Fahmi Azis, Dasa Aprisandi dan Maulfi Kharis Abadi

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Banten Jaya, Jl. Raya Ciwaru No. 73 Kota Serang, Banten

Email : fahmiazis379@gmail.com

Email : mahesadepson@gmail.com

Email : maulfikharisabadi@umbaja.ac.id

ABSTRAK

Dalam perencanaan jalan rel terdapat Perencanaan struktur yang berisi spesifikasi rel, bantalan, penambat serta ketebalan ballast yang akan digunakan untuk menopang beban kereta api. Dalam perencanaan jalan rel Data yang digunakan berupa data sekunder yaitu, literature yang dikumpulkan seperti buku dan artikel. Juga melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi jalur kereta api. Dari hasil penelitian diperoleh cara untuk merencanakan struktur jalan rel dengan nilai kecepatan rencana 120 km/jam dari stasiun Cigading-stasiun Anyer Kidul serta tetap memperhatikan atura-aturan, yaitu sebagai berikut: 1. Memilih kategori kelas jalan rel yang digunakan sesuai dengan PM No.60 Tahun 2012, kemudian memilih data-data perencanaan sesuai kelas jalan yang dipilih seperti jenis tipe rel, bantalan, penambat, dan syarat-syarat ketebalan balas. 2. Dengan menggunakan kecepatan rencana 120 km/jam yang melebihi batas kecepatan maksimum PM No.60 Tahun 2012, maka dilakukan analisis perhitungan menggunakan parameter-parameter keamanan. Hasil dari analisis perhitungan membuktikan bahwa hasil kecepatan rencana 120 km/jam masih mampu dilalui oleh kelas I dengan tipe rel R.54, dengan tebal ballas 30 cm, jenis bantalan beton menggunakan K-500 dan penambat tipe pandrol E-Clip dengan Ø 20 mm dengan pelengkap pelat landas Ruber Pad.

Kata Kunci : *perencanaan, jalan rel, kereta api*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejarah perkeretaapian di Indonesia dimulai ketika pencangkulan pertama jalur kereta api Semarang-Vorstenlanden (Solo-Yogyakarta) di Desa Kemijen oleh Gubernur Jendral Hindia Belanda Mr. L.A.J Baron Sloet van de Beele tanggal 17 Juni 1864. Pembangunan dilaksanakan oleh perusahaan swasta *Nederlandsch Indische Spoorweg Maatschappij (NISM)* menggunakan lebar sepur 1435 mm. Selain di Jawa, pembangunan jalur kereta api dilaksanakan di Aceh (1876), Sumatera Utara (1889), Sumatera Barat (1891), Sumatera Selatan (1914), dan Sulawesi (1922). Sementara itu di Kalimantan, Bali, dan Lombok.

Sejarah Kereta Api Di Banten Lintas kereta api Labuan-Rangkasbetung (nama lama Rangkasbitung) mulai dioperasikan sekitar pertengahan tahun 1906. Dua puluh tahun kemudian, lintas ini cukup ramai dengan perjalanan kereta penumpang dan barang sebanyak 5 kali pergi pulang sehari. Stasiun Anyer Kidul (ANK) merupakan stasiun kereta api nonaktif kelas II yang terletak di Cikoneng, Anyar, Serang. Stasiun ini termasuk dalam Wilayah Aset I Jakarta serta merupakan stasiun kereta api yang lokasinya paling barat di Pulau Jawa. Posisi stasiun ini berada agak masuk dari jalan raya nasional lintasselatan Jawa (Rute 3), dan letaknya tidak jauh dari Titik Nol Jalan Raya Anyer-Panarukan.

Perkeretaapian adalah satu kesatuan sistem yang terdiri atas prasarana, sarana, dan sumber daya manusia, serta norma, kriteria, persyaratan, dan prosedur untuk penyelenggaraan transportasi kereta api (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2011). Akibat dari menurunnya kualitas pelayanan pada moda transportasi jalan raya tersebut, diperlukan adanya alternatif pelayanan moda transportasi (Nugroho dkk. 2016). Jalan rel merupakan satu kesatuan konstruksi yang terbuat dari baja, beton atau konstruksi lain yang terletak di permukaan, di bawah dan di atas tanah atau bergantung beserta perangkatnya yang berfungsi sebagai penyangga dan pengarah jalannya kereta api (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2000). Dalam perencanaan jalan rel terdapat dua tahap perencanaan, yaitu perencanaan geometrik jalan rel dan perencanaan struktur jalan rel. Geometrik jalan rel berisi trase yang akan dilalui oleh kereta api yang melewati berbagai jenis tata 1 sampai 2 guna lahan mulai dari permukiman, jalan raya, persawahan dan lain-lain. Perencanaan struktur berisi spesifikasi rel, bantalan, penambat serta ketebalan ballast yang akan digunakan untuk menopang beban kereta api.

Berdasarkan penjelasan diatas penulis melakukan penelitian dengan judul “Perencanaan Sruktur Jalan Rel antara Stasiun Cigading - Stasiun Anyer Kidul".Tujuan dari penelitian adalah mengetahui struktur jalan rel yang tepat untuk digunakan pada lintas Stasiun Cigadung-Stasiun Anyer Kidul.

2.METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat Dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di stasiun Cigading – stasiun Anyer Kidul

2.2 Pegolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan beberapa teknik pengolahan data sekunder.

2.2.1 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah survey/observasi lapangan dan studi pustaka. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

a. Metode Observasi

Metode observasi yaitu dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan agar didapat kondisi keadaan lapangan sesungguhnya. Hal ini mutlak dilakukan agar dapat diketahui kondisi aktual pada saat ini, sehingga diharapkan tidak terjadi kesalahan dalam evaluasi dan perencanaan.

b. Metode Studi Pustaka

Metode studi pustaka yaitu dengan. Menggunakan buku atau literatur. Data yang diperoleh dari PM. No 60 Tahun 2012 terkait ini biasa disebut data sekunder.

3.DATA DAN ANALISA

3.1 Data Desain

Dalam perencanaan struktur jalan rel stasiun Cigading- stasiun Anyer kidul ini digunakan beberapa data untuk mendesain komponen-komponen struktur jalan rel. Parameter-parameter tersebut yaitu.

1. Kelas Jalan yang digunakan adalah kelas Jalan 1
Digunnakan kelas Jalan 1 berdasarkan PM No.60 tahun 2012.
2. Kecepatan rencana (V_r) = 120 km/jam
Digunakan 120 km/jam berdasarkan kecepatan yang digunakan dalam perencanaan jalur kereta api stasiun Cigading-stasiun Anyer Kidul.
3. Berat lokomotif(w lokomotif) = 90.000 kg.
Digunakan 90.000 kg berdasarkan kereta ukur yang digunakan untuk uji coba jalur kereta api stasiun Cigading-stasiun Anyer Kidul.
4. Type boogie CC (2 boogie dan 3 gandar)
Type boogie ini digunakan berdsarkan boogie yngdigunakan kereta ukur. Type boogie CC juga mampu mengurangi distribusi beban dari lokomotif ke rel.
5. Type Rel = 54
Type rel ini digunkan berdasarkan PM No.60 Tahun 2012 pada kelas jalan 1 dengan type R.54.
6. Suhu pemasangan rel dan suhu maksimumnya
Suhu pemasangan yang menunjukan suhu terendah yang mampu dicapai 22°C,Suhu maksimum merupakann suhu tertinggi yang mampu dicapai di kota Cilegon yaitu 33°C.
7. Penambat elastis E-Clip dan pelat landas *Rubber Pad*.
Berdasarkan PM.60 Tahun 2012 pada jalan 1, type penambat yang digunakan adalah penambat elastis. Penambat elastis yang digunakan adalah Pandrol E-Clip dengan pelat Landas *Rubber Pad*.
8. Mutu Bantalann K-500 dengan metode pratekan.
Delam standar perencanaan bantalan, untuk kecepatan >120 km/jam digunakan mutu beton K-500.
9. Material ballas (batu pecah buluri ukuran 2-3 cm dan 5-7 cm)
10. Material Subbalas (batu pecah buluri 1-2 cm)
11. Materia timbunan tanah dasar (Timbunan Gawalise,Palu).

3.2 Perhitungan Struktur Jalan Rel

a. Panjang Minimum Rel.

Data:

Type Rel = R.45

Modulus elastisitas rel (E) = $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Gaya lawan bantalan (r) = 450 kg/m (bantalan beton)

Koefisien muai panjang (λ) = $2,2 \times 10^{-5}^\circ\text{C}$

Suhu pemasangan rel (T1) = 22°C suhu terendah yang mungkin terjadi dikota Cilegon

Suhu maksimum (T2) = 33°C

Luas penampang (A) = 69,34 cm²

Perhitungan:

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$= 33 - 22$$

$$= 11^\circ\text{C}$$

$$L = \frac{E \times A \times \lambda \times \Delta T}{r}$$

$$= \frac{(2,1 \times 10^6) \times 69,34 \times (2,2 \times 10^{-5}) \times 11}{450}$$

$$= 78,308 \text{ m}$$

$$2L = 2 \times 78,308 = 156,616$$

Panjang rel harus sesuai kelipatan 25m (nilai panjang rel/batang), yaitu 156,616 $\approx$ 175.

Dengan nilai panjang rel minimum adalah 275 m.

Syarat:

Panjang rel minimum $\geq 275 \text{ m}$

175 m ≥ 275 (**tidak memenuhi**)

Karena panjang rel tidak memenuhi panjang rel minimum, maka digunakan panjang rel minimum yaitu 275m.

b. Dimensi Rel

Data:

Menggunakan rumus PD 10 tahun 1986

Kecepatan rencana (Vr) = 1,25 x Vmaks ; dimana

Vmaks = 120 km/Jam

$$= 1,25 \times 120$$

$$= 150 \text{ km/jam}$$

Berat lokomotif ($W_{lokomotif}$) = 90.000 kg

Type boogie = Lokomotif CC; 2 boogie, 3 gandar

Kekakuan rel (k) = 180 kg/cm²

Modulus elastisitas (E) = 2,1 x 10⁶ kg/cm²

Inersia rel terhadap sb.x (Ix) = 2346 cm⁴ (R.54)

Jarak tepi bawah ke garis- = 7,620 cm

baris netral (yb)

Tegangan ijin = 1325 kg/cm²

Tegangan max. dasar .rel = 1042,3 kg/cm²

Tahanan momen dasar (Wb) = 250 cm³ (R.54)

Perhitungan:

$$P_{statis} = \frac{\text{beban loko}}{12}$$

$$= \frac{90.000}{12} = 7.500 \text{ kg}$$

$$\text{Indeks beban dinamis (Id)} = 1 + 0,01 \frac{vr}{1,609} - 5$$

$$= 1 + 0,01 \frac{150}{1,609} - 5$$

$$= 1,88225$$

Beban dinamis (p_d)

$$= Id \times p_{statis}$$

$$= 1,88225 \times 7.500$$

$$= 14.116,875$$

Dumping factor (λ)

$$= \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}}$$

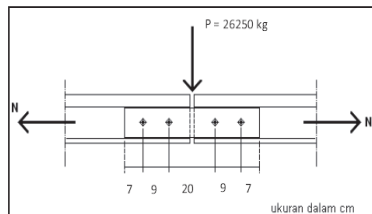
$$= \sqrt[4]{\frac{180}{4(2,1 \times 10^6)2346}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen max. Pada rel (Ma)} &= 0,0097 \text{ cm}^{-1} \\
 &= \frac{Pd}{4\lambda} \\
 &= \frac{14.116,875}{4 \times 0,0097} \\
 &= 34.233,421 \text{ kg.cm} \\
 \text{Tegangan yang terjadi } (\sigma) &= \frac{Ma.y}{Ix} \\
 &= \frac{34.233,421 \times 7,620}{2.346} \\
 &= 111,192 \text{ kg/cm}^2 \leq 1325 \text{ kg/cm}^2 \\
 &\text{(memenuhi)} \\
 \text{Tegangan di dasar rel } (s_{base}) &= \frac{Ma}{Wb} \\
 &= \frac{34.233,421}{250} \\
 &= 136,933 \text{ kg/cm}^2 \leq 1042,3 \text{ kg/cm}^2 \\
 &\text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi R.54 memenuhi untuk digunakan pada kecepatan rencana 120 km/jam dengan berat lokomotif 90.000 kg.

c. Sambungan Rel.

Data:



Gambar 1 Tampak samping perletakan pelat dan Baut Sambungan.

Tipe rel	= R.54
Dimensi pelat	= 520 mm x 116,5mm x 20mm
Diameter baut Ø	= 35 mm
Tegangan dasar baja baut dan pelat (σ)	= 2.400 kg/cm ² (Bj.52)
Luas penampang rel (A)	= 76,86 cm ²
Modulus elastisitas (E)	= 2,1 x 10 ⁶ kg/cm ²
Koefisien muai linear (λ)	= 2,2 x 10 ⁻⁵ °C
Temperatur max (T2)	= 33°C
Temperatur min (T1)	= 22°C
Perubahan suhu (ΔT)	= 33-22
	= 11 °C
Jumlah lubang baut	= 4 lubang/ sisi rel
Wlokomotif	= 90.000 kg
P	= 90.000/5 = 18.000 kg
Jarak antar baut (a)	= 9 cm
d	= 20 cm
Panjang rel	= 275 m = 275000 mm

Perhitungan:

1. Analisis kekuatan tarik ijin pada plat (persamaan 2.13, 2.14, dan 2.15)

Gaya longitudinal yang terjadi (2.13):

$$\begin{aligned}
 N &= E \times A \times \lambda \times \Delta T \\
 &= 2,1 \times 10^6 \times 76,86 \times 2,2 \times 10^{-5} \times 11 \\
 &= 39.060,252 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Pengurangan luas pada pelat akibat pemasanga baut:

$$\begin{aligned}
&= \frac{\text{Ø lubang baut} \times \text{tebal pelat} \times \text{Jumlah lubang}}{4} \\
&= \frac{(35 \times 1,5) \times 20 \times 4}{4} \\
&= 2.920 \text{ mm}^2 \\
\text{Luas bersih (2.14)} \\
A_n &= (h \times t) - \text{pengurangan luas pada Pelat} \\
&= (520 \times 116,5) - 2.920 \\
&= 7.480 \text{ mm}^2 \\
&= 74,8 \text{ cm}^2 \\
\text{Kuat tarik ijin pada pelat (2.15):} \\
N_{ijin} &= 0,75 \times \sigma \times A_n \\
&= 0,75 \times 2.400 \times 74,8 \\
&= 134.640 \text{ kg} \\
\text{Syarat aman:} \\
N_{ijin} &> N \\
134.640 &> 46.162 \text{ (memenuhi)}
\end{aligned}$$

2. Analisis terhadap kekuatan baut (persamaan 2.16 dan 2.17)

Tegangan geser yang terjadi untuk 1 baut:

$$\begin{aligned}
\tau &= \frac{P/2}{\frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2} \\
&= \frac{18.000/2}{\frac{1}{4} \times \pi \times 35^2} \\
&= 9,35915 \text{ kg/cm}^2 \\
&= 935,915 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

Tegangan geser pada baut:

$$\begin{aligned}
\tau_{ijin} &= 0,6 \times \sigma \\
&= 0,6 \times 2.400 \\
&= 1.440 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

Syarat aman:

$$\begin{aligned}
\tau &\leq \tau_{ijin} \\
935,915 \text{ kg/cm}^2 &\leq 1.440 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)}
\end{aligned}$$

3. Analisis tegangan tarik (Persamaan 2.18 dan 2.19)

Momen yang terjadi:

$$\begin{aligned}
M &= P \times \text{jarak tengah sambungan ke baut pertama (d:2=20:2=10)} \\
&= 18000 \times 10 \\
&= 180000 \text{ kg.cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_m &= \frac{M \cdot a}{2 \cdot d^2} \\
&= \frac{180000 \cdot 9}{2 \cdot 20^2} \\
&= 2025 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Tegangan tarik yang terjadi:

$$\begin{aligned}
\sigma_{ytd} &= \frac{K_m}{2 \cdot \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2} \\
&= \frac{2025}{2 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 35^2} \\
&= 1,052905 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

Tegangan pada baut:

$$\begin{aligned}\sigma_{ijin} &= 0,7 \cdot \sigma \\ &= 0,7 \cdot 2400 \\ &= 1680 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Syarat aman:

$$\begin{aligned}\sigma_{ytd} &\leq \sigma_{ijin} \\ 1,052905 \text{ kg/cm}^2 &\leq 1680 \text{ kg/cm}^2 \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

4. Besarnya celah sambungan

$$\begin{aligned}G &= L \times \lambda \times (40-T) + 2 \\ &= 275000 \times (2,2 \times 10^{-5}) \times (40-33) + 2 \\ &= 44,35 \text{ mm} \approx 45 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sambungan dilakukan ketika rel mencapai panjang minimum rel yaitu 275m. Jadi, sambungan dilakukan pada kelipatan STA 275 m.

3.2.1 Penambat

Data:

$$\text{Modulus elastisitas rel (E)} = 2,1 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Inersia terhadap sb.x (Ix)} = 2346 \text{ cm}^4$$

$$\text{Inersia terhadap sb.y (Iy)} = 1063,61 \text{ cm}^4$$

$$\text{Jarak antar bantalan (a)} = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Gaya tekan rel (D)} = 20000 \text{ kg/cm}$$

$$\text{Konstanta pegas arah-} = 4,5 \text{ cm}^{-1}$$

lateral dari rel terhadap

gaya vertikal (ϵ)

$$\text{Koefisien gesekan antar rel-} = 0,6$$

dan bantalan (η)

$$\text{Koefisien gesekan antara-} = 0,65$$

balas dan bantalan (μ)

$$\text{Kostanta pegas arah-} = 500000 \text{ kg/cm}$$

lateral dari bantalan (k^*)

$$\begin{aligned}\text{Gaya gesekan bantalan-} &= 200 \text{ kg/bantalan} \\ \text{dan balas (T)} &\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan pada roda rata-} &= W_{\text{lokotif}}/5 \\ \text{rata} &\end{aligned}$$

$$(W, W') = 90.000/5$$

$$= 18.000 \text{ kg}$$

$$\text{Mutu bantalan } (\sigma) = K-500$$

$$= 500 \times 0,83/10$$

$$= 415 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Type penambat} = \text{pandrol E-Clip}$$

$$\text{Diameter penambat} = 2 \text{ cm}$$

$$\text{Penjang penambat} = 15 \text{ cm}$$

Perhitungan:

Persamaan 2.22 , 2.23 dan 2.24

$$\begin{aligned}\gamma &= \frac{6EI_x}{D.a^3} \\ &= \frac{6 \times 2,1 \times 10^{-6} \times 2346}{20000.60^3} \\ &= 6,842\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{\epsilon.a^3.W}{6EI_y} \\ &= \frac{4,5 \times 60^3 \times 18000}{6 \times 2,1 \times 10^{-6} \times 1063,61} \\ &= 1,305\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma^* &= \frac{6EI_y}{k^* \cdot a^3} \\ &= \frac{6 \times 2,1 \times 10^{-6} \times 1063,61}{500000 \times 60^3} \\ &= 0,124\end{aligned}$$

Nilai γ , ξ , dan γ^* diinterpolasi melalui tabel 2.6 sehingga diperoleh:

$$F_\gamma = 0,294$$

$$F_\xi = 0,570$$

$$F_{\gamma^*} = 0,487$$

Kekuatan terhadap pergerakan bantalan diatas balas (persamaan 2.21).

$$\begin{aligned}H + H' &= \mu \frac{F_1(Y_1)}{F_1(\xi)1} (w + w') + \frac{T}{F_1(\xi)1} \\ &= 0,65 \times \frac{0,294}{0,570} (18000 + 18000) + \frac{200}{0,570} \\ &= 12.420,3 \text{ kg}\end{aligned}$$

Kuat jepit penambat: persamaan 2.26

$$\begin{aligned}P_k &= \sigma \cdot F_n \\ &= 415 \times (3,14 \times 2 \times 15) \\ &= 39.112,829 \text{ kg}\end{aligned}$$

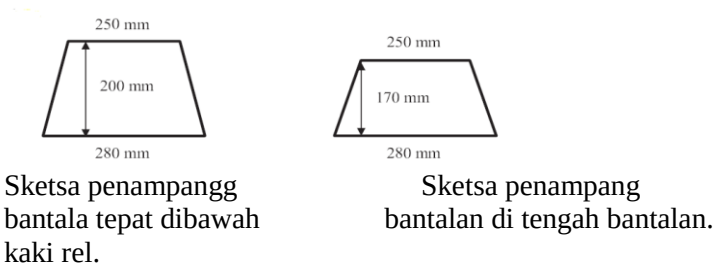
Jumlah penambat yang digunakan:

$$\begin{aligned}n &= (H + H') / P_k \\ &= 12.420 / 39.112,829 \\ &= 0,317 \text{ buah} \approx 1 \text{ buah}\end{aligned}$$

Jadi digunakan 1 buah pandrol E-Clip sebagai penambat.

3.2.2 Bantalan

Data:



Gambar 2 Sketsa Dimensi Bantalan.

Penampang tepat dibawah kaki rel:

$$\text{Tinggi bantalan} = 175 \text{ mm} = 17,5 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar atas bantalan} = 245 \text{ mm} = 24,5 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar bawah bantalan} = 280 \text{ mm} = 28 \text{ cm}$$

Penampang tepat ditengah bantalan:

$$\text{Tinggi bantalan} = 145 \text{ mm} = 14,5 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar atas bantalan} = 245 \text{ mm} = 24,5 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar bawah bantalan} = 280 \text{ mm} = 28 \text{ cm}$$

$$\text{Mutu beton (fc)} = \text{K-500}$$

$$\text{Modulus elastisitas rel (E)} = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Kekakuan rel} = 180 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Kuat tekan beton minimum} = 600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Pstatis} = 90.000 \text{ kg}$$

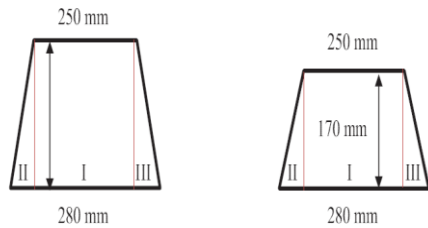
$$\text{Indeks beban dinamis (Id)} = 1,88225$$

$$\text{Pd} = (P_s/2) \cdot I_d$$

Q

Lebar sepur
Lebar kepala rel
Perhitungan:

b. Penampang rel



Gambar 3 sketsa pembagian penampang.

Dibawah kaki rel

$$\begin{aligned}
 &= (90.000/2) \times 1,88225 \\
 &= 84.701,25 \text{ kg} \\
 &= 60\% \cdot Pd \\
 &= 60\% \times 84.701,25 \\
 &= 50.820,75 \text{ kg} \\
 &= 1067 \text{ mm} = 106,7 \text{ cm} \\
 &= 70,00 \text{ mm} = 7 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Luas I $= 25 \times 20 = 500 \text{ cm}^2$

Luas II $= (28-25)/2 \times 20 \times 1/2 = 15 \text{ cm}^2$

Luas III $= (28-25)/2 \times 20 \times 1/2 = 15 \text{ cm}^2$

Titik berat (y) $= \frac{\frac{20}{2} \times 500 + \frac{20}{2} \times 15 + \frac{20}{2} \times 15}{500 + 15 + 15} = 9,811 \text{ cm}$

Total luas (A) $= 500 + 15 + 15 = 530 \text{ cm}^2$

Inersia penampang $= \frac{25 \times 20^3}{12} + \frac{\frac{28-25}{2} \times 20^3}{36} + \frac{\frac{28-25}{2} \times 20^3}{36} = 17.000,83 \text{ cm}^4$

Garis netral ke sisi atas $= 20 - y$

(ya) $= 20 - 9,811 = 10,189 \text{ cm}$

Jarak garis netral ke sisi $= y$

Bawah (yb) $= 9,811 \text{ cm}$

Momen tahanan sisi atas $= Ix/ya$

(Wa) $= 17.333,3 / 10,189 = 1.701,177 \text{ cm}^3$

Momen tahanan sisi $= Ix/yb$

Bawah (Wb) $= 17.333,3 / 9,811 = 1.766,721 \text{ cm}^3$

Ditengah bantalan:

Luas I $= 25 \times 17 = 425 \text{ cm}^2$

Luas II $= (28-25)/2 \times 17 \times 1/2 = 12,75 \text{ cm}^2$

Luas III $= (28-25)/2 \times 17 \times 1/2 = 12,75 \text{ cm}^2$

Titik berat (y) $= \frac{\frac{17}{2} \times 500 + \frac{17}{3} \times 15 + \frac{17}{3} \times 15}{500 + 15 + 15} = 8,339 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}\text{Total luas (A)} &= 500 + 15 + 15 \\ &= 530 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia penampang (Ix)} &= \frac{25 \times 17^3}{12} + \frac{\frac{28-25}{2} \times 17^3}{36} + \frac{\frac{28-25}{2} \times 17^3}{36} \\ &= 10644,833 \text{ cm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak garis netral ke sisi atas (ya)} &= 17 - y \\ &= 17 - 8,339 \\ &= 8,661 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jarak garis netral ke sisi atay (yb)} &= y \\ &= 8,339\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen tahanan sisi atas (Wa)} &= Ix/ya \\ &= 10.644,833/8,661 \\ &= 1.229,053 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Momen tahanan sisi bawah (Wb)} &= Ix/yb \\ &= 10.644,833/8,339 \\ &= 1.276,511 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

c. Modulus elastisitas (E): (persamaan 2.26)

$$\begin{aligned}E &= 6400 \sqrt{fc} \\ &= 6400 \sqrt{500} \\ &= 143.108,35 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

d. Dumping factor (λ) bantalan beton: (persamaan 2.27)

Dibawah kaki rel:

$$\begin{aligned}\lambda &= \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4(2,1 \times 10^6)17333,3}} \\ &= 0,0059 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

Ditengah bantalan:

$$\begin{aligned}\lambda &= \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{180}{4(2,1 \times 10^6)10644,83}} \\ &= 0,0067 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

e. Momen dititik C/D dan titik O (lihat gambar 2.9):

Dimensi bantalan berdasarkan sketsa gambar 2.9

$$\begin{aligned}L &= 290 \text{ cm} \\ 2c &= \text{lebar sepur} \\ &= 1067 \\ c &= 106,7/2 \\ &= 53,5 \text{ cm} \\ a &= (L-2c)/2 \\ &= (290-106,7)/2 \\ &= 91,65 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dibawah kaki rel (persamaan 2.28)

$$\begin{aligned}M_{C/D} &= \frac{Q}{4\lambda} \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} [\cosh^2 \lambda a (\cos 2 \lambda c + \cosh \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2 \lambda c + \cos \lambda L) - \sinh 2 \lambda a (\sin 2 \lambda c + \sinh \lambda L) - \sin 2 \lambda a (\sinh 2 \lambda c + \sinh \lambda L)]\end{aligned}$$

Tabel 4.1 Nilai Fungsi Trigonometri Perhitungan momen dibawah kaki

$$\sin \lambda L$$

	0,9890
$\cosh^2 \lambda a$	2,4016
$\cos 2 \lambda c$	0,6593
$\cosh \lambda L$	2,8807
$2\cos^2 \lambda a$	1,6458
$\cosh 2 \lambda c$	1,3844
$\cos \lambda L$	-0,1483
$\sinh 2 \lambda a$	0,9821
$\sin 2 \lambda c$	0,7591
$\sinh \lambda L$	2,7016
$\sin 2 \lambda a$	0,7635
$\sinh 2 \lambda c$	0,9574

$$MC/D = \frac{50.820,75}{4 \times 0,0059} \frac{1}{0,9890 + 2,7016} [2,4016(0,6593 + 2,8807) - 1,6548(1,3844 + (-0,1483)) - 0,9821(0,7519 + 2,7016) - 0,6735(0,9574 + 2,7016)]$$

$$= 164.521,370 \text{ kg/cm}$$

Ditengah bantalan

$$M_{\frac{c}{D}} = \frac{Q}{2\lambda} \frac{1}{\sin \lambda L + \sinh \lambda L} [\sinh \lambda c (\sin \lambda c + \sin \lambda (L - c)) + \sin \lambda c (\sinh \lambda c + \sinh \lambda (L - c)) + \cosh \lambda c \cos \lambda (L - c) - \cos \lambda \cosh \lambda c (L - c)]$$

Tabel 4.2 Nilai Fungsi Trigonometri Perhitungan momen ditengah bantalan

$\sin \lambda L$	0,9317
$\sinh \lambda L$	3,4164
$\sinh \lambda c$	0,4993
$\sin \lambda c$	0,4623
$\sin \lambda (L - c)$	

	0,9941
$\sinh \lambda c$	0,4623
$\sinh \lambda (L - c)$	0,4993
$\cosh \lambda c$	2,0411
$\cosh \lambda (L - c)$	1,1117
$\cos \lambda c$	0,1087
$\cosh \lambda (L - c)$	2,2730

$$MO = \frac{50.820,75}{2 \times 0,067} \frac{1}{0,9317 + 3,4164} [0,4993(0,4623 + 0,9941) + 0,4623(0,4623 + 0,4993) + 2,0411 \times 1,1117 - 0,1087 \times 2,2730] = 2.795.151,804$$

3.2.3 Balas

Analisis balas sesuai PM.60 tahun 2012 dengan lebar sepur 1067 dan kecepatan rencana 120 km/jam, maka dipakai tebal balas 30 cm dan lebar bahu balas 60 cm.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh cara untuk merencanakan struktur jalan rel dengan nilai kecepatan rencana 120 km/jam dari stasiun Cigading-stasiun Anyer Kidul serta tetap memperhatikan aturan, yaitu sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil perhitungan komponen-komponen struktur jalan rel, maka komponen-komponen yang akan digunakan adalah sebagai berikut:

A. Rel

- i. Panjang minimum rel yang digunakan adalah 275 m.
- ii. Tipe rel yang digunakan adalah R.54
- iii. Sambungan rel yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Mutu baja pelat baut = Bj.52
 - Celah sambungan = 33 mm
 - Jumlah baut/sisi = 4 buah
 - Digunakan dengan dimensi:
 - Panjang = 360 mm
 - Tinggi = 116,5 mm
 - Tebal = 20 mm
 - Diameter baut $\varnothing$ = 35 mm
 - Jarak antar baut = 9 cm
 - Jarak antar baut dekat celah = 20 cm

B. Penambat

Digunakan penambat tipe pandrol E-Clip dengan $\varnothing$ 20 mm dengan pelengkap pelat landas Riber Pad.

C. Bantalan

Mutu beton	= K-500
Jarak antar bantalan	= 60 cm
Dimensi bantalan:	
Penampang tepat dibawah kaki rel:	
Tinggi bantalan	= 175 mm = 17,5 cm
Lebar atas bantalan	= 245 mm = 24,5 cm
Lebar bawah bantalan	= 280 mm = 28 cm
Penampang tepat ditengah bantalan:	
Tinggi bantalan	= 145 mm = 14,5 cm
Lebar atas bantalan	= 245 mm = 24,5 cm
Lebar bawah bantalan	= 280 mm = 28 cm

D. Balas dan Subbalas

Tebal balas = 30 cm, menggunakan , Batu pecah dengan ukuran, Butiran 2-3 cm dan 5-7 cm.

Tebal subbalas = 20 cm, menggunakan

Batu pecah dengan ukuran

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2000. Keputusan Menteri Perhubungan No. 52 Tahun 2000 Tentang Jalur Kereta Api, Kemenhub RI, Jakarta.
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2011. Peraturan Menteri Perhubungan No. 10 Tahun 2011 Tentang Persyaratan Teknis Peralatan Persinyalan Perkeretaapian, Kemenhub RI, Jakarta.
- Nugroho, R., FP, G. N., Narayudha, M., & Pudjianto, B. (2016). Perencanaan Reaktivasi Jalan Rel Kereta Api Koridor Magelang–Ambarawa. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 5(2), 87-93.
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor.60 Tahun 2012. Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. 23 November 2012. Menteri perhubunngan RI. Jakarta.
- Peraturan Dinas No.10 Tahun 1986. Peraturan Konstruksi Jalan Rel. 2 April 1986. Jakarta.