

4.1.1. Beban Rangkaian Kereta Api

1. Lokomotif

PT. Kereta Api Indonesia pada saat ini hanya menggunakan 2 jenis lokomotif yaitu lokomotif yang pada masing-masing *bogie* terdiri dari 2 gandar yaitu lokomotif tipe BB, dan yang ke 2 adalah lokomotif tipe CC tipe 201 dan 203 yang pada masing-masing *bogie* terdiri dari 3 gandar. Di bawah ini adalah penjelasan mengenai perhitungan beban gandar (*axle load*) dan beban roda pada masing-masing jenis lokomotif.

a. Lokomotif BB, beban lokomotif (W_{lok}) = 56 ton

$$\begin{aligned} \text{Gaya } bogie (P_b) &= W_{lok} / 2 = 56 / 2 = 28 \text{ ton} \\ \text{Gaya gandar (} P_g \text{)} &= P_b / 2 = 28 / 2 = 14 \text{ ton} \\ \text{Gaya roda (} P_r \text{)} &= P_g / 2 = 14 / 2 = 7 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Lokomotif CC, beban lokomotif (W_{lok}) = 84 ton

$$\begin{aligned} \text{Gaya } bogie (P_b) &= W_{lok} / 2 = 84 / 2 = 42 \text{ ton} \\ \text{Gaya gandar (} P_g \text{)} &= P_b / 3 = 42 / 3 = 14 \text{ ton} \\ \text{Gaya roda (} P_r \text{)} &= P_g / 2 = 14 / 2 = 7 \text{ ton} \end{aligned}$$

2. Kereta Penumpang

Kereta penumpang berfungsi untuk mengangkut penumpang. Kereta ini memiliki karakteristik kenyamanan dan kecepatan yang tinggi, kereta ini memiliki 2 *bogie*, dan masing-masing *bogie* terdapat 2 gandar, berat kereta (berisi penumpang) ialah sekitar 40 ton.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya bogie (Pb)} &= W_{\text{lok}} / 2 = 40 / 2 = 20 \text{ ton} \\
 \text{Gaya gandar (Pg)} &= P_b / 2 = 20 / 2 = 10 \text{ ton} \\
 \text{Gaya roda (Pr)} &= P_g / 2 = 10 / 2 = 5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

3. Kereta Makan

Kereta makan berfungsi untuk restorasi bagi penumpang. Kereta ini memiliki karakteristik seperti kereta penumpang, memiliki 2 *bogie* dan masing-masing *bogie* terdapat 2 gandar, berat kereta (berisi penumpang) ialah sekitar 41 ton.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya bogie (Pb)} &= W_{\text{lok}} / 2 = 41 / 2 = 20,5 \text{ ton} \\
 \text{Gaya gandar (Pg)} &= P_b / 2 = 20,5 / 2 = 10,25 \text{ ton} \\
 \text{Gaya roda (Pr)} &= P_g / 2 = 10,25 / 2 = 5,125 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

4. Kereta Bagasi

Kereta bagasi berfungsi untuk mengangkut barang. Kereta ini memiliki karakteristik seperti *cargo*, memiliki 2 *bogie* dan masing-masing *bogie* terdapat 2 gandar, berat kereta (termasuk barang) ialah sekitar 43 ton.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya bogie (Pb)} &= W_{\text{lok}} / 2 = 43 / 2 = 21,5 \text{ ton} \\
 \text{Gaya gandar (Pg)} &= P_b / 2 = 21,5 / 2 = 10,75 \text{ ton} \\
 \text{Gaya roda (Pr)} &= P_g / 2 = 10,75 / 2 = 5,375 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

5. Kereta Barang

Kereta barang berfungsi untuk mengangkut barang. Di lintas Pasuruan – Jember kereta barang yang beroperasi hanyalah 2 jenis yaitu kereta api batu bara dan bijih besi, kereta ini 2 *bogie* dan masing-masing *bogie* terdapat 2 gandar berat kereta (berisi muatan) ialah sekitar 35 ton.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya bogie (Pb)} &= W_{\text{lok}} / 2 &= 35 / 2 &= 17,5 \text{ ton} \\
 \text{Gaya gandar (Pg)} &= \text{Pb} / 2 &= 17,5 / 2 &= 8,75 \text{ ton} \\
 \text{Gaya roda (Pr)} &= \text{Pg} / 2 &= 8,75 / 2 &= 4,325 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

6. Kereta Pembangkit

Kereta pembangkit berfungsi untuk gerbong penyimpanan mesin dan bahan bakar. memiliki 2 *bogie* dan masing-masing *bogie* terdapat 2 gandar, berat kereta ialah sekitar 42 ton.

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya bogie (Pb)} &= W_{\text{lok}} / 2 &= 42 / 2 &= 21 \text{ ton} \\
 \text{Gaya gandar (Pg)} &= \text{Pb} / 2 &= 21 / 2 &= 10,5 \text{ ton} \\
 \text{Gaya roda (Pr)} &= \text{Pg} / 2 &= 10,5 / 2 &= 5,25 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Dari penjelasan diatas, maka di tentukan untuk perhitungan pembebanan memakai lokomotif tipe CC tipe 201 dan 203 dengan 3 gandar karena memiliki beban yang paling besar yaitu 84 ton. Untuk menganalisa dan menghitung pembebanan, terlebih dahulu harus mengetahui mengenai data dan profil rel. Tabel 4.4. tentang profil rel akan menjelaskan mengenai data tersebut.

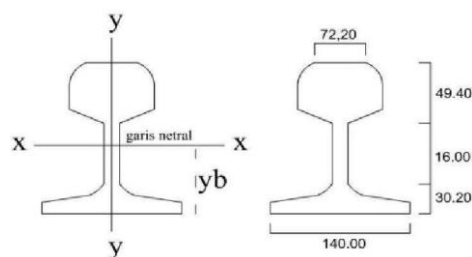
Tabel 4.4. Profil Rel

Besaran Geometruui Wesel	Tipe Rel			
	R.42	R.50	R.54	R.60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	72,20	74,30
D (mm)	13,50	15,00	16,00	16,50
E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,97	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
Y _b (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
I _x (cm ⁴)	1,263	1,860	2,345	3,066
<p>A : Luas penampang</p> <p>W : Berat rel per meter</p> <p>Y_b : Jarak kaki rel ke sumbu x</p> <p>I : Jarak tepi bawah rel ke garis netral</p>				

Sumber: Utomo (1997)

Untuk menjelaskan keterangan tabel di atas, maka di bawah ini adalah gambar 4.1.

mengenai profil rel yang akan direncanakan yaitu profil rel R.54.



Gambar 4.1. Profil Rel R.54

Sumber: Utomo (1997)

Untuk menghitung pembebanan terlebih dahulu harus diketahui kelas jalan, kecepatan maksimum, beban maksimum, tegangan dasar, dan tegangan izin. Pada tabel 4.5. di bawah ini menerangkan tentang penjelasan kelas jalan rel.

Tabel 4.5. Kelas Jalan Rel

Kelas jalan	Daya angkut lintas (ton/tahun)	V rencana (km/jam)	P maks gandar (ton)	Jenis rel	Tegangan dasar rel (kg/cm ²)	Tegangan ijin (kg/cm ²)
I	> 20.10 ⁶	150	18	R.60	1042,3	1325
				R.54	1176,8	
II	10.10 ⁶ – 20.10 ⁶	140	18	R.54	1128,2	1325
				R.50	1231,8	
III	5.10 ⁶ – 10.10 ⁶	125	18	R.54	1097,7	1663
				R.50	1178,8	
				R.52	1476,3	
IV	2,5.10 ⁶ – 5.10 ⁶	115	18	R.54	1031	1843
				R.50	1125,8	
				R.42	1410	
V	< 2,5.10 ⁶	100	18	R.42	1343,5	2000

Sumber: Atmaja (1998)

Keterangan:

- a. Kelas Jalan : Klasifikasi jalan kereta api yang diurutkan berdasar daya angkut lintas.
- b. Daya angkut lintas : Jumlah angkutan yang dapat dicapai oleh kereta api yang beroperasi pada petak jalan tersebut.
- c. V rencana : Kecepatan yang direncanakan pada kelas jalan.
- d. P maks gandar : Beban maksimum yang diizinkan.
- e. Jenis rel : Jenis rel yang terdapat pada lintas tersebut.

- f. Tegangan dasar rel : Tegangan yang biasa terjadi pada rel.
- g. Tegangan izin : Tegangan maksimum yang diperbolehkan pada lintas tersebut.

4.1.2. Perhitungan Pembebanan Kereta Api

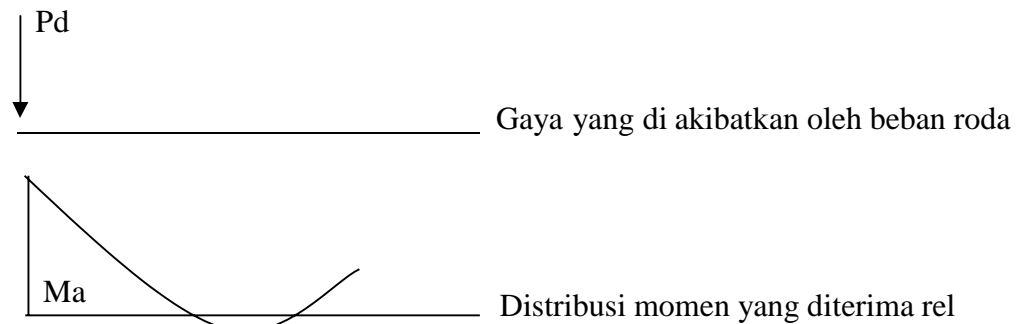
Untuk merencanakan wesel tipe R54 yang nantinya akan dipasang di petak jalan antara Pasuruan - Jember ditinjau dari segi kemampuan dan keamanan untuk menerima beban kereta api, maka diperlukan data dan perhitungan sebagai berikut:

- a. Kelas jalan : Kelas jalan I (Tabel 4.5. Kelas jalan rel)
- b. Profil R54 W (Berat) : 54,43 kg/cm² (Tabel 4.4. Profil Rel)
- I : 2.345 cm⁴ (Tabel 4.4. Profil Rel)
- Yb : 76,20 mm (Tabel 4.4. Profil Rel)
- c. Modulus elastisitas rel : 2,1 x 10⁶ kg/cm²
- d. Tegangan izin (σ) : 1325 kg/cm² (Tabel 4.5. Kelas jalan rel)
- e. V rencana : 150 km/jam (Tabel 4.5. Kelas jalan rel)
- g. Pr Lokomotif : 7000 kg
- h. Jarak antar rel : 1067 mm

Dari data-data di atas maka akan dapat dilakukan tahap-tahap perhitungan beban dinamik, momen, dan tegangan. Tahapan hasil perhitungan bertujuan untuk mengetahui kekuatan rel terhadap beban operasional terbesar yaitu lokomotif.

1. Distribusi Beban

Akibat beban kereta api yang melaju di atas rel, maka akan terjadi momen yang diterima oleh rel. Di bawah ini adalah sketsa pendistribusian beban yang diakibatkan oleh kereta api.



Gambar 4.2. Distribusi Beban
Sumber: Utomo (1997)

2. *Dumping Factor*

Akibat defleksi dan momen yang diakibatkan roda pada rel, maka diperlukan *dumping factor* sebagai berikut (Utomo, 1997).

$$\lambda = \left(\frac{K}{4EI} \right)^{-\frac{1}{4}}$$

$$\lambda = \left(\frac{180}{4 \times 2,1 \cdot 10^6 \times 2,345} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$= 0,05$$

Dimana:

λ : *Dumping factor*

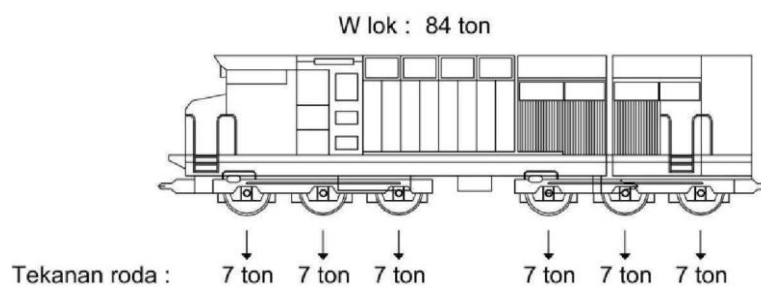
E : Modulus elastisitas rel ($2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$)

I : Jarak tepi bawah rel ke garis netral $2,345 \text{ cm}^4$ (Tabel 4.4. Profil Rel)

k : Modulus elastisitas track (180 kg/cm^2)

3. Perhitungan Beban Dinamik

Sebelum menentukan momen yang diterima oleh rel akibat kereta api, terlebih dulu harus diketahui beban dinamik yang terjadi. Beban dinamik adalah transformasi dari beban statis roda menjadi beban roda dinamik dalam hal ini adalah lokomotif yaitu dengan beban roda sebesar 7 ton, di bawah ini adalah gambar 4.3. beban lokomotif..



Gambar 4.3. Beban Lokomotif
Sumber: Konsep Original

Beban roda lokomotif adalah sebesar 7 ton, untuk menghitung beban dinamik maka beban roda harus harus dikonversi menjadi 7000kg. Di bawah ini adalah persamaan mengenai beban dinamik (Kramadibrata, 1996).

$$P_d = P_r + 0,01 \cdot P_r (V_r - 5) \quad (4.2)$$

$$P_d = 7000 + 0,01 \cdot 7000 (150 - 5)$$

$$P_d = 17.150 \text{ kg}$$

Dimana:

P_d : Beban dinamik

P_r : Beban roda lokomotif (7000kg)

V_r : Kecepatan rencana 150 km/jam (Tabel 4.5. Kelas Jalan Rel)

4. Perhitungan Momen Akibat Beban Lokomotif

Karena dari seluruh rangkaian kereta api yang memiliki beban terbesar adalah lokomotif, maka untuk mengetahui momen yang terjadi pada rel di lakukan perhitungan sebagai berikut (Utomo, 1997).

$$Ma = \frac{Pd}{4\lambda} \quad (4.3)$$

$$Ma = \frac{17.150}{4 \times 0,05}$$

$$Ma = 85.750 \text{ kg.cm}$$

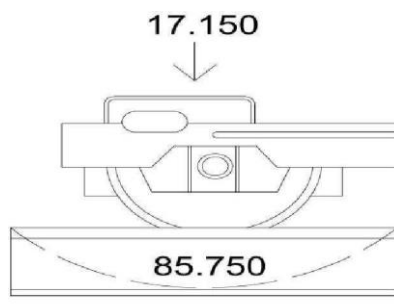
Dimana:

Ma : Momen akibat beban dinamis (kg/cm²)

Pd : Beban dinamis lokomotif (17.150 kg)

λ : *Dumping factor* (0,05)

Dari hasil perhitungan diatas diketahui besaran momen yang ditimbulkan akibat beban dinamis lokomotif. Hasil perhitungan tersebut maka dapat ditunjukkan pada gambar 4.4. Momen akibat beban dinamis berikut.



Gambar 4.4. Momen Akibat Beban Dinamis
Sumber: Konsep Original

5. Tegangan Pada Rel

Akibat dari momen yang ditimbulkan Lokomotif, maka akan terjadi tegangan yang dialami rel. Untuk mengetahui tegangan yang terjadi, maka diperlukan perhitungan sebagai berikut (Utomo, 1997).

$$\sigma_x = \frac{M_a \cdot y_b}{I} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{85.750 \cdot 7,62}{2.346} \\ &= 278,52 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dimana:

σ_x : Tegangan pada rel (kg/cm^2)

M_a : Momen akibat lokomotif (85.750 kg.cm)

y_b : Jarak kaki rel ke sumbu x 2.346 cm^4 (Tabel 4.4. Profil Rel)

I : Jarak tepi bawah rel ke garis netral $2,345 \text{ cm}^4$ (Tabel 4.4. Profil Rel)

6. Periksa Tegangan

Pada tabel 4.5. Kelas Jalan Rel PJKA – 1968 , lintas Pasuruan – Jember diketahui memiliki kategori dengan kelas jalan I, didapatkan tegangan izin (σ) sebesar 1325 kg/cm^2 . Maka harus dilakukan control tegangan seperti berikut:

Kontrol Tegangan:

$$\sigma_x < \sigma \quad (4.5)$$

$$278,52 \text{ kg/cm}^2 < 1325 \text{ kg/cm}^2$$

Dimana:

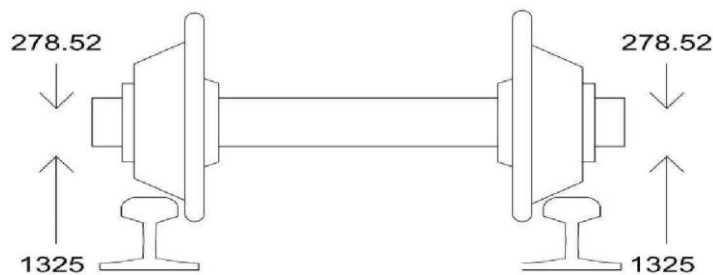
σ_x : Tegangan pada rel 278,52 kg/cm²

σ : Tegangan izin 1325 kg/cm² (Tabel 4.5. Kelas Jalan Rel)

Dari hasil perhitungan di atas diketahui tegangan izin sebesar 1325 kg/cm² masih lebih besar dari tegangan yang ditimbulkan oleh lokomotif sebesar 278,52 kg/cm².

Dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat diperjelas dengan gambar

4.5. Tegangan Pada Rel berikut.



Gambar 4.5. Tegangan Pada Rel
Sumber: Konsep Original

Dari hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa wesel rel tipe R54 dapat digunakan, karena kekuatan rel wesel tipe R.54 masih dapat menahan beban rangkaian kereta api yang terbesar yaitu lokomotif.

4.1. Sambungan Rel

Sambungan pada rel berfungsi untuk menahan rel agar tidak terlepas dari satu rel dengan rel lainnya, plat sambungan pada rel berfungsi menahan gaya tarik dan geser akibat rem dan gesekan roda kereta api yang melintas pada kecepatan penuh karena letak posisi plat sambungan harus pada track yang lurus, sambungan rel ini

biasanya terletak tidak jauh dari posisi wesel, pada lintas Pasuruan – Jember rel rencana yang akan digunakan adalah rel dengan tipe R.54.

Plat penyambung untuk rel R.54 menurut “*Pd-10 Konstruksi Jalan Rel 1986 pasal 1*” memiliki lubang baut sebanyak 4 buah lubang yang pada setiap lubang bautnya memiliki ukuran diameter 24mm dan memiliki jarak tertentu pada setiap lubang bautnya, karakteristik plat penyambung rel R.54 dan R.60 berbeda dengan karakteristik plat penyambung tipe rel lainnya yang berukuran lebih kecil. Untuk merencanakan sambungan rel terlebih dulu harus mengetahui komponen –komponen plat sambungan rel.

4.1.1. Plat Sambungan Rel

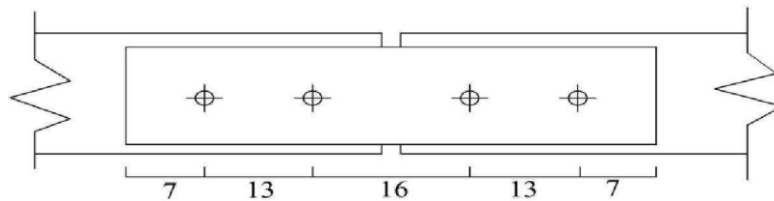
Di Indonesia saat ini semua kebutuhan rel di suplai oleh produksi China untuk plat sambungan mutu baja menggunakan BJ 33 (*DED SINTEL PASURUAN – JEMBER*). Tipe plat penyambung yang digunakan untuk rel tipe R.54 yaitu plat penyambung *fish bold plate*, dengan karakteristik yang ditunjukkan pada tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan di bawah ini.

Tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan

Dimensi Plat Penyambung Tipe Rel R.54	
Besaran Dimensi	Dimensi
P (mm)	560
L (mm)	79,4
T (mm)	20
Ø (mm)	24

Sumber: Peraturan Dinas No.10 PJKA (1968)

Dari tabel di atas sudah ditunjukkan untuk dimensi plat sambungan, maka selanjutnya dimensi dari plat sambungan rel dapat ditunjukkan pada gambar 4.6. Plat sambungan Rel berikut.



Gambar 4.6 Plat Sambungan Rel
Sumber: (Peraturan Dinas PJKA, 1986)

4.1.2. Suhu Pemasangan Rel

Suhu pemasangan adalah besarnya suhu pada saat rel dipasang. Batas suhu minimum dan maksimum yang ditetapkan sesuai dengan kondisi cuaca dan iklim di Indonesia. Di bawah ini adalah batas suhu pemasangan rel yang dikategorikan berdasar pada jenis bantalan yang ditunjukkan pada tabel 4.7. dan 4.8. berikut.

Tabel 4.7. Batas Suhu Rel Pada Bantalan Kayu

Tipe Rel	Suhu (C°)	
	Minimum	Maksimum
R.42	28	46
R.50	30	48
R.54	30	48
R.60	32	48

Sumber: Utomo (1997)

Tabel 4.8. Batas Suhu Rel Pada Bantalan Beton

Tipe Rel	Suhu (C°)	
	Minimum	Maksimum
R.42	22	46
R.50	24	46
R.54	24	46
R.60	26	46

Sumber: Utomo (1997)

Dalam penelitian ini tipe rel yang digunakan adalah R54 dengan bantalan beton, dari penjelasan tabel di atas didapatkan suhu minimum adalah 24 C° dan suhu maksimum adalah 46 C°, maka untuk perubahan suhu pada rel R54 adalah suhu maksimum di kurangi suhu minimum yaitu sebesar 20 C°.

4.1.3. Perhitungan Sambungan Pada Rel

Untuk merencanakan kekuatan sambungan pada rel tipe R.54 sebelumnya harus diketahui data-data sebagai berikut.

a. Luas Penampang rel (A) = 69,34 cm² (Tabel 4.4. Profil Rel)

b. Dimensi Plat

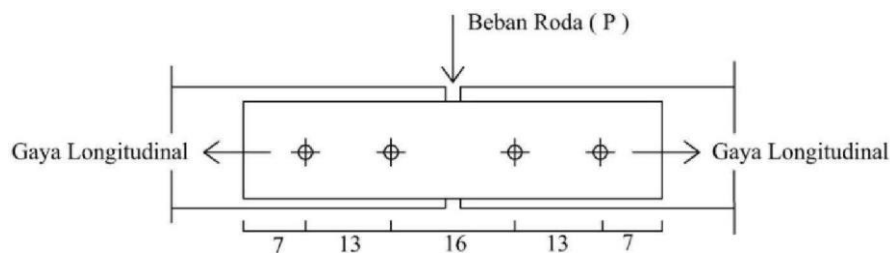
Panjang plat = 560 mm (Tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan)

Lebar Plat = 9,4 mm (Tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan)

Tebal Plat = 20 mm (Tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan)

Diameter baut = Ø 24 mm (Tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan)

- c. Mutu baja = Baja yang digunakan adalah produksi China dengan mutu baja BJ 33 (= 1333 kg/cm²)
- d. Mod elastisitas rel (E) = 2,1 x 10⁶ kg/cm²
- e. Koef Pemuaian (λ) = 1,2 x 10⁻⁵
- f. Perubahan suhu (t) = 20 C^o (Tabel 4.7. Batas Suhu Rel)



Gambar 4.7. Gaya Pada Sambungan
Sumber: Utomo (1997)

4.1.4. Analisa Terhadap Kekuatan Plat Sambungan

Seperti yang telah diketahui berdasarkan data-data di atas perhitungan plat sambungan dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut.

a. Gaya Longitudinal

Gaya longitudinal adalah gaya yang terjadi akibat rem dan gesekan roda, gaya ini terjadi ke sepanjang arah rel. Gaya longitudinal dapat diketahui dengan perhitungan sebagai berikut (Alamsyah, 2001).

$$\begin{aligned}
 N &= E \cdot A \cdot \lambda \cdot t & (4.6) \\
 &= 2,1 \times 10^6 \cdot 69,34 \cdot 1,2 \times 10^{-5} \cdot 20 \\
 &= 34947,36 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Dimana:

N : Gaya longitudinal (kg/cm^2)

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

A : Luas penampang rel $69,34 \text{ cm}^2$ (Tabel 4.4. Profil Rel)

λ : Koef pemuaian ($1,2 \times 10^{-5}$)

t : Perubahan suhu 20 C° (Tabel 4.8. Batas Suhu Rel)

b. Pengurangan Luas Plat Akibat Pemasangan Baut

$$= \emptyset \text{ baut} \times T_{\text{plat}} \times \sum \text{ baut} \quad (4.7)$$

$$= 24 \times 20 \times 4$$

$$= 1920 \text{ mm}^2$$

Dimana:

$\emptyset \text{ baut}$: 24mm (Tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan)

T_{plat} : 20 mm (Tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan)

$\sum \text{ baut}$: 4baut (Gambar 4.6. Plat Sambungan Rel)

c. Luas Bersih (A_n)

$$(P_{\text{plat}} - T_{\text{plat}}) - \text{pengurangan luas plat} \quad (4.8)$$

$$A_n = (560 - 20) - 1920$$

$$= 9280 \text{ mm}^2$$

$$\approx 928 \text{ cm}^2$$

Dimana:

P_{plat} : 560 mm (Tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan)

T_{plat} : 20 mm (Tabel 4.6. Dimensi Plat Sambungan)

d. Tegangan Tarik Izin Plat

$$\begin{aligned}
 \sigma_N &= 0,75 \times \sigma \times A_n & (4.9) \\
 &= 0,75 \times 1333 \times 928 \\
 &= 92776,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dimana:

σ_N : Tegangan tarik izin (kg)

σ : Mutu baja BJ 33 (1333kg/cm²)

A_n : Luas bersih plat (928 cm²)

0,75: Faktor reduksi terhadap kuat tarik

e. Periksa Tegangan Tarik Plat

$$N < \Sigma n \quad (4.10)$$

$$34937,36 \text{ kg/cm}^2 < 92776,8 \text{ kg/cm}^2$$

Dimana:

N : Gaya longitudinal/gaya tarik (34937,36 kg/cm²)

σ_N : Kuat tarik izin (92776,8 kg/cm²)

Jadi plat sambungan *fish bold plate* untuk rel R54 memenuhi persyaratan untuk digunakan, karena gaya longitudinal yang terjadi pada plat sambungan masih lebih kecil dari kuat tarik izin plat.

4.1.5. Analisa Terhadap Kekuatan Geser Baut

Untuk menganalisa kuat geser yang dapat ditahan oleh baut maka dilakukan perhitungan seperti berikut:

a. Tegangan Geser

$$D = \frac{Pd / 2}{1 / 4 \cdot \pi \cdot 2,4^2}$$

$$D = \frac{17.150/2}{1/4 \cdot \pi \cdot 2,4^2}$$

$$= 773,67 \text{ kg/cm}^2$$

Dimana:

D : Tegangan geser (kg/cm²)

P : Beban roda lokomotif diatas sambungan rel (7000Kg)

b. Tegangan Geser Izin Baut

$$\sigma D = 0,6 \times \sigma \quad (4.12)$$

$$= 0,6 \times 1333 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 799,8 \text{ kg/cm}^2$$

Dimana:

σD : Tegangan geser izin (kg/cm²)

σ : Mutu baja BJ 33(1333kg/cm²)

0,6 : Faktor reduksi terhadap kuat geser

c. Periksa Tegangan Geser Baut

$$D < \sigma D \quad (4.13)$$

$$773,67 \text{ kg/cm}^2 < 799,8 \text{ kg/cm}^2$$

Dimana:

σ_D : Tegangan geser baut ($773,67 \text{ kg/cm}^2$)

$\sigma_{D_{izin}}$: Tegangan geser izin baut ($799,8 \text{ kg/cm}^2$)

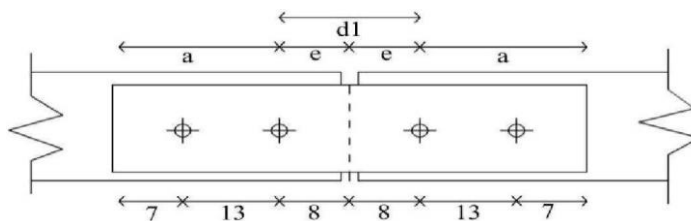
Jadi dari hasil analisa perhitungan kuat geser baut dapat disimpulkan bahwa baut dapat dipakai, karena memenuhi persyaratan yaitu tegangan geser baut yang terjadi masih lebih kecil dari tegangan geser izin baut.

4.1.6. Analisa Terhadap Kekuatan Tarik Baut

Untuk menganalisa kuat tarik yang dapat ditahan oleh baut maka dilakukan perhitungan seperti berikut:

a. Perhitungan Momen

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui momen yang terjadi di atas sambungan dengan beban kereta lokomotif. Untuk menghitung momen terlebih dulu harus mengetahui jarak baut pada sambungan yang dijelaskan pada gambar 4.6. berikut.



Gambar 4.8. Jarak Baut Pada Sambungan
Sumber: (Peraturan Dinas PJKA, 1986)

1. Momen yang terjadi pada celah sambungan (Peraturan Dinas PJKA, 1986).

$$M = Pd \text{ lok} \times e \quad (4.14)$$

$$\begin{aligned} M &= 17.150 \text{ kg} \cdot 8 \text{ cm} \\ &= 56000 \text{ kg} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

Dimana

M : Momen akibat beban roda (kg.cm)

P : Beban roda lokomotif (7000kg)

e : Jarak baut dengan as plat 8cm (Gambar 4.6. Jarak Baut Pada Sambungan)

2. Momen pada plat (Alamsyah, 2001).

$$K_m = \frac{M \cdot a}{2 \cdot d_1^2} \quad (4.15)$$

$$K_m = \frac{56000 \cdot 13}{2 \cdot 16^2}$$

$$= 1421,88 \text{ kg}$$

Dimana

M : Momen akibat beban roda (kg.cm)

d₁ : 2x jarak baut ke as plat 16cm (Gambar 4.8. Jarak Baut Pada Sambungan)

- b. Tegangan Tarik Baut

$$T = \frac{K_m}{1/4 \cdot \pi \cdot 2,4^2} \quad (4.16)$$

$$= \frac{1421,88}{1/4 \cdot \pi \cdot 2,4^2}$$

$$= 157,15 \text{ kg cm}^2$$

a. Tegangan Tarik Izin Baut

Tegangan tarik izin adalah kuat tarik maksimum yang dapat ditahan oleh baut.

$$\begin{aligned}\sigma_T &= 0,7 \times \sigma \\ &= 0,7 \times 1333 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 933,1 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}\tag{4.17}$$

Dimana:

σ_T : Tegangan tarik izin (kg/cm^2)

σ : Mutu baja BJ 33 (1333 kg/cm^2)

0,7 : Faktor reduksi

b. Periksa Tegangan Tarik Baut

$$T < \sigma \tag{4.18}$$

$$157,15 \text{ kg cm}^2 < 933,1 \text{ kg/cm}^2$$

Dimana:

T : Tegangan tarik baut ($157,15 \text{ kg cm}^2$)

σ_T : Tegangan tarik izin ($< 933,1 \text{ kg/cm}^2$)

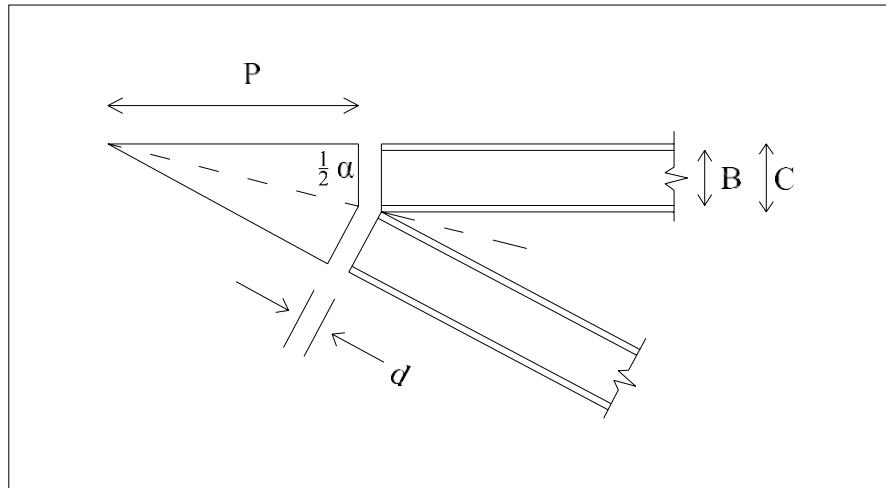
Jadi dari hasil analisa perhitungan kuat tarik baut dapat disimpulkan bahwa tegangan tarik baut yang terjadi masih lebih kecil dari tegangan tarik izin baut.

4.2. Perancangan Geometri Wesel

Perancangan geometri wesel dibutuhkan untuk dapat menentukan berapa dimensi dan ukuran wesel tersebut, bila menggunakan rel tipe R54 dengan sudut 1:12, dimaksudkan perancangan wesel akan layak dan aman untuk digunakan.

4.2.1. Perhitungan Panjang Jarum

Panjang jarum pada wesel tergantung pada lebar kepala rel, lebar kaki rel, besarnya celah antar jarum, dan sudut simpang arah.



Gambar 4.9. Panjang Jarum
Sumber: Utomo (1997)

Dari gambar 4.9. tentang perhitungan panjang jarum, maka didapatkan model perhitungan seperti berikut (Utomo, 1997).

$$P = \frac{B+C}{2\operatorname{tg}(\alpha/2)} - d \quad (4.19)$$

Dari persamaan di atas didapatkan keterangan sebagai berikut:

P : Panjang jarum

B : Lebar kaki rel

C : Lebar kepala rel

α : Sudut simpang arah

d : Celah antara jarum dan ujung rel

Dalam penelitian ini perhitungan panjang jarum menggunakan wesel tipe 1:12 dan rel tipe R54 dengan data sebagai berikut:

- a. C (Lebar kepala rel) $= 72,20 \text{ mm} \approx 0,0722 \text{ m}$ (Tabel 4.4. Profil Rel)
- b. B (Lebar kaki rel) $= 140 \text{ mm} \approx 0,14 \text{ m}$ (Tabel 4.4. Profil Rel)
- c. Celah dan ujung jarum (d) yaitu sebesar $10 \text{ mm} \approx 0,01 \text{ m}$
- d. α (Sudut simpang arah) $\text{tg } \alpha = 1 : 12$ (Tabel 4.9. Sudut Wesel)
- $\alpha = \text{arc tan } 1/12$
- $\alpha = 4^\circ$

$$P = \frac{C + B}{2 \text{tg } (\alpha / 2)} - d$$

$$P = \frac{0,0722 + 0,14}{2 \text{tg } (4 / 2)} - 0,01$$

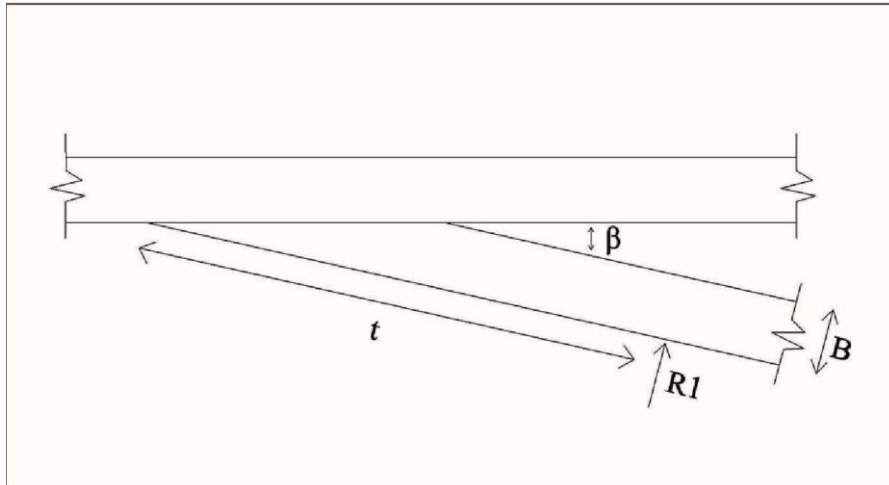
$$= 3,02 \text{ meter}$$

Jadi untuk panjang jarum wesel tipe R54 dengan sudut 1:12 adalah 3,02 meter.

4.2.2. Perhitungan Wesel Lidah Pegas

Pada lintas Pasuruan – Jember lidah wesel menggunakan wesel lidah pegas.

Panjang lidah pegas bergantung pada besarnya lebar kepala rel dan sudut tumpu.



Gambar 4.10. Wesel Lidah Pegas
Sumber: Utomo (1997)

Dari gambar 4.10. di atas tentang perhitungan wesel lidah putar, maka di dapatkan model perhitungan seperti berikut (Utomo, 1997).

$$t > C \cotg \beta \quad (4.20)$$

Dimana:

t : Panjang lidah

B : Lebar kaki rel

β : Sudut tumpuan

Pada perhitungan wesel lidah pegas diketahui panjang lidah pegas untuk wesel tipe R54 dengan sudut 1:12 adalah 3,02 meter dan untuk sudut tumpu adalah 1:35. Dari persamaan di atas, maka diperlukan data-data sebagai berikut:

- a. Panjang lidah (t) yaitu sebesar 15,59 m.
- b. C (Lebar kepala rel) = 72,20 mm \approx 0,0722 m (Tabel 4.4. Profil Rel)
- c. B, yaitu 1:35

$$= 1 : 35$$

$$\operatorname{tg} \beta = 1/35$$

$$\beta = \operatorname{arc} \tan 1/35$$

$$\beta = 1,63^\circ$$

Agar panjang lidah tidak lebih besar dari celah antara rel lantak dan lidah wesel, maka digunakan persamaan berikut:

$$t > C \cotg \beta$$

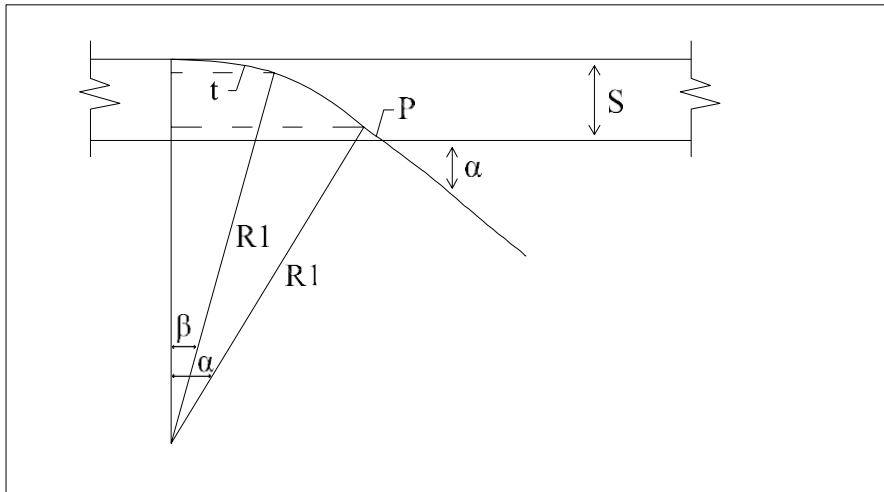
$$15,59 > 0,0722 \cotg 1,63$$

$$15,59 \text{ m} > 4,22 \text{ m}$$

Jadi untuk panjang lidah wesel dengan rel tipe R54 dan dengan sudut 1:12 dapat dioperasikan karena memenuhi persyaratan, yaitu lidah wesel masih lebih panjang daripada jarak antar lidah wesel sendiri dengan rel lantak.

4.2.3. Perhitungan Jari – Jari Lengkung Luar

Untuk memperhitungkan belokan pada wesel maka harus memperhatikan jari– jari lengkung luar (R_1). Besarnya jari–jari lengkung luar dipengaruhi oleh lebar lintasan, sudut tumpu, sudut simpang arah.



Gambar 4.11. Jari–jari lengkung luar

Sumber: Utomo (1997)

Dari gambar 4.11. di atas tentang perhitungan jari-jari lengkung luar, maka di dapatkan model perhitungan seperti berikut (Utomo, 1997).

$$R_1 = \frac{S - t \sin \beta - P \sin \alpha}{\cos \beta - \cos \alpha} \quad (4.21)$$

Dimana:

R : Jari–jari lengkung luar

S : Lebar lintasan (*Gauge Of Track*)

t : Panjang lidah

P : Panjang jarum

β : Sudut tumpu

α : Sudut simpang arah

Perhitungan jari-jari lengkung luar harus dilengkapi data sebagai berikut:

Lebar lintasan di Indonesia menggunakan 1067 mm \approx 1,067 m

a. Panjang lidah (t) yaitu sebesar 15,59 m.

b. P (panjang jarum) = 3,02 m

c. B, yaitu 1:35

$$= 1 : 35$$

$$\operatorname{tg} \beta = 1/35$$

$$\beta = \operatorname{arc} \tan 1/35$$

$$\beta = 1,63^\circ$$

d. α (sudut simpang arah) = 1 : 12 (Tabel 4.9. Sudut Wesel)

$$\operatorname{tg} \alpha = 1 : 12$$

$$\alpha = \operatorname{arc} \tan 1/12$$

$$\alpha = 4^\circ$$

Dari data di atas dapat dilakukan perhitungan seperti berikut.

$$R_1 = \frac{1,067 - 15,95 \sin(1,63) - 3,02 \sin(4)}{\cos 1,63 - \cos 4}$$

$$= 203,25 \text{ m}$$

Jadi untuk panjang lengkung luar wesel (R_1) tipe R54 didapatkan 203,25 m.

Dengan batasan bahwa jari-jari lengkung luar tidak boleh lebih dari besarnya jari – jari lengkung dalam. Perhitungan jari-jari lengkung dalam dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Perhitungan Jari – Jari Lengkung Dalam

Dari tabel 4.9. di bawah diketahui bahwa wesel dengan sudut 1:12 memiliki persyaratan kecepatan izin maksimum 45 km/jam (Utomo, 1997).

$$R_d = \frac{V^2}{7,8} \quad (4.22)$$

$$R_d = \frac{45^2}{7,8}$$

$$= 259,61 \text{ m}$$

Dimana:

R_d : Jari – jari lengkung dalam

V : Kecepatan izin pada wesel 45 km/jam (Tabel 4.9. Sudut Wesel)

7,8 : Faktor keamanan

Tabel 4.9. Sudut Wesel dan Kecepatan Izin

Tg α	1:8	1:10	1:12	1:14	1:16	1:20
Nomor Wesel	W8	W10	W12	W14	W16	W20
Kec izin (km/jam)	25	35	45	50	60	70

Sumber: Utomo (1997)

b. Periksa Jari – Jari Lengkung Wesel

$$R_1 < R_d \quad (4.23)$$

$$203,25 \text{ m} < 259,61 \text{ m}$$

Dimana:

R_1 : Jari-jari lengkung luar (203,25 m)

R_d : Jari-jari lengkung dalam (259,61 m)

Jadi perancangan untuk wesel tipe R54 dengan sudut 1:12 dapat digunakan, karena memenuhi persyaratan yaitu jari-jari lengkung luar (R_1) harus lebih kecil daripada jari-jari lengkung dalam (R_d).