

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kondisi Tata Guna Lahan

Secara garis besar, kondisi wilayah perencanaan Pembangunan rel kereta api jalur Madiun – Slahung sangat beragam, mencakup area perkotaan, pertanian, perkebunan, dan hutan. Pada daerah perkotaan Madiun, lahan didominasi oleh pemukiman, fasilitas umum, dan Kawasan perdagangan. Bergerak ke arah Slahung, penggunaan lahan berubah menjadi lebih agraris, dengan dominasi lahan pertanian dan Perkebunan. Lahan pertanian terutama digunakan untuk menanam padi, jagung, dan komoditas lainnya. Selain itu, terdapat area perkebunan yang menanam tanaman keras, seperti kopi dan cengkeh.

2.2 Susunan Jalan Rel

2.2.1 Rel

a. Umum

Rel adalah bagian paling penting dalam perencanaan dan Pembangunan rel kereta api. Rel kereta api dikenal dengan 3 macam, yaitu:

1. Rel untuk jalan (jalan kereta api). Menurut beratnya, rel dibagi menjadi 2: rel berat, yaitu rel yang beratnya >30 kg/m; rel ringan, yaitu rel yang beratnya <30 kg/m.
2. Rel untuk keram
3. Rel untuk elevator

b. Tipe dan Karakteristik Penampung

Tipe rel dalam sistem kereta api dapat diklasifikasikan berdasarkan kelas jalan, yang terdiri dari lima kategori. Setiap kelas jalan memiliki tipe rel dengan karakteristik dan aplikasi yang berbeda, disesuaikan dengan kebutuhan dan persyaratan spesifik jalur kereta api. Pemilihan tipe rel yang tepat sangat penting untuk menjamin keamanan, kenyamanan, dan efisiensi

perjalanan. Pembagian tipe rel berdasarkan kelas jalan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tipe Rel

Kelas Jalan	Tipe Rel
I	R 60/R 54
II	R 54/R 50
III	R 54/R 50/R 42
IV	R 54/R 50/R 42
V	R 42

Karakteristik penampang jalan rel merupakan salah satu komponen terpenting dalam sistem kereta api. Penampang ini diklasifikasikan berdasarkan ukuran geometris yang disesuaikan dengan tipe rel, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2. di bawah ini.

Tabel 2.2. Karakteristik

Besaran Geometri Rel	Satuan	Tipe Rel			
		R. 42	R. 50	R. 54	R. 60
H	mm	138	153	159	172
B	mm	110	127	140	150
C	mm	68,5	65	72	74,3
D	mm	13,5	15	16	16,5
E	mm	40,5	49	49,4	51
F	mm	23,5	30	30,2	31,5
G	mm	72	76	74,97	80,95
R	mm	320	500	508	120
A	mm ²	54,26	64,2	69,34	76,86
W	kg/m	42,59	50,4	54,43	60,34
Y _b	mm	68,5	71,6	76,2	80,95
I _x	cm ⁴	1,263	1,86	2,345	3,066
A		: Luas Penampang			
W		: Berat rel per meter			
Y _b		: Momen inersia terhadap sumbu X			
I _x		: jarak tepi bawah rel ke garis netral			

Rel menurut panjangnya, dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Rel standar adalah rel yang panjangnya 25 cm.

2. Rel pendek adalah rel yang panjangnya maksimal 100 m.
 3. Rel panjang adalah rel yang Panjang tercantum minimumnya.
- c. Sambungan rel

Sambungan rel adalah struktur yang menghubungkan dua ujung rel, memastikan operasi kereta api tetap aman dan nyaman. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, sambungan rel yang dimaksud dalam pasal ini menggunakan pelat penyambung serta baut dan mur. Berdasarkan kedudukannya terhadap bantalan, terdapat dua jenis sambungan rel, yaitu:

1. Sambungan melayang
2. Sambungan penumpu

Penempatan sambungan rel dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

1. Penempatan sambungan rel sejajar, di mana kedua sambungan berada pada satu garis yang tegak lurus terhadap sumbu rel.
2. Penempatan sambungan rel secara berselang-seling, di mana kedua sambungan rel tidak berada pada satu garis yang tegak lurus terhadap sumbu rel.
3. Di dalam daerah bentang jembatan, harus diusahakan agar tidak ada sambungan rel.
4. Rel dengan bantalan harus mampu bergeser terhadap gelegar pemikulnya, yaitu bagian dari konstruksi jembatan di mana bantalan menumpu secara langsung.
5. Jika digunakan rel standar atau rel pendek, sambungan rel harus ditempatkan di luar pangkal jembatan.
6. Jika digunakan rel panjang, jarak antara ujung rel di jembatan harus diatur sesuai dengan daerah muai rel tersebut.

2.2.2 Wesel

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, wesel berfungsi untuk mengalihkan kereta dari satu jalur ke jalur lainnya. Terdapat berbagai jenis wesel, termasuk wesel biasa, wesel tiga jalan, dan wesel Inggris. Komponen wesel terdiri dari beberapa bagian utama: lidah, jarum dan sayap-sayap, rel lantak, rel paksa, dan sistem penggerak. Nomor dan kecepatan izin pada wesel dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Wesel

tg	1:8	1:10	1:12	1:14	1:16	1:20
No. Wesel	W 8	W 10	W 12	W 14	W 16	W 2
Kecepatan izin (km/jam)	25	35	45	50	60	70

2.2.3 Penambatan Rel

Penambat rel adalah komponen yang mengikat rel pada bantalan agar tetap kokoh dan tidak bergeser (PM 60, 2012). Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, terdapat dua jenis penambat yang digunakan, yaitu penambat elastik dan penambat kaku. Penambat kaku terdiri dari tirpon, mur, dan baut, sedangkan penambat elastik terdiri dari penambat elastik tunggal dan ganda. Penambat elastik ganda mencakup pelat andas, pelat atau batang jepit elastik, alas rel, tirpon, mur, dan baut. Untuk bantalan beton, pelat andas tidak diperlukan, namun ketebalan karet las (*rubber pad*) harus disesuaikan dengan kecepatan maksimum.

Penambat kaku tidak boleh digunakan pada semua kelas jalan rel. Penambat elastik tunggal hanya boleh digunakan pada jalan kelas 4 dan 5, sedangkan penambat elastik ganda dapat digunakan pada semua kelas jalan rel, meskipun tidak dianjurkan untuk jalan rel kelas 5. Setiap jenis penambat elastik ganda memiliki bentuk dan hak paten tersendiri. Pemilihan model penambat harus disetujui oleh pemberi tugas. Persyaratan bahan untuk penambat harus memenuhi standar yang ditetapkan dalam Peraturan Bahan Jalan Rel Indonesia atau Peraturan Dinas No. 10C.

2.2.3 Bantalan

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, bantalan berfungsi untuk meneruskan beban dari rel ke balas, menjaga lebar sepur, dan memastikan stabilitas jalan rel. Bantalan dapat terbuat dari kayu, baja, atau beton, dengan pemilihan material didasarkan pada kelas jalan rel sesuai dengan klasifikasi di Indonesia. Jenis bantalan meliputi bantalan kayu, baja, bantalan beton tunggal, bantalan beton pratekan blok tunggal dengan proses “*post-tension*,” dan bantalan beton blok ganda. Pada jalan lurus, baik bantalan beton, baja, maupun kayu, digunakan sebanyak 1.667 bantalan per kilometer. Untuk lengkungan, jarak antar bantalan diatur menjadi 60 cm yang diukur dari rel luar.

2.2.4 Balas

Lapisan balas berfungsi sebagai perpanjangan dari lapisan tanah dasar dan terletak di area dengan konsentrasi tegangan tertinggi akibat lalu lintas kereta api. Oleh karena itu, berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, fungsi utama balas adalah:

1. Meneruskan dan menyebarkan beban dari bantalan ke tanah dasar;
2. Menjaga kestabilan posisi bantalan;
3. Mengalirkan air untuk mencegah genangan di sekitar bantalan rel.

Untuk menghemat biaya pembuatan jalan rel, lapisan balas dibagi menjadi dua bagian: lapisan balas atas yang menggunakan material berkualitas tinggi, dan lapisan balas bawah yang menggunakan material dengan kualitas yang lebih rendah dibandingkan lapisan balas atas.

2.3 Geometri Jalan

Perencanaan geometri jalan rel mencakup desain bentuk dan ukuran rel, baik dalam arah lebar maupun panjang. Dalam perencanaan memanjang, penting untuk mempertimbangkan dampak lingkungan sekitar. Salah satu kondisi yang harus dihindari adalah penempatan badan jalan rel yang dapat menghalangi aliran air permukaan.

2.3.1 Lebar Sepur

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, lebar sepur untuk seluruh kelas jalan rel adalah 1067 mm. Lebar sepur ini merupakan jarak terkecil antara kedua sisi kepala rel, diukur pada area 0-14 mm di bawah permukaan teratas kepala rel. Pengukuran lebar sepur dilakukan menggunakan template. Hubungan matematis antara lebar sepur (S), jarak antara bagian terdalam roda (c), tebal flens roda (f), dan kelonggaran antara rel dan roda (e) adalah: $S = c + 2f + 2e$. Perlebaran sepur dilakukan untuk memastikan roda kendaraan rel dapat melewati lengkungan tanpa hambatan, yang dicapai dengan menggeser rel bagian dalam ke arah dalam.

2.3.2 Lengkung Horizontal

Alinemen horizontal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang datar yang terdiri dari garis lurus dan lengkungan. Lengkung horizontal diklasifikasikan berdasarkan kecepatan rencana (km/jam) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4, sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012.

Tabel 2.4. Jari-Jari Minimum yang Diizinkan

Kecepatan Rencana (km/jam)	Jari-jari minimum lengkungan lingkaran tanpa lengkung peralihan (m)	Jari-jari minimum lengkung lingkaran yang diizinkan dengan lengkung peralihan (m)
120	2370	780
110	1990	660
100	1650	550
90	1330	440
80	1050	350
70	810	270
60	600	200

Lengkung peralihan adalah suatu lengkung dengan jari – jari yang berubah. lengkung peralihan dipakai sebagai peralihan dipakai sebagai peralihan antara bagian yang lurus, bagian lingkaran, dan sebagai peralihan antara kedua jari – jari yang berbeda:

$$R_{min} = 0,054 \cdot V^2$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} R_{min} &= 0,054 \cdot 120^2 \\ &= 780 \end{aligned}$$

Panjang minimum dari lengkung peralihan ditetapkan menggunakan rumus:

$$l_h = 0,01 \times h \times v$$

2.3.3 Lengkung Vertikal

l_h : Panjang minimum lengkung peralihan (m)

h : Peninggian relatif antara dua bagian yang dihubungkan (m)

v : Kecepatan rencana untuk lengkung peralihan (km/jam)

Alinyemen vertikal adalah proyeksi sumbu jalan rel pada bidang vertikal yang terdiri dari:

- Garis lurus dengan atau tanpa kemiringan
- Lengkung vertikal

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, lengkung vertikal berfungsi sebagai transisi antara satu kemiringan dengan kemiringan berikutnya, sehingga perubahan kemiringan terjadi secara bertahap dan teratur. Selain itu, lengkung vertikal juga dirancang untuk memberikan pandangan yang cukup dan memastikan keamanan kereta api. Lengkung vertikal harus memenuhi syarat jari-jari minimum berdasarkan kecepatan rencana, sebagaimana tercantum pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Jari-jari Minimum Lengkung Vertikal

Kecepatan rencana (km/jam)	Jari-jari Minimum Lengkung Vertikal (meter)
Lebih besar dari 100	8000
Sampai 100	6000

Pada perencanaan alinyemen lengkung vertikal ditetapkan menggunakan rumus:

$$A = [G2 - G1]$$

$$X_m = \frac{R}{2} \times \left(\frac{A}{1000} \right)$$

$$Y_m = \frac{R}{8} \times \left(\frac{A}{1000} \right)^2$$

$$G1 = 1000 \times \text{Grade in}$$

$$G2 = 1000 \times \text{Grade Out}$$

$$R = 8000 \text{ (kecepatan rencana lebih dari 100)}$$

2.3.4 Pelebaran Sepur

Pelebaran jalan rel diperlukan untuk memastikan roda kendaraan rel dapat melewati tikungan tanpa hambatan. Detail pelebaran sepur untuk setiap jari-jari tikungan dapat ditemukan pada Tabel 2.6 sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012.

Tabel 2.6. Pelebaran Sepur

Jari-Jari Tikungan (m)	Pelebaran (m)
$R > 600$	0
$550 < R \leq 600$	5
$400 < R \leq 550$	10
$350 < R \leq 400$	15
$100 < R \leq 350$	20

2.3.5 Landai

Persyaratan kelandaian yang harus dipenuhi meliputi landai penentu, landai curam, dan landai emplasemen. Menurut Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012, landai penentu adalah kemiringan terbesar pada lintas lurus. Kemiringan maksimum yang diizinkan pada emplasemen adalah 1,5%. Landai penentu dan kelandaian lainnya diklasifikasikan berdasarkan ketentuan masing-masing, seperti yang tercantum dalam Tabel 2.7 dan Tabel 2.8.

Tabel 2.7. Landai Penentu

Kelas Jalan Rel	Landai Penentu Maksimum
1	10%
2	10%
3	20%
4	25%
5	25%

Tabel 2.8. Kelandaian

Kelompok	Kelandaian
Emplasemen	0 sampai 1,5%
Lintas Datar	0 sampai 10%
Lintas pegunungan	10% sampai 40%
Lintas dengan rel gigi	40% sampai 80%