

JURNAL

**PERANCANGAN JALUR GANDA JALAN REL RUAS
STASIUN SOLOBALAPAN SAMPAI STASIUN SRAGEN**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Strata Satu Teknik Sipil**



**Badri Zulkabir
11.511.156**

**PRODI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2018**

PERANCANGAN JALUR GANDA JALAN REL RUAS STASIUN SOLOBALAPAN SAMPAI STASIUN SRAGEN

Badri Zulkabir¹⁾ Ir. M. Sigit D.S M.T²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

²⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Email : Badri.zulkabir@gmail.com

Abstrak

Pertumbuhan penduduk yang dewasa ini cukup tinggi sehingga menyebabkan mobilitas meningkat, sehingga kebutuhan pergerakannya meningkat bahkan melebihi kapasitas prasarana transportasi yang ada. Dalam hal ini khususnya kereta api merupakan sarana transportasi yang diminati oleh masyarakat, jika dibandingkan dengan sarana transportasi lain. Semakin meningkatnya kebutuhan sarana transportasi kereta api maka perlu adanya pembangunan yang mengarah pada pengembangan perkeretaapian sehingga tidak akan terjadi keterlambatan. Dengan pembangunan jalur ganda kereta api antara Kota Solo – Kota Sragen Lintas Selatan Jawa yang masih jalur tunggal merupakan jalur operasi kereta api yang padat lalu lintasnya sehingga tidak terjadi keterlambatan perjalanan kereta api.

Jalur Solobalapan – Sragen merupakan jalur utama lintas selatan yang menghubungkan pulau Jawa yang memiliki pergerakan yang cukup tinggi. Berdasarkan pengolahan data penumpang dan barang kereta api bahwa jalur ini sampai tahun 2034 diperkirakan akan mengalami peningkatan 1393548,404 orang hingga 2197247,395 orang atau kenaikan sebesar 16,4% dan volume barang sebesar 112366,6422 ton hingga 290369,3415 ton atau sebesar 46,06%.

Perencanaan konstruksi jalur Solobalapan – Sragen ini didasarkan Karena besarnya angkutan yang dibutuhkan tidak sebanding dengan jumlah prasarana yang ada, sehingga diperlukan peningkatan dalam hal ini mengubah jalur tunggal menjadi jalur ganda.

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir yaitu Perkiraan daya angkut lintas tahun 2034 yaitu 34362828,42 ton/tahun $> 20 \times 10^5$ ton/tahun. Maka untuk perencanaan jalur ganda menggunakan perencanaan jalan rel kelas I. Bantalan beton menggunakan bantalan beton type b-blok. Penambat menggunakan penambat elastik ganda tipe pandrol dengan alas karet. Balas dan subbalas menggunakan batu pecah dengan ukuran balas sesuai dengan jalan rel kelas I.

Kata kunci : Jalur Ganda, Bantalan b-blok, Trase, Geometrik

Abstract

The following years, the growth of population is high enough which impacts a rise of mobility, so the necessity of movement increase even the capacity of transportation infrastructure is more than before. In this case, especially the train which is the means of transportation is more interested by the public than other transportation. Because the means of train's transportation are increase, it need to develop the means which manage to development of train so it will not be late. Developing of double track train between Solo and Sragen in South Line of Java which still single track is the operation track of train which is dense of traffic, so it is not late in train's trips.

Solobalapan-Sragen's track is the main track of south line which connects the Java island that has a high movement. Based on data processing of passenger and goods of trains, this track up to 2034 is estimated that it will increase from 1393548,404 people to 2197247,395 people or rise up to 16,4% and volume of goods is from 112366,6422 ton to 290369,3415 ton or rise up to 46,06%.

Solobalapan-Sragen's track plans to costruct because the value of transportation which is needed is not comparable to the number of infrastructure, so it needs to rise especially change the single track to double track.

The result from this thesis that estimation of carrying capacity is 34362828,42 ton/year $> 20 \times 10^5$ ton/year in 2034, so the planning of double track uses the class I of railway planning The type of Sleeper railway is b-block. Fastening which is used is double elastic fastening Pandrol-type with rubber mat. Ballast and subballast use gravel which is suitable with the class I of railway.

Keywords : Double track, B-blok sleeper, Trase, Geometric

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan aktifitas akan menyebabkan terjadinya kebutuhan ruang yang semakin bertambah. Hal ini sering menyebabkan terjadinya perubahan fisik dan penggunaan lahan kota serta dapat menyebabkan meningkatnya intensitas pergerakan penduduk.

Peningkatan pergerakan penduduk dapat menyebabkan meningkatkan kebutuhan akan ketersediaan prasarana dan sarana transportasi. Kebutuhan sarana dan prasarana transportasi meliputi penambahan dan peningkatan kualitas jalan yang ada. Jika penambahan jalan baik dari segi kuantitas maupun kualitas tidak mampu mengimbangi peningkatan jumlah kendaraan, maka hal ini dapat menyebabkan timbulnya masalah transportasi.

Kereta api saat ini merupakan sarana transportasi yang sangat diminati oleh masyarakat, jika dibandingkan dengan sarana transportasi lain, kereta api dirasakan lebih ekonomis, tertib dan aman. Semakin meningkatnya kebutuhan sarana transportasi kereta api maka perlu adanya pembangunan yang mengarah pada pengembangan perkeretaapian.

Jalur kereta api antara Kota Solo – Kota Sragen Lintas Selatan Jawa yang masih jalur tunggal (*single tracking*) merupakan jalur operasi kereta api yang padat lalu lintasnya sehingga sering terjadi keterlambatan perjalanan kereta api.

Terjadinya keterlambatan perjalanan penggunaan jasa kereta api tidak lagi menjadi efektif dan efisien, sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan masih digunakannya jalur tunggal (*single track*) akan timbul gangguan perjalanan kereta api berupa keterlambatan dan kerawanan terhadap kecelakaan.

Membangun Jalur Ganda Solobalapan – Sragen ini menjadi solusi terbaik dalam menangani masalah ini, karena fungsi pembangunan jalur ini untuk meningkatkan kapasitas angkutan dan keselamatan operasional perjalanan kereta api yang semakin padat.

Kereta api merupakan salah satu alternatif alat transportasi yang diminati

sebagian besar masyarakat Indonesia terutama di Pulau Jawa, hal ini disebabkan oleh jumlah kecelakaan yang terjadi relatif kecil dibandingkan dengan angkutan umum lainnya. Selain itu waktu perjalanan juga lebih efektif dan efisien karena faktor kemacetan lalu lintas yang kecil dibandingkan angkutan umum lainnya.

Pembangunan perkeretaapian ditunjukan untuk meningkatkan kemampuan angkut dan meningkatkan mutu pelayanan kereta api agar berfungsi sebagai angkutan umum yang murah, tertib, dan aman. Dengan adanya pengembangan rel kereta api dari *single track* menjadi *Double track* diharapkan akan meningkatkan kapasitas dan mengembangkan daerah sekitar.

Sehingga timbul permasalahan bagaimana merencanakan trase jalan kereta api sesuai peraturan yang ada sehingga didapatkan trase yang efektif dan efisien menurut persyaratan yang ada, sehingga diharapkan dengan tugas akhir ini dapat di aplikasikan didunia nyata.

LANDASAN TEORI

Perencanaan Konstruksi Jalan Rel

Jalan rel adalah 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 mengarahkan jalannya kereta api. (*Peraturan Menteri Perhubungan, 2000*).

Perencanaan konstruksi jalan rel harus direncanakan sedemikian rupa sehingga dapat dipertanggungjawabkan secara teknis dan ekonomis. Secara teknis diartikan konstruksi jalan rel tersebut harus dapat dilalui oleh kendaraan rel dengan aman dengan tingkat kenyamanan tertentu selama umur konstruksinya.

Perencanaan konstruksi jalan rel dipengaruhi oleh jumlah beban, kecepatan maksimum, beban gandar dan pola operasi. Atas dasar ini diadakan klasifikasi jalan rel, sehingga perencanaan dapat dibuat secara tepat guna.

Estimasi Pertumbuhan Penumpang dan Barang

Perkembangan dan pertumbuhan pergerakan massa dari suatu tempat ke tempat lain dipicu oleh banyak faktor. Peningkatan arus lalu lintas serta kebutuhan akan transportasi telah menghasilkan tundaan, kecelakaan dan permasalahan yang lain, sehingga perlu adanya faktor-faktor untuk menghitung pertumbuhan penumpang dan barang.

A. Pertumbuhan penumpang dihitung menggunakan persamaan :

$$Y = a + b.X$$

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$y' = a + b.u$$

$$i = \left(\frac{P_n}{P_o} \right)^{\frac{1}{2}} - 1$$

Keterangan :

Y = Besarnya volume pertumbuhan penumpang yang diramal

X = Variabel bebas yang mempengaruhi peningkatan volume penumpang

a,b = Konstanta

y' = Besarnya volume pertumbuhan penumpang yang diramal

I = Besarnya persen pertumbuhan penumpang

P_n = Volume pertumbuhan penumpang di tahun pertama ramalan (3.1)

P_n = Volume pertumbuhan penumpang di tahun akhir ramalan (3.2)

Klasifikasi Jalan Rel (3.3)

Jalan rel diklasifikasikan berdasarkan daya angkut lalu lintas, kecepatan maksimm, beban gandar dan ketentuan ketentuan lainnya untuk setiap kelas jalan dapat dilihat pada Tabel 1. (3.4) (3.5)

Tabel 1 Klasifikasi Jalan Rel

Klasifikasi Jalan KA	Pasing Ton Tahunan (Juta Ton)	Perencanaan Kecepatan KA Maksimum V_{max} (km/jam)	Tekanan Gandar P max (ton)	Tipe Rel	Tipe dari Bantalan Jarak Bantalan (mm)	Tipe Alat Penambat	Tebal balas dibawah Bantalan (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
1	> 20	120	18	R60 / R54	<u>Beton</u> 600	EG	30	50
2	10 – 20	110	18	R54 / R50	<u>Beton/Kayu</u> 600	EG	30	50
3	5 – 10	100	18	R54/ R50/ R42	<u>Beton/Kayu /Baja</u> 600	EG	30	40
4	2,5 – 5	90	18	R54/ R50/ R42	<u>Beton/Kayu /Baja</u> 600	EG/ET	25	40
4	< 2,5	80	18	R42	<u>Kayu/Baja</u> 600	ET	25	35

Sumber : Peraturan Menteri Perhubungan No.60 (2012)

Ruang Bebas dan Ruang Bangun

Ruang bebas adalah ruang diatas sepur yang senantiasa harus bebas dari segala rintangan dan benda penghalang, ruang ini disediakan untuk lalu lintas rangkaian kereta api. Untuk jalur ganda, jarak antar sumbu untuk jalur lurus dan lengkung sebesar 4,00 m. Ukuran – ukuran Ruang Bebas tersebut sudah memperhitungkan hal-hal berikut :

1. Bergeraknya kendaraan jalan rel (lokomotif, kereta, gerbong) ke kanan dan ke kiri dalam perjalanan (akibat adanya kelonggaran antara *flens* roda dan kepala rel, maupun cacat-cacat atau *track irregularities*).
2. Pelebaran ruang yang diperlukan sewaktu kereta api melewati tikungan/lengkung.
3. Ukuran gerbong peti kemas standar ISO (*ISO Container size*) tipe *standard height*.
4. Penyediaan ruang bebas untuk memasang saluran-saluran kawat listrik beserta tiang-tiang pen dukungnya, dan pantograf listrik pada kereta elektrifikasi
5. Tinggi peron, baik untuk barang maupun untuk penumpang (peron tinggi dan peron rendah)

Ruang bangun adalah ruang disisi sepur yang senantiasa harus bebas dari segala bangunan tetap seperti antara lain tiang semboyan, tiang listrik dan pagar. Batas ruang bangun diukur dari sumbu sepur pada tinggi 1 meter sampai 3,55

meter. Jarak ruang bangun ditetapkan sebagai berikut :

1. Pada lintas bebas ialah 2,35 m sampai 2,53 m di kiri dan kanan sumbu sepur.
2. Pada emplasemen ialah 1,95 m sampai 2,35 m di kiri dan kanan sumbu sepur.
3. Pada jembatan ialah 2,15 di kiri dan kanan sumbu sepur.

Geometrik

Perencanaan geomtrik jalan rel berdasarkan pada kecepatan rencana serta ukuran-ukuran kereta yang akan melewatinya sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Peraturan Menteri Perhubungan No.60 tahun 2012 dalam hal ini kecepatan rencana yang akan direncanakan 100km/jam sehingga mendapatkan radius pada lengkungan untuk mendapatkan keamanan, kenyamanan, ekonomis dan keserasian dengan lingkungan sekitarnya.

Rel

Rel merupakan struktur balok menerus yang diletakkan di atas tumpuan bantalan yang berfungsi sebagai penuntun/ mengarahkan pergerakan roda kereta api.

Penamaan tipe rel untuk tujuan klasifikasi rel di Indonesia (dapat dilihat pada tabel 2) disesuaikan dengan berat (dalam kilogram, kg) untuk setiap 1 meter panjangnya, misalnya : tipe R 54 berarti rel memiliki berat sekitar 54 kg untuk setiap 1 meter panjangnya.

Tabel 2 Klasifikasi Tipe Rel di Indonesia

Tipe	Berat (kg/m)	Tinggi (mm)	Lebar Kaki (mm)	Lebar Kepala (mm)	Tebal Badan (mm)	Panjang Standar/ normal (m)
R2/ R25	25,74	110	90	53	10	6,80-10,20
R3/ R33	33,40	134	105	58	11	11,90-13,60
R14/ R41	41,52	138	110	68	13,5	11,90-13,60-17,00
R14A/ R42	42,18	138	110	68,5	13,5	13,60-17,00
R50	50,40	153	127	63,8	15	17,00
UIC 54/ R54	54,40	159	140	70	16	18,00/24,00
R60	60,34	172	150	74,3	16,5	

Penambat

Penambat rel adalah suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sedemikian rupa sehingga kedudukan rel adalah tetap, kokoh dan tidak bergeser. Jenis penambat yang dipergunakan adalah penambat elastik dan penambat kaku.

Bantalan

Pemilihan jenis bantalan yang digunakan adalah berdasarkan atas kelas jalan rel menurut peraturan konstruksi jalan rel yang berlaku (Standar Jalan rel Indonesia). Penggunaan bantalan yang akan di gunakan dalam tugas akhir ini yaitu bantalan beton.

Balas

Lapisan balas pada dasarnya adalah terusan dari lapisan tanah dasar dan terletak di daerah yang mengalami konsentrasi tegangan yang terbesar akibat lalu lintas kereta pada jalan rel, oleh karena itu material pembentuknya harus sangat terpilih.

Untuk menghemat biaya pembuatan jalan rel maka lapisan balas dibagi menjadi dua, yaitu lapisan balas atas dengan material pembentuk yang sangat baik dan lapisan alas bawah dengan material pembentuk yang tidak sebaik material pembentuk lapisan balas atas.

METODOLOGI PENELITIAN

Tahap Persiapan

Tahapan persiapan meliputi kegiatan-kegiatan Survei pendahuluan ke lokasi untuk mendapatkan gambaran umum kondisi lapangan, menentukan kebutuhan data, mendata instansi yang dapat dijadikan narasumber, pengadaan persyaratan administrasi untuk pencarian data, Studi pustaka tentang perkeretaapian untuk referensi, dan pembuatan proposal tugas akhir.

Tahap Pencarian dan Inventarisasi Data

Untuk perencanaan jalur kereta api dari stasiun Solobalapan – stasiun Sragen diperlukan data primer dan data

sekunder dengan tujuan agar didapat hasil dalam menentukan perencanaan yang tepat, oleh sebab itu dilakukan inventarisasi data melalui survei ke instansi yang terkait, *interview* dengan pihak yang mempunyai kebijakan dan hubungannya dengan perencanaan, serta pengamatan langsung kelapangan terhadap kondisi jalan untuk menganalisa kondisi rencana.

Tahap Pengolahan Data

Perencanaan jalan rel yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah perencanaan *double track*. Pada tahap ini dilakukan proses pengolahan data dalam arti perhitungan teknis secara lengkap sehingga menghasilkan input bagi proses perencanaan selanjutnya. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan meliputi analisis potensi penumpang dan barang serta analisis pola operasional kereta api.

Tahap Perencanaan

1. Analisis Potensi penumpang dan barang
Analisis ini dilakukan untuk mengetahui layak tidaknya jalur kereta api Solobalapan - Sragen ditingkatkan menjadi jalur ganda. Dengan membandingkan dan memprediksi jumlah potensi penumpang dan barang untuk perencanaan 20 tahun mendatang apakah masih layak dengan menggunakan jalur kereta api yang masih jalur tunggal.
2. Analisis pola operasional kereta api
Analisis ini dilakukan juga untuk mengetahui layak tidaknya jalur kereta api dengan membandingkan kapasitas lintas dengan frekuensi kereta api yang melintas pada lintas tersebut.

ANALISIS

Analisis Potensi Penumpang dan Barang

Dari kedua analisis di atas dapat disimpulkan untuk angkutan penumpang sampai tahun 2034 diperkirakan akan mengalami kenaikan sebesar 16,4% atau sebanyak 5502890 jiwa. Sedangkan untuk angkutan barang sampai tahun 2034 diperkirakan akan mengalami kenaikan sebesar 46,06% atau sebesar 51753,29917

ton. Untuk itu diperlukan rangkaian kereta tambahan yang sebanding dengan kenaikan penumpang. Jika pada tahun 2014 telah beroperasi 46 kereta penumpang, maka pada tahun 2034 perlu tambahan rangkaian kereta sebanyak 8 kereta penumpang. Dan jika pada tahun 2014 telah beroperasi 4 rangkaian kereta api barang maka pada tahun 2034 diperkirakan perlu tambahan rangkaian kereta sebanyak 2 rangkaian sehingga total kereta penumpang dan barang yang dibutuhkan pada tahun 2034 sebanyak 62 rangkaian kereta api.

Analisis Pola Operasional Kereta Api

Kepadatan lintas adalah jumlah kereta api yang benar-benar lewat atau yang dijalankan sesuai Gapeka pada lintas (petak jalan) tertentu dan dalam waktu tertentu. Keberadaan stasiun sebagai tempat penyusulan pada lintas jalur ganda diperlukan apabila ada perbedaan puncak kecepatan dari berbagai kereta api yang dioperasikan pada lintas tersebut. Sedangkan jarak antar 2 stasiun di jalur ganda tidak perlu sama dengan jarak antara 2 stasiun pada jalur tunggal, sehingga apabila semula jalur tunggal kemudian di tingkatkan menjadi jalur ganda, maka sebagian stasiun yang ada pada lintas tersebut dapat dipertimbangkan untuk dihapus dan difungsikan sebagai *intermediate blok*, sepanjang syarat-syarat lain terpenuhi.

Program dan realisasi frekuensi kereta api dilintas Solobalapan – Sragen dibagi menjadi 3 bagian waktu, yaitu :

- Pukul 00.00 – 08.00 (8 jam = 480 menit)
- Pukul 08.00 – 16.00 (8 jam = 480 menit)
- Pukul 16.00 – 24.00 (8 jam = 480 menit)

Maksud dari pembagian waktu untuk melihat rentang waktu longgar dan padat. Dari data yang ada memperlihatkan waktu longgar berada pada rentang waktu 00.00 – 08.00 dan 08.00 – 16.00, sedangkan waktu padat ada pada rentang waktu 16.00 – 24.00.

Tabel 3 Frekuensi KA Penumpang Dan Barang Pada Jam-Jam Sepi, Sedang Dan Sibuk Di DAOP VI Yogyakarta

Pukul				Pukul				Pukul			
00.00 - 08.00 (8 jam = 480 menit)				08.00 - 16.00 (8 jam = 480 menit)				16.00 - 24.00 (8 jam = 480 menit)			
pnp	brg	jml	Rata-rata	pnp	brg	jml	Rata-rata	pnp	brg	jml	Rata-rata
13	2	15	32	12	2	14	34	19	0	19	25
			1 KA tiap 32 menit				1 KA tiap 34 menit				1 KA tiap 25 menit

Desain Jalur Ganda

Untuk perencanaan perhitungan, penulis menggunakan contoh lengkung horizontal 1

a. Kecepatan rencana

Kecepatan rencana adalah kecepatan yang digunakan untuk merencanakan konstruksi jalan rel.

Untuk perencanaan struktur jalan rel

Kelas jalan I

$$V_{maks} = 80 \text{ km/jam}$$

$$= 1,25 \times 80 \text{ km/jam} = 100 \text{ km/jam}$$

Untuk Perencanaan jari-jari lengkung lingkaran dan peralihan

$$V_{rencana} = V_{maksimum}$$

$$V_{rencana} = 80 \text{ km/jam}$$

b. Perencanaan jari-jari horisontal (R)

$$R_{min} = 0,054 * V^2 = 0,054 * 80^2 = 345,6 \text{ m}$$

$$R_{min} \text{ pakai } 350 \text{ m}$$

c. Perencanaan peninggian rel (h)

$$h_{normal} = 5,95 \times \frac{V_r^2}{R_{pakai}} =$$

$$5,95 \times \frac{80^2}{350} = 108,8 \text{ mm}$$

$$h_{min} = 8,8 \times \frac{V_r^2}{R_{pakai}} - 53,5 =$$

$$8,8 \times \frac{80^2}{350} - 53,5 = 107,414 \text{ mm}$$

$$h_{maks} = 110 \text{ mm}$$

$$h_{pakai} = 110 \text{ mm}$$

$$h_{min} < h_{normal} < h_{maks}$$

d. Perencanaan lengkung peralihan

$$L_s = L_h = 0,01 \times h \times V_{maksimum} = 0,01 \times 110 \times 100 = 110 \text{ m}$$

e. Perencanaan lengkung lingkaran

$$\theta_s = \frac{90 \times L_s}{\pi \times R} = \frac{90 \times 110}{\pi \times 350} = 7,2$$

$$\theta_c = \Delta_s - 2\theta_s = 23 - 2 \times 7,2 = 8,6$$

$$L_c = \frac{\theta_c}{360} \times 2\pi R =$$

$$L_c = \frac{8,6}{360} \times 2 \times \pi \times 350 = 52,5556 \text{ m}$$

$$L = 2L_s + L_c = L = 2.110 + 52,5556 = 228,5600 \text{ m}$$

f. Perencanaan komponen lengkung lingkaran

$$X_c = L_s - \frac{L_s^3}{40 \times R^2} = 110 - \frac{110^3}{40 \times 350^2} = 87,8609 \text{ m}$$

$$Y_c = \frac{L_s^2}{6 \times R} = \frac{110^2}{6 \times 350} = 3,6876 \text{ m}$$

$$p = Y_c - R(1 - \cos \theta_s) = 3,6876 - 350(1 - \cos .8,6) = 0,9278 \text{ m}$$

$$k = X_c - R \cdot \sin \theta_s = 87,8609 - 350 \cdot \sin .7,2 = 43,994 \text{ m}$$

g. Perencanaan komponen lengkung lingkaran

$$Ts = (R + p)tg \frac{\Delta_s}{2} + k = (350 + 0,9278)tg \frac{23}{2} + 43,994 = 115,391 \text{ m}$$

$$Es = (R + p) \sec \frac{\Delta_s}{2} - R = (350 + 0,9278) \sec \frac{23}{2} - 350 = 8,1171 \text{ m}$$

Rel

1. Rel

Diketahui kelas jalan I dengan kecepatan maksimum 100 km/jam. Daya lintas lebih dari 20 juta ton pertahun. Tekanan gandar yang dibebankan oleh lokomotif CC sebesar 18 ton.

$$\text{Kelas jalan I Vrencana} = 1,25x V_{maks}$$

$$1,25 \times 100 \text{ km/jam}$$

$$125 \text{ km/jam}$$

$$\text{Kekakuan jalan rel} = 180 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Momen inersia} = 2346 \text{ cm}^4 \text{ (Tabel 3.8)}$$

$$\text{Tahanan momen dasar} = 300 \text{ cm}^3$$

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

$$\text{a. Perhitungan momen}$$

$$Ma = 0,82 \frac{P}{4\lambda} = \frac{9000 \left(1 + 0,01 \left[\frac{120}{1,609} - 5 \right] \right)}{4 \left(\frac{180}{4 \times 2,1 \times 10^6 \times 2346} \right)^{1/4}}$$

$$Ma = 325906 \text{ kgcm}$$

b. Tinjauan terhadap tegangan ijin kelas jalan

$$\sigma_x = \frac{M \times y}{I_x} = \frac{325906 \times 7,62}{2346}$$

$$\sigma_x = 1058,569078 \text{ kg/cm}^2 < 1325 \text{ kg/cm}^2 \text{ Ok (Tabel 3.9)}$$

c. Tinjauan terhadap tegangan yang terjadi di dasar rel

$$S_{base} = \frac{Ma}{Wb} = \frac{325906}{300}$$

$$S_{base} = 1086,353043 \text{ kg/cm}^2 < 1176,8 \text{ kg/cm}^2 \text{ OK (Tabel 3.9)}$$

Jadi dengan Rel 54 profil dapat digunakan untuk koridor Solobalapan – Sragen.

2. Penentuan panjang rel

Digunakan persamaan 3.30 untuk menentukan panjang rel

$$l = \frac{2,1 \times 10^6 \times 54,26 \times 1,2 \times 10^{-5} \times (50 - 60)}{450}$$

$$l = 91,1568$$

Panjang minimum rel R.54 yang disyaratkan adalah

$$L = 2xl$$

$$L = 2 \times 91,1568$$

$$L = 182,3136 \text{ atau dibulatkan per } 25 \text{ m menjadi } 200 \text{ m}$$

Celah rel sesuai tipe rel R.54 digunakan celah maksimum 16mm.

3. Penentuan penambat rel

Penambat rel adalah suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan sedemikian rupa sehingga kedudukan rel adalah tetap, kokoh dan tidak bergeser. Jenis penambat yang dipergunakan adalah penambat elastik dan penambat kaku. Sesuai PM No.60 tahun 2012 digunakan penambat elastik ganda, tipe pandrol dengan alas karet karena sangat sesuai dengan tipe rel R.54

4. Bantalan

Menurut PM No.60 tahun 2012 ukuran bantalan Bi-blok sesuai tabel 3.4

$$\text{Panjang} = 70 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi sisi luar} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi sisi dalam} = 20 \text{ cm}$$

Mutu campuran beton yang digunakan tidak kurang dari K-385, digunakan K-500

Perhitungan mutu beton Bi-Blok

a. Dimensi pakai



Gambar 1 Dimensi Bantalan Bi-blok

b. Tegangan dibawah bantalan

Beban luar $Q = 60\% Pd$

Dari perhitungan beban gandar kendaraan dinamik digunakan beban gandar maksimum 18 ton, maka $P_s = 9000$ kg. Untuk kelas jalan I, V rencana 120 km/jam

Beban dinamik

$$Pd = \left[1 + 0,01 \times \left(\frac{V}{1,609} - 5 \right) P_s \right]$$

$$Pd = \left[1 + 0,01 \times \left(\frac{120}{1,609} - 5 \right) P_s \right] = 6263,244 \text{ kg}$$

Maka beban yang diterima bantalan dari kendaraan kereta api $Q = 60\% \times 6263,24363 \text{ kg} = 3757,946178 \text{ kg}$.

Beban Merata (q)

$$q = \frac{Q}{\text{luasbalok}} = \frac{3757,946}{70 \times 30} = 1,789498$$

kg/cm²

Momen dibawah rel

$$Mr = \frac{1}{2} \times q l^2 b = \frac{1}{2} \times 1,789498 \times 45^2 \times 30 = 54356,01$$

kg-cm.

Tahanan momen

$$W = \frac{1}{6} b h^2 = \frac{1}{6} \times 30 \times 20^2 = 2000 \text{ cm}^3$$

c. Kontrol tegangan normal dibawah bantalan terhadap mutu beton

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{2} q l^2 b}{\frac{1}{6} b h^2}$$

$$\sigma = \frac{54356,01}{2000} = 27,178 \text{ kg/cm}^2$$

Kontrol tegangan normal

$$\sigma = 0,33 \sigma_{bk}$$

Untuk

$$\sigma = 27,178 \text{ kg/cm}^2, \quad \text{maka}$$

$$\sigma_{bk} \geq 82,35759 \text{ kg/cm}^2$$

d. Kontrol tegangan geser dibawah bantalan terhadap mutu beton

$$\tau_{pons} = \frac{Q}{2(bh)} = \frac{3757,946}{2(20 \times 30)} = 3,131622$$

kg/cm²

Kontrol tegangan geser

$$\tau_{pons} \leq 0,65 \sqrt{\sigma_{bk}}$$

Untuk $\tau_{pons} = 3,131622 \text{ kg/cm}^2$

$$\leq 0,65 \sqrt{\sigma_{bk}},$$

maka $\sigma_{bk} > 23,21196 \text{ kg/cm}^2$

e. Jarak antar bantalan

Secara praktis di Indonesia digunakan jarak bantalan sebagai berikut :

- 1) Jarak bantalan pada lintas lurus ialah 60 cm, sehingga jumlah bantalan yang dipasang adalah 1667 buah untuk tiap km panjang
- 2) Pada tikungan/lengkung, jarak bantalan ialah sebesar 60 cm (diukur pada rel luar)

5. Balas

Lapisan balas merupakan lapisan diatas tanah dasar yang berfungsi menahan kontruksi bantalan dan meneruskan beban dari bantalan menuju ke tanah dasar dengan pola distribusi beban yang merata.

a. Lapisan Balas

Bentuk dan ukuran lapisan balas yang digunakan di Indonesia, mengacu pada persyaratan yang telah di tetapkan oleh PM No. 60 tahun 2012, yaitu

- 1) Tebal lapisan balas yang digunakan mengacu pada klasifikasi Jalan Rel Indonesia, ditetapkan untuk lebar sepur sempit dan standar. Berikut tabel tebal lapisan balas

Tabel 4 Spesifikasi Tebal Balas Dari Klasifikasi Jalan Rel

Kelas Jalan	V maks (km/jam)	Tebal Balas (cm)	Lebar Bahu Balas (cm)
I	120	30	60
II	110	30	50

III	100	30	40
IV	90	25	40

Pada perencanaan ini digunakan kelas jalan rel I untuk kebutuhan koridor Solobalapan – Sragen, sehingga tebal balas yang dipakai adalah 30 cm dan lebar bahu balas pakai adalah 60 cm

- 2) Jarak dari sumbu jalan rel ke tepi atas lapisan balas

$$B > \frac{1}{2} L + X$$

Keterangan :

$$L = \text{Panjang bantalan (cm)}$$

$$X (1067 \text{ mm}) = 50 \text{ cm}$$

$$\text{untuk kelas I dan II} = 40 \text{ cm}$$

$$\text{untuk kelas III dan IV} = 35 \text{ cm}$$

$$\text{untuk kelas V}$$

$$\text{Pada perencanaan koridor Solobalapan-Sragen ini digunakan kelas I, sehingga}$$

$$B > \frac{1}{2} 700 + 50$$

$$B > 400 \text{ cm}$$

- 3) Kemiringan lereng lapisan balas tidak boleh melebihi kecuraman 1:2. Kemiringan ini berlaku apabila material balas memenuhi persyaratan material balas.

- b. Sub balas

Bentuk dan ukuran lapisan sub-balas yang digunakan di Indonesia mengacu pada persyaratan yang telah diatur pada PM. no 60 tahun 2012, yaitu :

- 1) Menghitung damping factor (λ)
 Sesuai kelas jalan I dan perhitungan sebelumnya untuk dimenis yang digunakan adalah sebagai berikut

$$L = 70 \text{ cm}$$

$$B = 30 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

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

$$E = 1,43 \times 10^5$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{180}{4 \times 1,43 \times 10^5 \times (\frac{1}{12} \times 30 \times 20^3)}} = 0,0112 \text{ cm}^{-1}$$

$$P_d = \left[1 + 0,01 \times \left(\frac{V}{1,609} - 5 \right) P_s \right]$$

$$P_d = \left[1 + 0,01 \times \left(\frac{120}{1,609} - 5 \right) 9000 \right]$$

$$= 6263,24363 \text{ kg}$$

- 3) Perhitungan tekanan pada balas

Sebelumnya telah dihitung pada tabel untuk perhitungan fungsi trigonometri pada rel agar mempermudah dalam menghitung tekanan pada balas.

$$a = 45 \text{ cm}$$

$$c = 55 \text{ cm}$$

$$\lambda = 0,0112 \text{ cm}^{-1}$$

$$\sigma_1 = \frac{P_d \cdot \lambda}{2b (\sin \lambda L + \sin \lambda L)} \left[\frac{2 \cosh^2 \lambda a (\cos 2\lambda c + \cos \lambda L) - 2 \cos^2 \lambda a (\cosh 2\lambda c + \cos \lambda L) + \sin 2\lambda a (\sin 2\lambda c - \sinh \lambda L) - \sin 2\lambda a (\sin 2\lambda c - \sinh \lambda L)}{\sin 2\lambda a (\sin 2\lambda c - \sinh \lambda L)} \right]$$

$$\sigma_1 = 904,8753 \text{ kg-cm}$$

$$\sigma_t = \frac{P_d \cdot \lambda}{4b (\sin \lambda L + \sin \lambda L)} \left[\frac{\text{Sinh} \lambda c (\text{Sin} \lambda c + \sin \lambda(L-c)) + \text{Sin} \lambda c (\text{Sinh} \lambda c + \text{Sinh}(L-c)) + \cosh \lambda c \cos \lambda(L-c) - \cos \lambda c \cdot \cosh \lambda(L-c)}{\sin \lambda L + \sin \lambda L} \right]$$

$$\sigma_t = 298,5964 \text{ kg-cm}$$

- 4) Menghitung tebal lapisan balas

$$d = 1,35 \sqrt{\frac{58 \cdot \sigma_1}{\sigma_t} - 10}$$

$$d = 1,35 \sqrt{\frac{58 \cdot 904,8753}{298,5964} - 10} = 44,06244386 \text{ cm}$$

$$d_2 = d - d_1 > 15$$

$$44,06244386 - 30 > 15 \text{ cm}$$

$$d_2 \text{ pakai} = 30 \text{ cm}$$

- 5) Jarak dari sumbu rel ke tepi lapisan sub-balas

Pada sepur lurus

$$K_1 > B + 2d_1 + M$$

$$K_{I} > 30 + 2.30 + 90$$

$$K_{I} > 180 \text{ cm}$$

K_{I} pakai 300 cm
 Pada sepur ditikungan
 $K_{Id} = K_{I}$
 $E = (B + \frac{1}{2}) \times h/L + t$
 $E = (30 + \frac{1}{2}) \times 20/70 + 20 = 28,7142 \text{ cm}$
 $K_{II} = 30 + 2.30 + 90 + 2.28,7142 = 237,4285 \text{ cm}$
 K_{II} pakai = 357,4285 cm ~ 358 cm
 Sehingga untuk ukuran pakai balas yang digunakan, sesuai PM No. 60 tahun 2012 :

d_1	= 30 cm
b	= 150 cm
c	= 235 cm
k_1	= 300 cm
k_{II}	= 358 cm
d_2	= 30 cm
e	= 25 cm
k_2	= 375 cm
a	= 190 cm

SIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Berdasarkan peta topografi dan foto udara, rel jalur ganda direncanakan berada sisi kanan jalur tunggal dari arah Solobalapan menuju Sragen karena terkait dengan pembebasan lahan yang lebih besar jika pembuatan jalur ganda disebelah kiri.
- Perkiraan daya angkut lintas tahun 2034 yaitu 34362828,42 ton/tahun > 20×10^5 ton/tahun. Maka untuk perencanaan jalur ganda menggunakan perencanaan jalan rel kelas I. Dengan kriteria perencanaan yaitu :
 - Kecepatan rencana 100 km/jam dan 125 km/jam
 - Beban gandar 18 ton
 - Penggunaan tipe rel R.54
 - Bantalan beton menggunakan bantalan beton type b-blok dengan dimensi :

Panjang = 70 cm
 Lebar = 30 cm
 Tinggi sisi luar = 20 cm
 Tinggi sisi dalam = 20 cm

e. Jarak Bantalan

Secara praktis di Indonesia digunakan jarak bantalan sebagai berikut :

- Jarak bantalan pada lintas lurus ialah 60 cm, sehingga jumlah bantalan yang dipasang adalah 1667 buah untuk tiap km panjang
- Pada tikungan/lengkung, jarak bantalan ialah sebesar 60 cm (diukur pada rel luar)

f. Penambat menggunakan penambat elastik ganda tipe pandrol dengan alas karet.

g. Balas dan subbalas menggunakan batu pecah dengan ukuran balas sebagai berikut :

d_1	= 30 cm
b	= 150 cm
c	= 235 cm
k_1	= 300 cm
k_{II}	= 358 cm
d_2	= 30 cm
e	= 25 cm
k_2	= 375 cm
a	= 190 cm

DAFTAR PUSTAKA

Algifari (2009), *Analisis Regresi: Teori, kasus, dan Solusi*, Yogyakarta: BPFE -Yogyakarta

Atmaja P.Rosyidi, Sri (2015), *Rekayasa Jalan Kereta Api tinjauan struktur jalan rel*, Yogyakarta:LP3M-UMY

Dinas Perhubungan, 2012, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 tahun 2012 , *Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*

Hapsoro Tri Utomo, Suryo (2009), *Jalan Rel*, Yogyakarta: Beta Offset.

Jurusan Teknik Sipil, 2015, *Buku Pedoman Tugas Akhir*, Fakultas Teknik Sipil

Dan Perencanaan, Universitas
Islam Indonesia, Yogyakarta.

Keputusan Direktur Jenderal
Perkeretaapian, 2015, Grafik
Perjalanan Kereta Api Nomor
KA.407/SK.15/DJKA/2/15

Pancara Adi, Christianto. Intan Sukmajati,
Erha (2008), *Perencanaan Jalur
Ganda (Double Track) Jalan Rel
Ruas Semarang-Gubug*. Program
Sarjana Tugas Akhir. Universitas
Diponegoro. Semarang.