

Perencanaan Jalur Ganda (*Double Track*) Lintasan Kereta Api pada Emplasemen Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo (KM 7+881 – KM 25+510)

Jimmy Jeremy Tandra Dasion¹, Nugroho Utomo²

^{1,2} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia
(¹nugroho.ts@upnjatim.ac.id)

ABSTRAK

Menurut Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNAS) pada tahun 2030 diperkirakan terjadi peningkatan perpindahan manusia di Pulau Jawa sejumlah 858,5 juta orang/tahun. Oleh sebab itu, pemerintah berencana mengembangkan jaringan jalan rel di Pulau Jawa dari jalur tunggal (*single track*) menjadi jalur ganda (*double track*) agar dapat mengimbangi jumlah permintaan yang akan datang. Kota Surabaya dan Sidoarjo merupakan daerah yang saling terhubung oleh jaringan rel kereta api namun jalan kereta api yang ada pada lintas Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo masih menggunakan jalur tunggal yang menyebabkan layanan kereta api terkadang mengalami keterlambatan keberangkatan dan kereta api harus bergantian jalur rel dengan kereta api lainnya. Berdasarkan urgensi tersebut maka perlu dilakukan perencanaan jalur ganda (*double track*) pada lintas Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo (KM 7+881 – KM 25+510) agar dapat memenuhi peningkatan perpindahan masyarakat seperti prediksi RIPNAS. Hasil analisis dan perencanaan diperoleh penempatan trase jalur ganda dilakukan di sebelah timur trase eksisting dari Stasiun Wonokromo menuju Stasiun Sidoarjo. Konstruksi jalan rel termasuk kelas jalan rel III dengan dimensi struktur atas tipe rel rencana R54, sambungan tipe R54, penambat elastis ganda pandrol *e-clip*, dan bantalan beton prategang tipe N-67 PT. WIKA Beton. Dimensi struktur bawah diperoleh ukuran *ballast* atas setebal 30 cm dan *sub-ballast* setebal 40 cm. Lapisan *subgrade* direncanakan dengan timbunan setinggi 1 meter dari permukaan tanah asli dengan kemiringan 1:1,5 menggunakan tanah granular. Saluran drainase pada direncanakan menggunakan beton bertulang pracetak dengan bentuk persegi panjang berdimensi 1,4 m x 0,7 m dan terletak 285 cm dari as rel.

Kata Kunci: Jalur Ganda, Struktur Jalan Kereta Api, Desain Geometrik, Drainase Jalan Kereta Api, Wonokromo, Sidoarjo

ABSTRACT

According to the National Railway Master Plan (RIPNAS) in 2030 it's estimated that there will be an increasing of number of people moving in Java to 858.5 million people per year. Therefore, the government plans to develop the rail network on the island of Java from a single track to double track in order to balance the number of the future demands. The cities of Surabaya and Sidoarjo are areas that connected by a railway network, but the existing railway track of Wonokromo Railway Station – Sidoarjo Railway Station still using a single track which causes train services sometimes occurring delay of train departures and trains must alternate rail track with other trains. Based on this urgency, it is necessary to planning a double track on the Wonokromo - Sidoarjo Railway Station line (KM 7+881 – KM 25+510) in order to accommodate the increasing of people movements as predicted by RIPNAS. The results of the analysis and planning obtained that the placement of the double track route was carried out to the east of the existing track from Wonokromo Station to Sidoarjo Station. Railway constructions includes railroad class III with designed rail type of upper structure dimensions is R54, R54 type joints, pandrol *e-clip* double elastic type, and pre-stressed concrete rail sleepers type N-67 by PT. WIKA Beton. The dimensions of the lower structure are obtained with the thick size of the upper ballast layer as 30 cm and the sub-ballast layer thick as 40 cm. The subgrade layer is planned with a heap height as 1 meters from the original soil surface with a slope of 1:1.5 using granular soil. The drainage is planned to use precast reinforced concrete with a rectangular shape with dimensions of 1,4 m x 0,7 m and it's located on 285 cm from the rail axle.

Keywords: Double Track, Railway Structure, Geometric Design, Railway Drainage, Wonokromo, Sidoarjo

I. PENDAHULUAN

Surabaya dan Sidoarjo merupakan 2 kota besar di Jawa Timur dengan aktivitas penduduknya yang sangat padat. Banyaknya aktivitas-aktivitas tersebut menghasilkan jumlah perpindahan manusia dan barang yang tinggi pada Kota Surabaya dan Sidoarjo. Perpindahan manusia di Indonesia pada tahun 2030 diperkirakan sebesar 929,5 juta orang per tahun, dimana 92% perpindahan manusia atau sejumlah 858,5 juta orang per tahun hanya terjadi di Pulau Jawa dan sisanya sebanyak 8% terjadi di pulau-pulau lainnya [1]. Salah satu alat transportasi darat yang dapat mengangkut massa dalam jumlah banyak, cepat, dan murah adalah kereta api [2]. Banyaknya pengguna kereta api tentu mengakibatkan peningkatan permintaan pada jasa kereta api sehingga diperlukan banyak unit kereta api dan pembangunan penunjang perkeretaapian.

Penambahan unit kereta api tentunya memerlukan lintasan kereta api yang efektif. Jalur tunggal menyebabkan layanan kereta api terkadang mengalami keterlambatan keberangkatan dan kedatangan karena harus bergantian jalur rel dengan kereta api lainnya [3]. Kapasitas jalur tunggal dibatasi oleh perlunya kereta untuk melambat, berhenti dan berakselerasi [4]. Kondisi eksisting jalur kereta api dari Stasiun Wonokromo menuju Stasiun Sidoarjo adalah jalur tunggal. Salah satu alternatif yang paling memungkinkan adalah dengan pengembangan jaringan jalan kereta api antara lain dengan membangun jalur ganda [5].

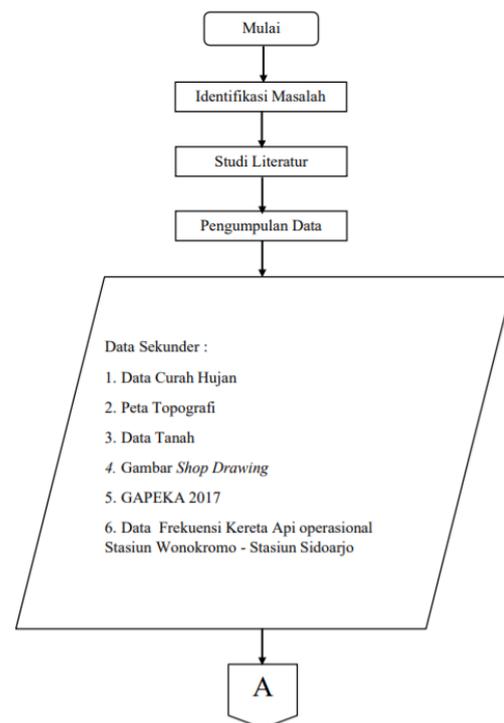
Kondisi eksisting jalur kereta api rute Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo yang masih jalur tunggal (*single track*) perlu untuk ditingkatkan menjadi jalur ganda (*double track*) agar operasional perjalanan kereta api tidak terjadi penahanan di stasiun tertentu untuk melakukan silang ataupun susul. Pada penelitian ini dilakukan perencanaan jalur ganda (*double track*) kereta api lintas Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo KM 7+881 – KM 25+510 dengan panjang $\pm 17,77$ km menggunakan tipe rel R54. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang dilakukan dengan menganalisis data menggunakan metode analitis yang merupakan suatu cara untuk memproyeksikan kondisi aktual menjadi kondisi ideal dan optimal [6].

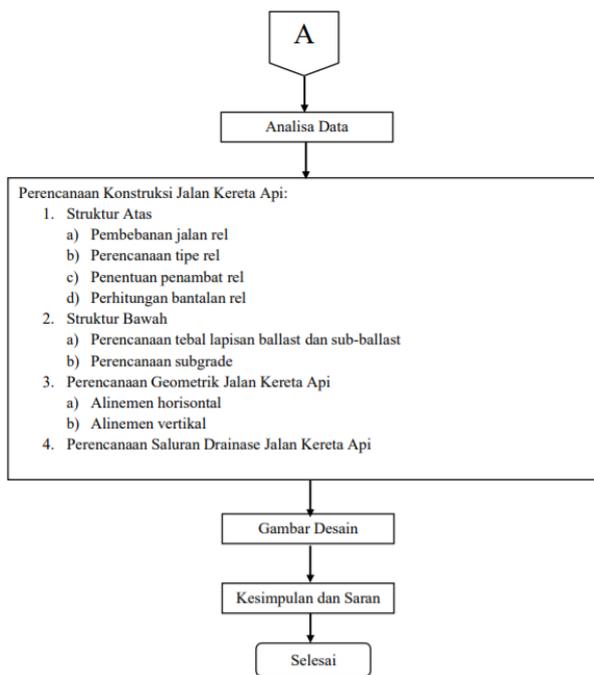
Beberapa tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu diantaranya untuk mendapatkan besar beban yang mampu diterima oleh tipe rel R54 dengan aman, menghitung struktur atas dan struktur bawah jalan kereta api jalur ganda Stasiun Wonokromo sampai Stasiun Sidoarjo, menghitung desain geometrik jalan kereta api, serta menghitung dimensi saluran drainase untuk perencanaan jalur ganda (*double track*) pada lintas Wonokromo – Sidoarjo.

Rel adalah salah satu komponen utama dari konstruksi jalan kereta api. Rel merupakan tempat pijakan roda kereta api dan penerima langsung beban dari kereta api. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih jenis rel diantaranya adalah tipe rel, jenis rel, karakteristik penampang rel, dan lain-lain. Pada perencanaan konstruksi jalan rel juga perlu diketahui mengenai kapasitas angkut lintas yang ditinjau, pembebanan jalur rel kereta api, geometrik jalan rel, dan komponen rel seperti penambat rel, wesel, maupun bantalan rel. Selain aspek-aspek tersebut, pada perencanaan konstruksi jalan rel juga perlu dianalisis mengenai lapisan *ballast* dan *sub-ballast*, *subgrade* jalan kereta api, dan drainase jalan kereta api.

II. METODE

Untuk mencapai tujuan penelitian maka disusun tahap-tahapan dalam penelitian perencanaan jalur ganda (*double track*) pada lintas Wonokromo – Sidoarjo. Adapun diagram alir metodologi penelitian ditunjukkan pada gambar 1 berikut:





Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian perencanaan jalur ganda (*double track*) dilakukan pada jalur kereta api lintas Wonokromo – Sidoarjo (KM 7+881 – KM 25+510) dengan panjang ±17,77 Km.

2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah proses atau teknik yang digunakan penulis untuk memperoleh data dan informasi yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil akhir sesuai tujuan penelitian. Pada penelitian ini dibutuhkan data sekunder yang merupakan data yang diperoleh dari instansi terkait dan internet. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Data curah hujan dari *website* BMKG
2. Data tanah dan gambar rencana (*shop drawing*) dari Balai Teknik Perkeretaapian Wilayah Jawa Bagian Timur
3. Grafik perjalanan kereta api (GAPEKA) dari DAOP 8 Surabaya
4. Data rangkaian kereta api yang beroperasi dari DAOP 8 Surabaya

2.3 Analisis Data

Tahap analisis data merupakan proses pengolahan data yang telah diperoleh menjadi data yang siap dijadikan bahan perencanaan. Analisa konstruksi jalan kereta api untuk perencanaan jalur ganda (*double track*) pada lintas Wonokromo – Sidoarjo dilakukan dengan beberapa komponen analisis data. Perhitungan pembebanan jalan rel dilakukan berdasarkan data frekuensi kereta api dan tipe lokomotif yang beroperasi. Hal pertama yang dilakukan

dalam perencanaan konstruksi jalan rel adalah menghitung kecepatan rencana jalan kereta api dan kecepatan pada lengkung peralihan atau tikungan. Adapun rumus kecepatan rencana yaitu sebagai berikut:

$$V_{rencana} = 1,25 \times V_{maks} \quad (1)$$

$$V_{rencana} \text{ (untuk lengkung)} = V_{maks} \quad (2)$$

Perhitungan pembebanan rel dengan kereta api dihitung berdasarkan jenis lokomotif maupun kereta yang melintasi jalur tersebut. Perencanaan tipe rel ditentukan berdasarkan klasifikasi standar jalan kereta api dan karakteristik tipe rel sesuai yang ada pada Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986 dengan menghitung kapasitas angkut jalur kereta api dan tegangan yang terjadi pada rel.

Pada perencanaan jalur ganda jalur kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo juga dilakukan perhitungan untuk perencanaan struktur atas jalan rel yang terdiri dari sambungan pelat, penambat rel, bantalan rel, dan wesel. Sambungan rel adalah konstruksi yang menyambungkan dua ujung rel sehingga dapat dilewati kereta api dengan aman dan nyaman [8]. Perencanaan pelat sambungan rel dihitung menggunakan perencanaan dan persyaratan yang ada sesuai dengan mengacu Peraturan Dinas Nomor 10 Tahun 1986 dengan didukung data faktor temperatur udara tertinggi dan temperatur udara terendah di lokasi perencanaan dari Stasiun BMKG Juanda. Adapun perhitungan celah sambungan rel standar akibat perubahan temperatur udara adalah sebagai berikut:

$$G = L \times \lambda \times (40 - t) + 2 \quad (3)$$

dimana:

t = Rata-rata temperatur udara tertinggi dan terendah

G = Besar celah sambungan rel (mm)

L = Panjang rel = 25 m = 25.000 mm

λ = Koefisien pemuaian rel = $1,2 \times 10^{-5}$ [8]

Penambat rel adalah suatu komponen yang menambatkan rel pada bantalan rel sedemikian rupa sehingga kedudukan rel menjadi tetap, kokoh, dan tidak bergeser [7]. Semakin besar beban yang harus dipikul oleh rel tersebut, maka penambat rel harus semakin kuat. Penambat rel dibagi menjadi 2 jenis yaitu penambat elastis dan kaku. Penambat elastis digunakan pada bantalan rel dari beton [9]. Penambat rel elastik ganda dapat dipergunakan pada semua kelas jalan rel, tetapi tidak dianjurkan untuk jalan rel kelas 5 karena dianggap *overdesign*. Penambat rel kaku tidak boleh dipakai untuk semua kelas jalan rel. Penambat rel elastis tunggal hanya boleh dipergunakan pada jalan kelas 4 dan kelas 5 [7]. Jumlah penambat yang dibutuhkan dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{Panjang rel}}{\text{Jarak bantalan rel}} \quad (5)$$

Bantalan rel kereta api adalah balok-balok tempat dimana dua batang rel baja diletakkan di atasnya [9]. Bantalan rel berfungsi meneruskan beban kereta api dan

berat konstruksi jalan rel ke *ballast*, mempertahankan lebar jalan rel dan stabilitas ke arah luar jalan rel [10]. Bantalan rel dapat terbuat dari kayu, baja/besi, ataupun beton.

Analisis perhitungan ketebalan lapisan *ballast* dan *sub-ballast* dilakukan perhitungan berdasarkan Peraturan Dinas Nomor 10 Tahun 1986. Sementara itu untuk tubuh jalan rel dihitung berdasarkan data daya dukung tanah yang diperoleh. Geometrik jalan kereta api direncanakan dengan alinemen vertikal dan alinemen horisontal dari peta topografi jalur kereta dari Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo berdasarkan jalur eksisting berupa jalur tunggal (*single track*). Setelah analisis geometrik jalan kereta api, diperlukan analisis dimensi saluran drainase jalan kereta api yang direncanakan berdasarkan Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986 menggunakan data curah hujan dari Dinas PU Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perencanaan Tipe Rel Kereta Api

Perencanaan konstruksi jalan rel kereta api perlu ditentukan tipe rel yang akan digunakan terlebih dahulu. Tipe rel ditentukan berdasarkan kecepatan rencana kereta api dan pembebanan rel kereta api yang melintas pada jalur Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo. Berdasarkan Grafik Perjalanan Kereta Api tahun 2017 di Daop 8 Surabaya, diketahui bahwa jalur kereta api dari Stasiun Wonokromo hingga Stasiun Sidoarjo mempunyai kecepatan maksimum sebesar 75 km/jam sehingga kecepatan rencana diperoleh seperti perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} V_{rencana} &= 1,25 \times V_{maks} \\ &= 1,25 \times 75 \\ &= 93,75 \text{ km/jam} \approx 90 \text{ km/jam} \\ &\text{(dibulatkan sesuai PD. No. 10 Tahun 1986)} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan kecepatan rencana pada tikungan atau lengkung yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{rencana} &= V_{maks} \\ &= 75 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

Pada perencanaan jalur ganda untuk jalur Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo digunakan kereta api rencana yaitu Kereta Api Barang Betmakola dengan rute dari Stasiun Benteng menuju Stasiun Malang Kotalana. Kereta Api Barang Betmakola yang merupakan kereta api pengangkut BBM dipilih karena merupakan kereta api yang memiliki berat operasional terbesar pada lintas ini. Susunan kereta api rencana menggunakan lokomotif CC206 yang memiliki berat operasional sebesar 90 ton dan gerbong ketel yang ditarik adalah gerbong Ketel 40 ton yang merupakan gerbong ketel terberat. Adapun hasil analisis beban gandar Kereta Api Barang Betmakola yaitu sebagai berikut:

Tabel 1. Beban Gandar KA Betmakola

Rangkaian	Beban Gandar (Pg) (ton/gerbong)
Lokomotif CC206	15
Gerbong ketel 40 ton	10

Sumber: analisis data

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa beban gandar terbesar berasal dari lokomotif CC206 seberat 15 ton dan beban tersebut masih memenuhi persyaratan pembebanan jalan rel di Indonesia yaitu 18 ton. Rel yang digunakan pada perencanaan menggunakan rel R54 dengan panjang 25 meter. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa kapasitas angkut lintas pada Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo adalah 8.755.164 ton/tahun dan merupakan kelas jalan rel III. Tegangan ijin untuk jalan rel kelas III dengan tipe rel R54 adalah 1.663 kg/cm² sehingga diketahui bahwa tegangan yang terjadi akibat beban kereta api rencana Kereta Api Barang Betmakola BBM lebih kecil daripada tegangan ijin ($\sigma_x < \sigma = 93,989 \text{ kg/cm}^2 < 1.663 \text{ kg/cm}^2$) yang menunjukkan bahwa tipe rel R54 yang digunakan dalam perencanaan jalur ganda dari Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo sudah memenuhi syarat.

3.2 Perencanaan Struktur Atas dan Wesel Rel Kereta Api

Pada perencanaan jalur ganda kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo dilakukan perhitungan untuk perencanaan struktur atas jalan rel yang terdiri dari sambungan pelat, penambat rel, bantalan rel, dan wesel yang mengikuti Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986.

Pelat penyambung rel yang digunakan dalam perencanaan ini mengikuti tipe rel yang digunakan yaitu tipe rel R54. Adapun dimensi pelat penyambung yang digunakan untuk tipe rel R54 ditunjukkan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Dimensi Pelat Penyambung Tipe R54

Dimensi	Ukuran (mm)
Panjang	560
Lebar	79,4
Tebal	20

Sumber : Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986

Temperatur udara pada lokasi perencanaan sudah memenuhi syarat batas maksimum temperatur udara terendah dan tertinggi dari tipe rel yang direncanakan dengan nilai temperatur udara maksimum < Syarat temperatur udara maksimum (36,7°C < 46°C) dan nilai temperatur udara minimum > Syarat temperatur udara minimum (24,7°C > 24 °C). Adapun perhitungan celah sambungan rel standar akibat perubahan temperatur udara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} G &= L \times \lambda \times (40 - t) + 2 \\ &= 25.000 \times 1,2 \times 10^{-5} \times (40 - 28,35) + 2 \\ &= 5,495 \text{ mm} \approx 6 \text{ mm} \end{aligned}$$

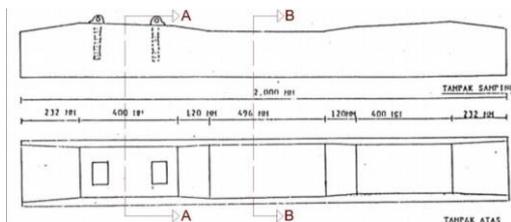
Hasil analisis sambungan rel tipe R54 didapatkan bahwa tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin sesuai aturan ($\sigma \leq \sigma' = 11.760,718 \leq 12.000 \text{ Kg/cm}^2$) sehingga digunakan sambungan rel untuk tipe rel R54 dengan celah sambungan rel akibat perubahan temperatur udara yaitu sebesar 6 mm.

Pada perencanaan penambat rel digunakan tipe penambat pandrol *e-clip* produksi PT. PINDAD. Jumlah penambat yang dibutuhkan dihitung diperoleh sebagai berikut:

$$n = \frac{\text{Panjang rel}}{\text{Jarak bantalan rel}} = \frac{2500}{60} = 41,6 \approx 42 \text{ pasang penambat}$$

Sesuai dengan hasil analisis perhitungan kekuatan penambat rel, nilai gaya jepit penambat rel lebih besar dari gaya yang diterima oleh tiap penambat rel ($F_p < F' = 694,787 < 2.400 \text{ Kg}$) sehingga diketahui bahwa penambat rel tipe pandrol *e-clip* dapat menahan gaya yang terjadi di lokasi perencanaan jalur ganda Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo.

Penggunaan bantalan rel pada perencanaan jalur ganda (*double track*) jalur Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo direncanakan menggunakan bantalan rel beton produksi PT. WIKA Beton tipe N-67. Adapun skema bantalan rel beton prategang PT. WIKA ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2. Skema Bantalan Rel Beton Prategang PT. WIKA

Sumber: Brosur PT. WIKA Beton

Berdasarkan hasil analisis perhitungan bantalan beton prategang diketahui bahwa bantalan rel beton tipe N – 67 produksi PT. WIKA mampu menahan momen yang terjadi baik di tepi bantalan rel maupun pada tengah bantalan rel akibat beban kereta api rencana ($M < M' = 78.888,709 < 93.000 \text{ Kg.cm}$).

Wesel merupakan alat yang berfungsi untuk mengalihkan atau mengubah arah peregerakan kereta api dari satu jalur ke jalur lainnya. Pada perencanaan jalur ganda jalur kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo, direncanakan wesel biasa kiri dan wesel biasa kanan. Wesel direncanakan pada Stasiun Wonokromo, Stasiun Waru, Stasiun Gedangan, dan Stasiun Sidoarjo. Adapun nomor wesel dan kecepatan ijin menurut

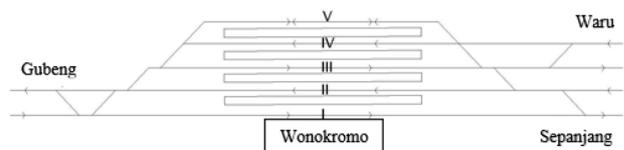
Peraturan Dinas nomor 10 Tahun 1986 ditunjukkan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Nomor wesel dan kecepatan ijin

Tg α	1:8	1:10	1:12	1:14	1:16	1:20
No. Wesel	W8	W10	W12	W14	W16	W20
Kecepatan Ijin (Km/jam)	25	35	45	50	60	70

Sumber: Peraturan Dinas No. 10 Tahun 1986

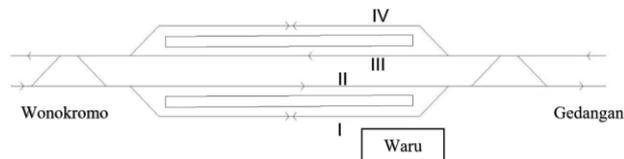
Dari hasil analisis diketahui bahwa nilai jari-jari lengkung dalam wesel lebih kecil dari jari-jari lengkung luar wesel ($R < R_u = 157,05 < 164,24$ meter) sehingga pada Stasiun Wonokromo, Stasiun Waru, Stasiun Gedangan, dan Stasiun Sidoarjo direncanakan menggunakan wesel nomor 10. Skema posisi wesel rencana pada emplasemen Stasiun Wonokromo ditunjukkan pada gambar 3 berikut:



Gambar 3. Skema wesel rencana Stasiun Wonokromo

Sumber: analisis data

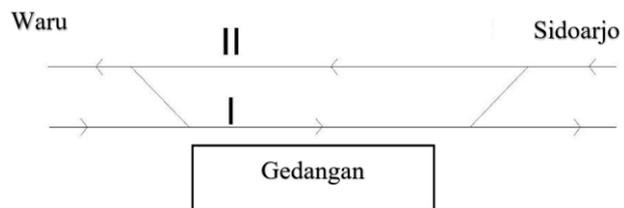
Skema posisi wesel rencana pada emplasemen Stasiun Waru ditunjukkan pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Skema wesel rencana Stasiun Waru

Sumber: analisis data

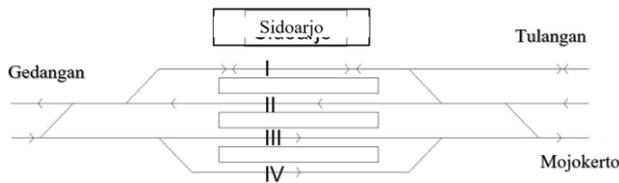
Skema posisi wesel rencana pada emplasemen Stasiun Gedangan ditunjukkan pada gambar 5 berikut:



Gambar 5. Skema wesel rencana Stasiun Gedangan

Sumber: analisis data

Skema posisi wesel rencana pada emplasemen Stasiun Sidoarjo ditunjukkan pada gambar 6 berikut:

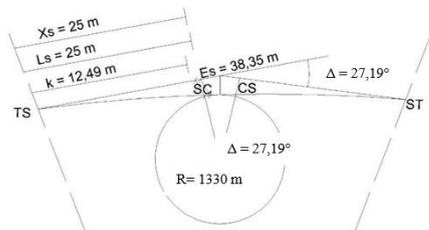


Gambar 6. Skema wesel rencana Stasiun Sidoarjo

Sumber: analisis data

3.3 Perencanaan Geometrik Jalan Rel Kereta Api

Perencanaan geometrik jalan rel kereta api meliputi desain alinemen horisontal dan desain alinemen vertikal. Perencanaan alinemen horisontal menggunakan titik-titik koordinat tikungan yang ada berdasarkan trase eksisting. Hasil analisis diperoleh bahwa peninggian rel yang digunakan setinggi 40 mm sudah sesuai syarat. Skema rencana alinemen horisontal pada titik tikungan 1 jalur kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo pada KM 8+303 – 8+404 ditunjukkan pada gambar 7 berikut:

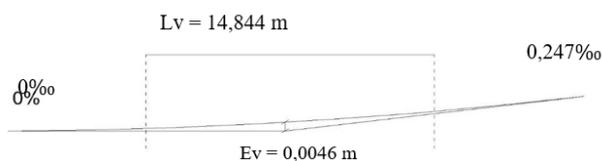


Gambar 7. Skema Alinemen Horisontal Tikungan 1 pada KM 8+303 – 8+404

Sumber: analisis data

Adapun hasil perhitungan alinemen horisontal jalur kereta api stasiun wonokromo – stasiun sidoarjo ditunjukkan pada tabel 4.

Perencanaan alinemen vertikal pada jalur ganda kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo menggunakan parameter perbedaan elevasi kontur tanah di lapangan. Nilai kelandaian terbesar diperoleh sebesar 8,74% yang berarti jalan kereta api Wonokromo – Sidoarjo masih memenuhi persyaratan kelandaian yaitu maksimal 10% untuk lintas datar sesuai dengan Peraturan Dinas Nomor 10 tahun 1986. Adapun hasil analisis skema rencana alinemen vertikal pada titik kelandaian 1 jalur kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo pada KM 8+170 – 8+610 ditunjukkan pada gambar 8 berikut:



Gambar 8. Skema Alinemen Vertikal Kelandaian 1 pada KM 8+170 – 8+610

Sumber: analisis data

Adapun hasil perhitungan alinemen vertikal jalur kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 4. Perhitungan alinemen horisontal jalur kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo

Titik	KM		Sudut Δ (°)	H min (mm)	H normal (mm)	Xs (m)	Ls (m)	θs (°)	Lc (m)	p (m)	k (m)	Ts (m)	Es (m)	Ys (m)
	Awal	Akhir												
7+877 STA Wonokromo														
1	8+303	8+484	27,19	0,05	40,00	25,00	25,00	0,54	605,93	0,02	12,49	332,70	38,35	0,08
2	11+338	11+442	3,01	0,05	40,00	25,00	25,00	0,54	44,93	0,02	12,49	46,00	0,48	0,08
3	12+192	12+344	8,62	0,05	40,00	25,00	25,00	0,54	174,91	0,02	12,49	111,30	3,79	0,08
4	13+385	13+454	2,25	0,05	40,00	25,00	25,00	0,54	27,22	0,02	12,49	37,18	0,27	0,08
13+653 STA Waru														
5	13+690	13+782	3,10	0,05	40,00	25,00	25,00	0,54	46,87	0,02	12,49	47,05	0,50	0,08
6	13+804	13+926	3,48	0,05	41,00	25,63	25,00	0,54	55,81	0,02	12,49	51,46	0,63	0,08
7	14+058	14+095	2,04	0,05	42,00	26,25	25,00	0,54	22,44	0,02	12,49	34,74	0,23	0,08
8	14+767	14+832	2,19	0,05	43,00	26,88	25,00	0,54	25,88	0,02	12,49	36,48	0,26	0,08
9	15+686	15+771	2,42	0,05	44,00	27,50	25,00	0,54	31,19	0,02	12,49	39,15	0,31	0,08
10	16+870	17+086	12,34	0,05	45,00	28,13	25,00	0,54	261,32	0,02	12,49	154,84	7,77	0,08
11	17+206	17+413	13,98	0,05	46,00	28,75	25,00	0,54	299,35	0,02	12,49	174,13	9,98	0,08
17+604 STA Gedangan														
12	17+484	17+585	13,98	0,05	40,00	25,00	25,00	0,54	299,40	0,02	12,49	174,13	9,98	0,08
13	17+817	17+967	5,77	0,05	41,00	25,63	25,00	0,54	108,91	0,02	12,49	78,09	1,70	0,08
14	18+198	18+385	7,24	0,05	42,00	26,25	25,00	0,54	143,02	0,02	12,49	95,20	2,68	0,08
15	19+746	19+859	4,32	0,05	44,00	27,50	25,00	0,54	75,15	0,02	12,49	61,22	0,96	0,08
16	20+207	20+334	2,42	0,05	45,00	28,13	25,00	0,54	31,11	0,02	12,49	39,15	0,31	0,08
17	21+517	21+778	4,86	0,05	47,00	29,38	25,00	0,54	87,74	0,02	12,49	67,50	1,21	0,08

Tabel 4. Perhitungan alinemen horisontal jalur kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo (Lanjutan)

Titik	KM		Sudut A (°)	H min (mm)	H normal (mm)	Xs (m)	Ls (m)	θs (°)	Lc (m)	p (m)	k (m)	Ts (m)	Es (m)	Ys (m)
	Awal	Akhir												
18	21+867	22+128	7,57	0,05	48,00	30,00	25,00	0,54	150,59	0,02	12,49	99,05	2,92	0,08
19	22+547	23+004	26,74	0,05	49,00	30,63	25,00	0,54	595,45	0,02	12,49	327,18	37,07	0,08
20	23+400	23+673	16,59	0,05	50,00	31,25	25,00	0,54	359,87	0,02	12,49	204,97	14,08	0,08
21	23+874	24+180	21,94	0,05	51,00	31,88	25,00	0,54	484,05	0,02	12,49	268,87	24,77	0,08
22	24+413	24+531	6,69	0,05	52,00	32,50	25,00	0,54	130,25	0,02	12,49	88,80	2,29	0,08
23	25+036	25+126	2,13	0,05	53,00	33,13	25,00	0,54	24,44	0,02	12,49	35,79	0,25	0,08
24	25+203	25+324	6,72	0,05	54,00	33,75	25,00	0,54	130,84	0,02	12,49	89,15	2,31	0,08

25+510 STA Sidoarjo

Sumber: analisis data

Tabel 5. Perhitungan alinemen vertikal jalur kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo

No	KM		V rencana (km/jam)	Kelandaian		Ø	R (m)	Lv (m)	Ev (m)
	Awal	Akhir		Awal	Akhir				
1	8+170	8+610	90	1,77	4,24	2,47	6000	14,844	0,0046
2	8+610	9+200	90	4,24	1,60	2,64	6000	15,838	0,0052
3	9+200	9+400	90	1,60	1,07	0,54	6000	3,221	0,0002
4	9+400	9+700	90	1,07	1,40	0,33	6000	1,993	0,0001
5	9+700	9+900	90	1,40	5,73	4,33	6000	25,988	0,0141
6	9+900	9+950	90	5,73	4,83	0,90	6000	5,372	0,0006
7	9+950	10+150	90	4,83	3,27	1,57	6000	9,410	0,0018
8	10+150	10+450	90	3,27	3,50	0,24	6000	1,411	0,0000
9	10+450	10+750	90	3,50	6,92	3,42	6000	20,496	0,0088
10	10+750	10+900	90	6,92	1,06	5,85	6000	35,111	0,0257
11	10+900	11+250	90	1,06	3,78	2,72	6000	16,312	0,0055
12	11+250	11+700	90	3,78	6,69	2,91	6000	17,459	0,0064
13	11+700	11+900	90	6,69	7,97	1,27	6000	7,632	0,0012
14	11+900	12+100	90	7,97	1,68	6,28	6000	37,704	0,0296
15	12+100	12+700	90	1,68	2,51	0,83	6000	4,953	0,0005
16	12+700	12+900	90	2,51	3,40	0,89	6000	5,353	0,0006
17	12+900	13+100	90	3,40	6,77	3,38	6000	20,254	0,0085
18	13+100	13+200	90	6,77	3,33	3,45	6000	20,670	0,0089
19	13+200	13+375	90	3,33	0,97	2,36	6000	14,141	0,0042
20	13+375	13+975	90	0,97	4,25	3,27	6000	19,649	0,0080
21	13+975	14+050	90	4,25	0,51	3,74	6000	22,434	0,0105
22	14+050	14+700	90	0,51	4,51	4,00	6000	24,020	0,0120
23	14+700	14+950	90	4,51	1,46	3,05	6000	18,302	0,0070
24	14+950	15+550	90	1,46	3,60	2,14	6000	12,838	0,0034
25	15+550	15+850	90	3,60	7,15	3,55	6000	21,279	0,0094
26	15+850	16+100	90	7,15	8,98	1,83	6000	10,982	0,0025
27	16+100	16+275	90	8,98	6,77	2,21	6000	13,265	0,0037
28	16+275	16+350	90	6,77	7,63	0,86	6000	5,173	0,0006
29	16+350	16+500	90	7,63	1,98	5,65	6000	33,903	0,0239
30	16+500	17+050	90	1,98	7,47	5,49	6000	32,959	0,0226
31	17+050	17+350	90	7,47	5,48	2,00	6000	11,981	0,0030
32	17+350	17+750	90	5,48	5,63	0,15	6000	0,909	0,0000
33	17+750	18+150	90	5,63	5,41	0,21	6000	1,288	0,0000
34	18+150	18+450	90	5,41	6,31	0,89	6000	5,359	0,0006
35	18+450	18+550	90	6,31	2,46	3,84	6000	23,046	0,0111
36	18+550	18+825	90	2,46	8,91	6,44	6000	38,656	0,0311
37	18+825	18+900	90	8,91	4,96	3,95	6000	23,700	0,0117
38	18+900	19+100	90	4,96	8,74	3,79	6000	22,713	0,0107

Tabel 5. Perhitungan alinemen vertikal jalur kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo (Lanjutan)

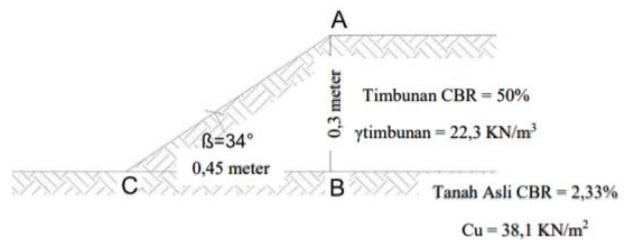
No	KM		V rencana (km/jam)	Kelandaian		Ø	R (m)	Lv (m)	Ev (m)
	Awal	Akhir		Awal	Akhir				
39	19+100	19+225	90	8,74	2,13	6,62	6000	39,701	0,0328
40	19+225	19+425	90	2,13	8,46	6,33	6000	38,004	0,0301
41	19+425	19+475	90	8,46	5,44	3,02	6000	18,093	0,0068
42	19+475	19+925	90	5,44	4,63	0,81	6000	4,861	0,0005
43	19+925	20+450	90	4,63	7,80	3,17	6000	18,998	0,0075
44	20+450	20+800	90	7,80	3,90	3,90	6000	23,383	0,0114
45	20+800	21+500	90	3,90	1,08	2,83	6000	16,954	0,0060
46	21+500	21+800	90	1,08	0,86	0,22	6000	1,334	0,0000
47	21+800	22+174,9	90	0,86	2,77	1,92	6000	11,514	0,0028
48	22+174,9	22+450	90	2,77	0,39	2,38	6000	14,305	0,0043
49	22+450	23+300	90	0,39	2,82	2,43	6000	14,601	0,0044
50	23+300	23+850	90	2,82	8,63	5,81	6000	34,859	0,0253
51	23+850	24+000	90	8,63	7,84	0,80	6000	4,789	0,0005
52	24+000	24+700	90	7,84	6,11	1,73	6000	10,376	0,0022
53	24+700	24+900	90	6,11	2,29	3,82	6000	22,918	0,0109
54	24+900	25+510	90	2,29	0,00	2,29	6000	13,715	0,0039

Sumber: analisis data

3.4 Perencanaan *Ballast* dan *Subgrade* Jalan Rel Kereta Api

Pada perencanaan jalur ganda (*double track*) Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo direncanakan menggunakan tebal lapisan *ballast* atas dan tebal lapisan *sub-ballast* (*ballast* bawah) yang sesuai dengan Peraturan Dinas Nomor 10 Tahun 1986. Jalur kereta api dari Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo adalah kelas jalan kereta api III. Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai lebar bahu *ballast* harus lebih besar dari 150 cm, maka lebar bahu *ballast* direncanakan sebesar 160 cm, sedangkan tebal lapisan *sub-ballast* (*ballast* bawah) pada perencanaan jalur ganda (*double track*) jalur Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo yaitu 40 cm.

Data daya dukung tanah di sepanjang jalur kereta api dari Stasiun Wonokromo – Sidoarjo yang diperoleh dari Balai Teknik Perkeretaapian Wilayah Jawa Bagian Timur, diketahui bahwa tanah di lokasi studi tidak memenuhi persyaratan sesuai Peraturan Dinas Nomor 10 Tahun 1986 yaitu nilai CBR minimum harus sebesar 8%. Kondisi tanah asli yang tidak memenuhi persyaratan, maka perlu dilakukan metode perbaikan tanah. Salah satu solusi perbaikan tanah adalah dengan melakukan timbunan tanah di atas lapisan tanah asli menggunakan material tanah yang memiliki potensi daya dukung yang memadai. Timbunan struktur badan rel kereta api di jalur kereta api dari Stasiun Wonokromo - Stasiun Sidoarjo direncanakan menggunakan timbunan tanah granular yang memiliki perkiraan kinerja terbaik dengan nilai berat volume timbunan sebesar 22,3 kN/m³. Nilai kohesi *undrained* terkecil sebesar 38,1 kN/m² digunakan agar diperoleh hasil paling aman dalam perencanaan. Adapun skema timbunan *subgrade* ditunjukkan pada gambar 9 berikut:



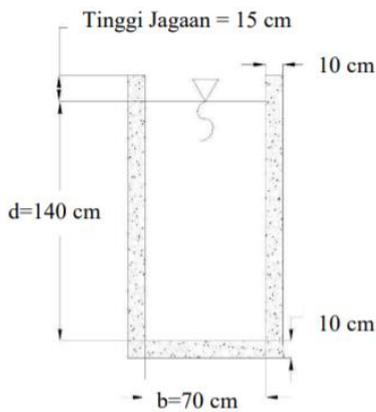
Gambar 9. Skema timbunan *subgrade*

Sumber: analisis data

Hasil analisis stabilitas timbunan telah terbukti bahwa timbunan dengan tinggi 0,3 meter dengan kemiringan perbandingan 1:1,5 termasuk aman. Nilai CBR komposit yang diperoleh sebesar 8,45% sudah memenuhi syarat minimal nilai CBR *subgrade* sebesar lebih dari 8%. Berdasarkan hal tersebut maka perencanaan tebal timbunan tanah menggunakan tanah granular setebal 0,3 meter pada jalur kereta api dari Stasiun Wonokromo hingga Stasiun Sidoarjo sebagai metode perbaikan tanah asli sebagai lapisan *subgrade* sudah aman dan memenuhi.

3.5 Perencanaan Drainase Jalan Rel Kereta Api

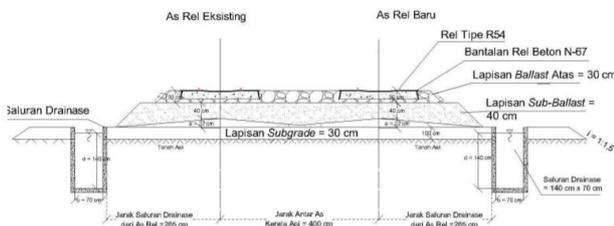
Pada perencanaan jalur ganda kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo digunakan data curah hujan maksimal di sepanjang jalur kereta api yang direncanakan selama 10 tahun terakhir. Dari hasil analisis diketahui bahwa nilai debit rencana lokasi pengairan adalah 1,46 m³/dtk. Adapun skema saluran drainase perencanaan hasil analisis ditunjukkan pada gambar 10 berikut:



Gambar 10. Skema saluran drainase

Sumber: analisis data

Jarak saluran drainase dari as rel diperoleh sebesar 285 cm yang sesuai dengan lebar jalan rel yang diatur pada Peraturan Dinas Nomor 10 tahun 1986. Skema letak saluran drainase pada perencanaan jalur ganda kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo ditunjukkan pada gambar 11 berikut:



Gambar 11. Skema Letak Saluran Drainase

Sumber: analisis data

Berdasarkan hasil analisis direncanakan saluran drainase dengan dimensi 1,4 x 0,7 meter menggunakan material beton, kemiringan dasar 0,0007 dan terletak 285 cm dari as rel untuk perencanaan jalur ganda kereta api Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo di KM 7+881 – 25+510.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis perencanaan jalur ganda (*double track*) lintasan kereta api pada emplasemen Stasiun Wonokromo – Stasiun Sidoarjo (KM 7+881 – KM 25+510) diperoleh beberapa hasil perencanaan. Besar pembebanan yang terjadi pada rel tipe R54 untuk perencanaan jalur ganda (*double track*) pada lintas Wonokromo – Sidoarjo yaitu sebesar 11.320,15 Kg. Analisis perencanaan ini menggunakan rel tipe R54 yang dihitung dengan beban kereta api barang Betmakola yang ditarik lokomotif CC206 yang merupakan kereta api dengan susunan stamformasi terberat yang beroperasi pada jalur Wonokromo - Sidoarjo.

Dimensi struktur atas jalan rel kereta api pada perencanaan jalur ganda (*double track*) pada lintas Wonokromo – Sidoarjo sesuai persyaratan dan peraturan

yang berlaku di Indonesia menggunakan sambungan rel dengan pelat penyambung rel tipe R54 dengan dimensi 560 mm x 79,4 mm x 20 mm dan 4 baut dengan yang berdiameter 24 mm sesuai persyaratan PT. KAI (Persero), memiliki tegangan tarik sebesar 11.760,718 Kg/cm², tidak melebihi tegangan tarik ijin pelat sebesar 12.000 Kg/cm², serta dengan celah sambungan rel akibat perubahan temperatur udara yaitu 6 mm. Kemudian pada penambat rel direncanakan menggunakan jenis elastis ganda tipe pandrol *e-clip* dengan gaya jepit 2.400 Kg dapat menahan gaya yang terjadi yaitu 694,787 Kg. Pada wesel nomor 10 di Stasiun Wonokromo, Stasiun Waru, Stasiun Gedangan, dan Stasiun Sidoarjo direncanakan dengan panjang jarum wesel sepanjang 2,12 meter dan panjang lidah wesel sepanjang 3,7 meter, seluruhnya telah memenuhi persyaratan Peraturan Dinas Nomor 10 Tahun 1986. Penggunaan bantalan beton prategang rel yang direncanakan menggunakan bantalan dari PT. WIKA tipe N-67 dengan panjang 2 meter dan jarak pemasangan 60 cm sudah memenuhi dan aman.

Perencanaan geometrik jalan kereta api terdiri dari alinemen horisontal sejumlah 24 titik dan alinemen vertikal sejumlah 54 titik. Pada lengkung horisontal diperlukan peninggian rel sebesar 40 mm. Perencanaan struktur bawah jalur ganda (*double track*) lintas Wonokromo – Sidoarjo yaitu dengan tebal lapisan *ballast* 30 cm dan lapisan *sub-ballast* setebal 40 cm dengan kemiringan 1:2. Pada lapisan *subgrade* direncanakan menggunakan timbunan dengan material tanah granular setinggi 0,3 meter dengan kemiringan 1:1,5 serta memiliki angka keamanan sebesar 39,2 yang nilainya telah melebihi angka keamanan ijin sebesar 1,5 maka timbunan untuk *subgrade* sudah aman dan memenuhi persyaratan Peraturan Dinas Nomor 10 Tahun 1986. Dimensi saluran drainase adalah sebesar 0,7 meter x 1,4 meter menggunakan material beton, dengan kemiringan dasar 0,0007 dan terletak 285 cm dari as rel rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Perkeretaapian Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, "Rencana Induk Perkeretaapian Nasional (RIPNAS) 2030," Jakarta, 2011.
- [2] N. A. Dwiycita, F. Hanum and T. Bakhtiar, "Penjadwalan Kereta Api Jalur Ganda: Model Job-Shop dan Aplikasinya," in *Prosiding Seminar Nasional Sains V*, Bogor, 2012.
- [3] A. Susanti, R. A. A. Soemitro and H. Suprayitno, "Identifikasi Awal Jalur KA untuk Perjalanan Orang di Kota Surabaya," *Rekayasa Teknik Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 446-451, 2017.
- [4] S. L. Sogin, Y.-C. Lai, C. T. Dick and C. P. L. Barkan, "Comparison of Capacity of Single- and Double-Track Rail Lines," *Transportation Research*

Record: Journal of the Transportation Research Board, vol. 2374, no. 1, 2013.

- [5] D. Setiawan, "Kajian Pola Operasi Jalur Ganda Kereta Api Muara Enim-Lahat," *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, vol. 19, no. 1, pp. 37-47, 2016.
- [6] R. Prihatanto, A. Wicaksono and L. Djakfar, "Evaluasi Kapasitas Lintas Jalur Ganda Kereta Api Segmen Bojonegoro – Surabaya Pasarturi," in *The 19th International Symposium of FSTPT*, Yogyakarta, 2018.
- [7] Perusahaan Jawatan Kereta Api, "Peraturan Dinas Nomor 10 Tentang Perencanaan Konstruksi Jalan Rel," 1986.
- [8] S. H. T. Utomo, *Jalan Rel*, Yogyakarta: Beta Offset, 2009.
- [9] A. A. Alamsyah, *Rekayasa Jalan Rel*, Malang: Bayumedia, 2003.
- [10] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api," Jakarta, 2012.