



Double Track Railway Planning Between Solo Balapan - Adi Soemarmo International Airport

Sara Wibawaning Respati¹ ✉, Andhika Ridho Prilliano Putra Yasisara¹, Mohamad Isram M. Ain¹

¹ Politeknik Negeri Balikpapan

✉ sara.wibawaning@poltekba.ac.id

Received day month year; revision date, accepted date

Abstract

Along with improving the economy in Java, there is also an increase in traveling between cities and even abroad using airplane transportation modes from and to Java. Therefore, the high number of passengers can be found at several major airports including Yogyakarta International Airport, Soekarno Hatta Airport and Juanda International Airport. These airports are also transit airports for passengers who travel from small airports in Java to the destinations in Eastern Indonesia or Western Indonesia and even abroad. In order to reduce passenger density at these airports, the government has began targeting other airports on Java Island to become transit airports, one of which is Adi Soemarmo Airport in Surakarta. In this article, a double track railway line will be planned from Solo Balapan Station to Adi Soemarmo International Airport Station. This double-track railway is the result of the selection of two tracks that is selected by considering various criteria using the Multy Criteria Analysis method.. From this selected trase, a calculation analysis was carried out covering the geometric planning design of railway tracks including the calculation of horizontal and vertical alignments based on related regulations such as PM No. 60 of 2012, PM No. 29 of 2011, PM No. 78 of 2014, and other planning regulations that are still related to railway construction planning.

Keywords : Airport Train, Solo Balapan Station, Double Track, Geometric Railroad Road

Perencanaan Jalur Kereta Api Rel Ganda (*Double Track*) Antara Solo Balapan - Bandara Adi Soemarmo.

Abstrak

Dengan meningkatnya perjalanan antar kota menggunakan moda transportasi pesawat terbang dari dan ke pulau Jawa. Dengan demikian, tingginya jumlah penumpang dapat ditemukan di beberapa bandara besar seperti Bandara Yogyakarta Internasional Airport, Bandar Udara Soekarno Hatta dan Bandar Udara Internasional Juanda. Bandara tersebut menjadi bandara pengumpul serta menjadi bandara transit untuk rute perjalanan tujuan Indonesia Timur ataupun Indonesia Barat bahkan luar negeri. Untuk mengurangi kepadatan penumpang di bandara tersebut, pemerintah mulai menargetkan agar bandara lainnya yang ada di Pulau Jawa menjadi bandar udara pengumpul, salah satunya adalah Bandara Adi Soemarno di Surakarta. Pada penelitian ini dilakukan perencanaan double track dari Stasiun Solo Balapan sampai Bandara Adi Soemarmo. Jalur rel ganda kereta api ini merupakan hasil dari pemilihan dua trase kemudian dipilih satu dari yang terbaik dengan pertimbangan kriteria menggunakan metode *Multy Criteria Analysis*. Dari trase yang terpilih ini dilakukan analisa perhitungan meliputi desain perencanaan geometrik rel kereta api diantaranya adalah perhitungan alinyemen horizontal dan alinyemen vertikal berdasarkan peraturan terkait seperti seperti PM No. 60 Tahun 2012, PM No. 29 Tahun 2011, PM No. 78 Tahun 2014, dan peraturan lainnya yang masih terkait dengan rencana pembangunan jalan kereta api.

Kata Kunci : Kereta Api Bandara, Stasiun Solo Balapan, Double Track, Geometrik Jalan Rel Kereta Api

1. Pendahuluan

Surakarta yang merupakan kota terbesar ketiga di pulau Jawa bagian selatan setelah Bandung dan Malang yang memiliki luas sekitar $\pm 44,04$ km². Kota Surakarta berkembang sangat cepat baik dari segi infrastruktur kota maupun segi perekonomian. Surakarta juga dikenal pula sebagai pusat bisnis, industri, perdagangan, dan pendidikan di kawasan timur Pulau Jawa (Kompas.id, 16 April 2022). Moda transportasi yang digunakan untuk menuju Kota Surakarta adalah dengan menggunakan pesawat, dan kereta api. Sehingga salah satu lokasi yang menjadi pintu masuk ke Surakarta adalah stasiun Solo Balapan. Solo Balapan merupakan stasiun kelas besar tipe A yang dengan tingkat pertumbuhan penumpang yang semakin bertambah setiap tahunnya. Stasiun ini merupakan persimpangan antara jalur lintas tengah dan lintas selatan Pulau Jawa. Pemerintah berencana untuk mengembangkan jaringan jalan rel di Jawa dengan program *double track* atau jalur ganda dari stasiun Solo Balapan – Bandara Adi Soemarmo – Kalioso – Semarang fase 1. Demi terwujudnya Bandara Adi Soemarmo menjadi salah satu bandara pengumpul, perlu adanya peningkatan infrastruktur baik dari sisi pelayanan bandara maupun dari moda transportasi lain yang mendukung akses ke Bandara Adi Soemarmo. Moda transportasi lain yang dimaksud adalah kereta api bandara. Dengan adanya kereta api bandara diharapkan dapat mempermudah akses transportasi bagi masyarakat di sekitar wilayah bandara. Kereta bandara ini akan menghubungkan Stasiun Solo Balapan hingga Bandara Adi Soemarmo. Pada saat ini jalur kereta api Solo Balapan – Adi Soemarmo masih dengan *single track*. Mengingat kedatangan penumpang *domestic* naik 49% dari tahun sebelumnya dan jadwal kereta yang diprediksi tidak dapat mengakomodir jumlah penumpang, diperlukan adanya penambahan jalur yang semula *single track* menjadi *double track*. *Double track* ini akan mengurangi jarak interval kereta sehingga tidak terlalu lama serta dapat menambah jumlah armada kereta api bandara. Selain itu, *double track* yang mampu melayani penumpang lebih banyak akan memperluas jaringan jalur kereta di wilayah Surakarta.

Penelitian ini merencanakan trase *double track* pada jalur lintas Solo Balapan – Bandara Adi Soemarmo. Menurut Permenhub No. 11 Tahun 2012, trase adalah rencana tapak jalur kereta api yang telah diketahui titik-titik koordinatnya. Tujuan dari penetapan trase jalur kereta api adalah untuk diwujudkan keharmonisan antara jaringan jalur kereta api dan perencanaan tata ruang dan wilayah.

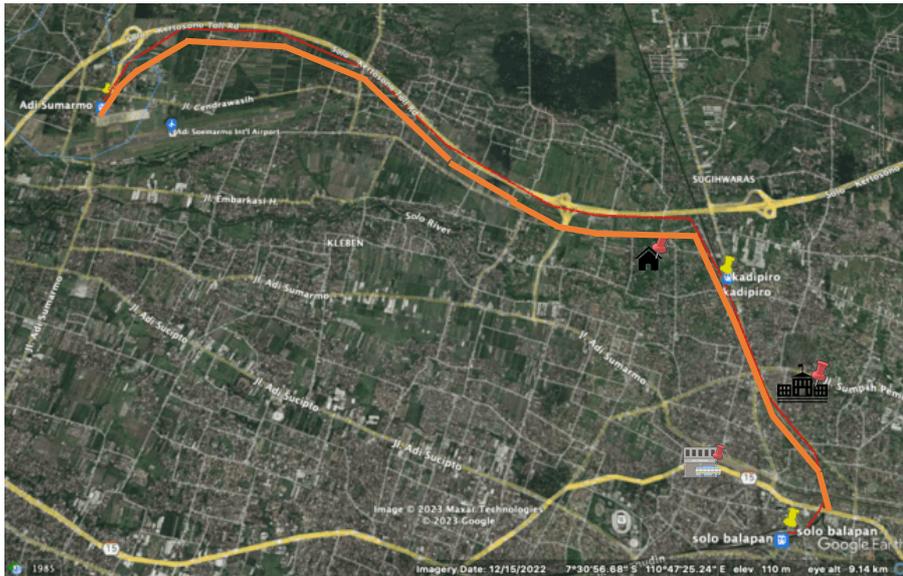
2. Metode

2.1. Pendetailan Alternatif Trase

2.1.1 Pendetailan Alternatif Trase 1

Trase 1 (Solo Balapan – Stasiun Adi Soemarmo jalur eksisting) mempunyai panjang trase +/-12,6 km. Alternatif satu saat ini sejajar dengan jalan *Toll Solo – Kertosono*. Analisa alternatif trase 1 direncanakan posisinya terletak berdampingan dengan Jalan Tol Solo – Kertosono dan merupakan trase yang digunakan oleh kereta bandara saat ini dengan *single track*. Trase eksisting dapat dilihat pada gambar yang ditunjukkan dengan garis yang berwarna merah. Alternatif trase 1 berawal dari stasiun Solo Balapan ke Masjid Raya – *double track at grade*. Dari Masjid Raya sampai stasiun Adi Soemarmo *double track elevated*. Hal ini dengan pertimbangan bahwa proyek *elevated railway track* sedang dikerjakan pada trase dari Masjid Raya sampai dengan Stasiun Kadipiro. Jalur ini pun melewati satu universitas yakni Universitas Slamet Riyadi, melewati beberapa perkampungan padat penduduk dan perumahan seperti perumahan Permata Lemah Abang, lalu terintegrasi dengan terminal

utama di Kota Surakarta, yakni terminal Tirtonadi. Alternatif trase 1 dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



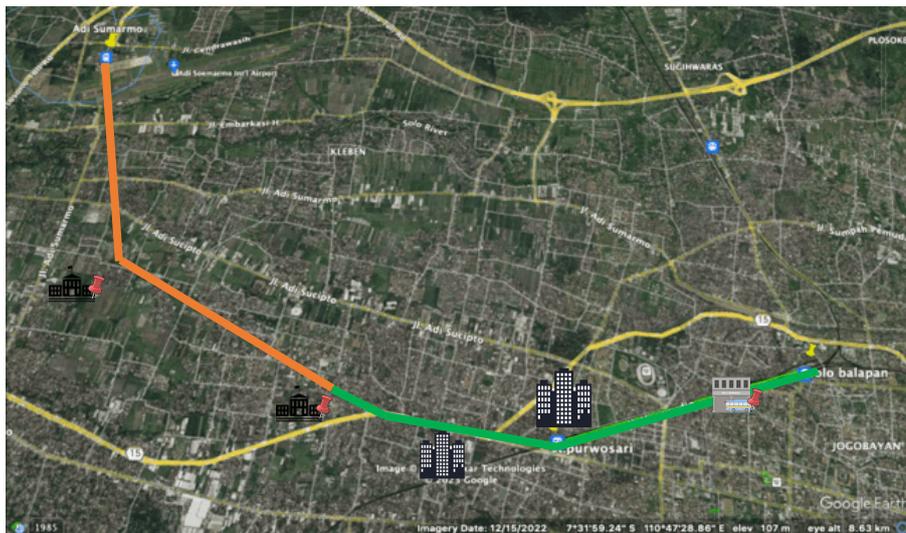
Gambar 1. Pendetailan Desain Alternatif Trase 1

Keterangan :

- : Trase eksisting dengan *single track*
- : Alternatif Trase 1 dengan jalur *double track elevated*
- : Alternatif Trase 1 dengan jalur *double track at grade*
-  : Stasiun Kereta Api di Surakarta.
-  : Universitas Slamet Riyadi
-  : Perumahan Permata Lemah Abang Kadipiro
-  : Terminal Tirtonadi

2.1.2 Pendetailan Alternatif Trase 2

Trase 2 (Solo Balapan via Purwosari – Solo Balapan) dengan Panjang trase +/-11,43km. Pada pembangunan alternatif 2 perencanaan jalur kereta api rel ganda (*double track*) dari Stasiun Solo Balapan – Stasiun Purwosari – Jalan Slamet Riyadi – Sisi Barat Jalan Adi Sucipto – Stasiun Bandara Adi Soemarmo ini akan direncanakan jalur *at grade* dan *elevated*. Berawal dari Stasiun Solo Balapan kemudian menuju pusat kota dan berhenti di Stasiun Transit Purwosari. Kemudian melewati pusat pertokoan, komersial di Jalan Slamet Riyadi, kemudian melewati sisi barat Jalan Adi Sucipto dan melewati dua Universitas, yakni Universitas Muhammadiyah Surakarta dan Universitas Islam Negeri Raden Surakarta. Mendekati bandara Adi Soemarmo, jalur mulai dibuat *elevated railways* tepatnya pada daerah Universitas Muhammadiyah Surakarta yang ditunjukkan oleh garis berwarna oranye. Jalur direncanakan *elevated* dengan pertimbangan menghindari kemacetan pada lintas provinsi dan dalam kota. Jalur ini pun melewati beberapa perkampungan padat penduduk dan perumahan dan terintegrasi dengan terminal utama di Kota Surakarta, yakni terminal Tirtonadi. Alternatif trase 1 dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Pendetailan Desain Alternatif Trase 2.

Keterangan :

- : Alternatif Trase 2 at grade dengan *double track at grade*
- : Alternatif Trase 2 dengan jalur *double track elevated*.
-  : Stasiun Kereta Api di Surakarta
-  : Universitas Muhammadiyah Surakarta, Universitas Islam Negeri Raden
-  : Terminal Tirtonadi
-  : Pusat Komersil/Pusat Perkotaan

2.2. Penentuan Alternatif Trase Terpilih

Dalam mengambil alternatif trase yang akan digunakan akan dilakukan dengan *multi criteria analysis* yaitu analisa dengan menggunakan matriks sederhana dengan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya dengan sistim penilaian tertentu yang nantinya akan menghasilkan nilai atau bobot dari masing- masing alternatif trase.

2.2.1 Waktu Tempuh

Pada penelitian ini, jumlah stasiun dan penumpang tidak diperhitungkan sehinggawaktu tempuh tidak dimasukan sebagai kriteria, karena waktu tempuh kereta berkaitan dengan jumlah pemberhentian dan jumlah penumpang. Maka, penelitian ini hanya menggunakan perbandingan panjang trase antara dua alternatif.

2.2.2 Penentuan Skala Numerik

Skala numerik digunakan untuk membandingkan tiapparameter penilaian agar menghasilkan parameter mana yang dirasa lebih penting dari parameter yang lain. Penelitian ini menggunakan skala numerik seperti pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Skala Numerik untuk Penilaian Banding Beberapa Kriteria

Skala Arti	
1	Sama pentingnya
3	Lebih penting

Sumber :Mendoza, 1999

2.2.3 Matriks Sederhana

Pada penelitian ini, *demand* penumpang diasumsikan memiliki tingkat kepentingan yang lebih tinggi, karena pembangunan moda transportasi masal pada dasarnya ingin melayani *demand* yang tinggi (<https://ojs.balitbanghub.dephub.go.id>). Maka, berdasarkan asumsi tersebut, kriteria yang berhubungan dengan *demand* akan memiliki kepentingan yang lebih dibandingkan dengan kriteria lainnya. Dua kriteria yang berhubungan dengan *demand* memiliki kepentingan yang sama. Kriteria yang berhubungan dengan *demand* yaitu melewati perumahan, pusat komersial, universitas dan terminal. Maka pada penelitian ini ditentukan *Matriks Pairwase Comparison* sebagai berikut:

1. Kriteria melewati perumahan lebih penting dibanding panjang trase dan posisi trase
2. Kriteria melewati pusat komersial lebih penting dibanding panjang trase dan posisi trase.
3. Kriteria melewati universitas lebih penting dibanding panjang trase dan posisi trase.
4. Kriteria melewati terminal lebih penting dibanding panjang trase dan posisi trase.
5. Melewati perumahan, melewati pusat komersial, dan melewati terminal memiliki tingkat kepentingan yang sama

Adapun penjelasan lebih rinci terdapat pada tabel 2 penilaian tiap kriteria dengan kriteria lainnya dibawah ini beserta lengkap dengan keterangannya.

Tabel 2. Penilaian Tiap Kriteria dengan Kriteria Lainnya

Kriteria	A	B	C	D	E	F	Total (Bobot)
	Panjang Trase	Posisi Trase (Elevated)	Melewati Perumahan	Melewati Pusat Komersial	Melewati Universitas	Melewati terminal	
A	1	1	0,33	0,33	0,33	0,33	3.32
B	1	1	0,33	0,33	0,33	0,33	3.32
C	3	3	1	1	1	1	10
D	3	3	1	1	1	1	10
E	3	3	1	1	1	1	10
F	3	3	1	1	1	1	10

Dimana :

- A : Panjang trase
- B : Posisi trase (elevated)
- C : Melewati perumahan
- D : Melewati pusat komersial
- E : Melewati universitas
- F : Melewati terminal bus/stasiun kereta api

Tabel 2 dapat diartikan sebagai berikut :

1. (A, A) bernilai 1 : Parameter kolom A yaitu panjang trase dibandingkan dengan baris

A memiliki nilai perbandingan “sama pentingnya” untuk parameter kolom A dan baris A.

Untuk kolom dan baris yang lain, cara mengartikannya sama seperti penjabaran di atas.

2.2.4 Hitung Bobot Relatif

Dalam menentukan bobot untuk masing-masing kriteria, penelitian ini menggunakan cara sederhana yaitu dengan memberikan penilaian angka 1 untuk alternatif dengan kondisi lebih baik sesuai kriteria, dan penilaian angka 0 untuk alternatif lainnya. Kemudian nilai

Kriteria	Alternatif 1	Alternatif 2	Nilai Alternatif 1	Nilai Alternatif 2	Bobot	Nilai Alternatif 1 dengan bobot	Nilai Alternatif 2 dengan bobot
A Panjang Trase	12,6 km	11,43 km	0	1	3.32	0	3.32
B Posisi Trase (Elevated)	100%	75%	1	0	3.32	3.32	0
C Melewati Perumahan	50%	100%	0	1	10	0	10
D Melewati Pusat Komersial	0	2	0	1	10	0	10
E Melewati Universitas	1	2	0	1	10	0	10
F Melewati terminal	1	1	1	1	10	10	10
Jumlah			2	5		13.32	43.2

tersebut diberi bobot sesuai dengan bobot yang diperoleh pada perhitungan Tabel 3 kolom terakhir. Batasan penilaian yang dimaksud adalah sebagai berikut

Tabel 3. Batasan Penilaian Untuk Bobot Relatif

Dimana :

1. Tabel Kuning merupakan gambaran dan penilaian diawal.
2. Tabel Merah merupakan penilaian masing masing kriteria. Diberi angka 1 jika alternatif memiliki kondisi yang lebih baik dibandingkan kriteria lainnya. Panjang trase yang terpendek diberi nilai 1, karena trase lebih pendek akan memiliki waktu tempuh yang lebih singkat. Alternatif dengan trase elevated lebih banyak diberi nilai 1 karena memiliki pertemuan yang lebih sedikit dengan jalan raya. Alternatif dengan kriteria C-F lebih tinggi diberi nilai 1 karena akan memiliki *demand* yang lebih tinggi.
3. Tabel Biru merupakan pembobotan penilaian masing masing kriteria berdasarkan bobot yang diperoleh pada Tabel 2.

Baris terakhir pada Tabel 3 merupakan akumulasi dari penilaian alternatif 1 dan 2 baik tanpa maupun dengan pembobotan. Dapat dilihat bahwa Alternatif 2 memiliki nilai yang lebih tinggi daripada alternatif 1. Dari perhitungan *multi criteria analysis* sederhana pada alternatif trase 2 didapatkan total nilai sebesar 43,2 poin dimana angka ini lebih besar daripada alternatif 1 yaitu hanya 13.32. Sehingga trase yang terpilih dari kedua alternatif trase tersebut adalah trase 2 Selanjutnya akan dilakukan analisa desain geometrik pada trase terpilih.

3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan perencanaan alinyemen horizontal dan vertikal dari alternatif yang terpilih, yaitu trase 2.

3.1. Perencanaan Geometrik Alinyemen Horizontal

Pada sub-bab ini akan dijelaskan mengenai perhitungan desain geometrik dan struktur jalan rel dari jalur kereta api lintas Stasiun Solo Balapan – Bandara Adi Soemarmo menggunakan kriteria desain yang mengacu pada Peraturan Menteri No. 60 Tahun 2012 sebagai berikut yaitu :

1. Trase yang digunakan adalah alternatif trase 2 yang merupakan trase terpilih berdasarkan *multi criteria analysis* yang telah dijelaskan pada sebelumnya.
2. Menggunakan lebar sepur 1067 mm.
3. Jenis rel tipe R42
4. Jarak bantalan beton rel 60 cm.
5. Daya angkut lintas $< 2,5 \times 10^6$ ton/tahun.
6. Beban gandar maksimum 18 ton.
7. Tebal batu ballast atas 25 cm.
8. Lebar bahu ballast 35 cm.
9. Menggunakan tipe penambat rel elastis ganda atau pandrol.
10. Menggunakan sambungan las ditempat jalan rel.

3.1.1 Perhitungan Sudut Azimuth

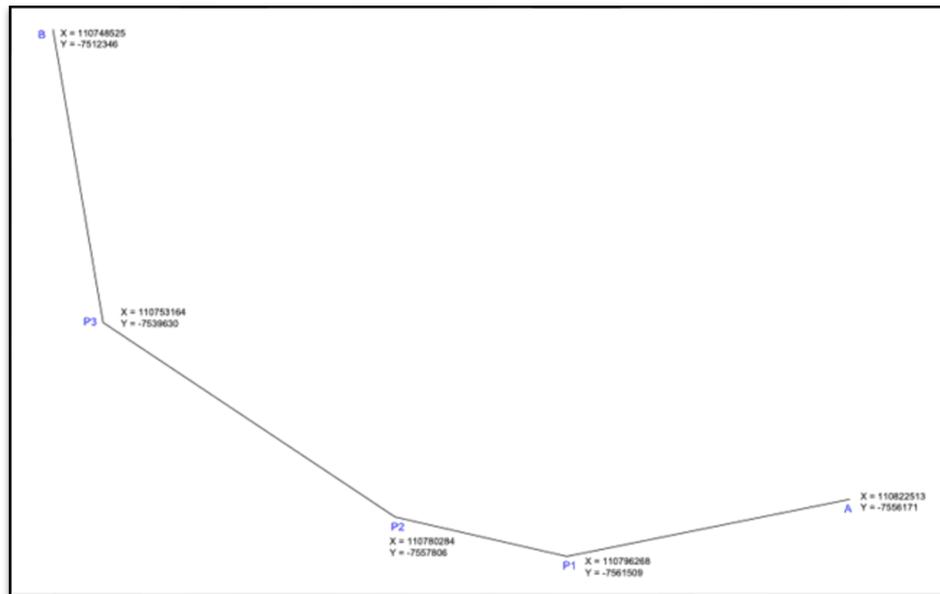
Berikut adalah contoh perhitungan sudut azimuth dan sudut tikungan pada alternatif trase 2 yang terpilih :

1) Nilai ΔX dan ΔY

$$\begin{aligned} \text{Koordinat } \Delta X (P1) &= X(P1) - (A) \\ &= 110796268 - 110.822.513 \\ &= - 26245 \\ \text{Koordinat } \Delta Y (P1) &= Y(P1) - (A) \\ &= -7.561.509 - -7.556.171 \\ &= - 5.338,00 \end{aligned}$$

2) Panjang Trase Antar Titik (L)

$$\begin{aligned} \text{Titik A ke Titik P} &= \sqrt{\Delta X(P1)^2 + \Delta Y(P1)^2} \\ &= \sqrt{(-26245)^2 + (-5.338,0)^2} \\ &= 26782,34995 \text{ m} \\ \text{Titik P1 ke Titik P2} &= \sqrt{\Delta X(P2)^2 + \Delta Y(P2)^2} \\ &= \sqrt{(-15984)^2 + (3.703,0)^2} \\ &= 13675,81 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 3. Trase Titik A, P1, P2.

3) Sudut Azimuth (α)

$$\begin{aligned} \text{Sudut P1} &= \text{arc tg} \left(\frac{\text{Koordinat } \Delta X(P1)}{\text{Koordinat } \Delta Y(P1)} \right) \\ &= \text{arc tg} \left(\frac{110796268}{-7.561.509} \right) \\ &= 78,503 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sudut P2} &= 180^\circ + \text{arc tg} \left(\frac{\text{Koordinat } \Delta X(P2)}{\text{Koordinat } \Delta Y(P2)} \right) \\ &= 180^\circ + \text{arc tg} \left(\frac{110.780.284}{-7.557.806} \right) \\ &= 103,043 \end{aligned}$$

3.1.2 Perhitungan Sudut Tikungan

$$\begin{aligned} \text{Sudut tikungan P1} &= \text{Sudut azimuth P2} - \text{Sudut azimuth P1} \\ &= 103,043 - 78,503 \\ &= 24,54 \end{aligned}$$

3.1.3 Perhitungan Lengkung Alinyemen Horizontal

Perencanaan alinyemen horizontal menggunakan parameter lengkung SCS (*Spiral – Circle – Spiral*) yang dapat mengakomodasi peralihan sudut kemudi menjadi lebih halus. Berikut adalah contoh perhitungan lengkung horizontal P1 :

1) Perhitungan R Minimum

$$\begin{aligned} R \text{ min} &= 0,054 \times V^2 \\ &= 0,054 \times 60^2 \\ &= 194,4 \end{aligned}$$

$$R \text{ Eksisting} = 350 \text{ m,}$$

R Rencana = 350 m, dikarenakan jika R makin besar, maka lengkung peralihannya makin kecil dan beloknya sepur atau kereta akan menjadi kurang lebar.

Menurut Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012, kereta dengan kecepatan rencana (V) 60km/jam menggunakan R maksimal yaitu 600 meter (tidak menggunakan lengkung peralihan). Dan R minimum yaitu sebesar 200 meter (menggunakan lengkung peralihan). Karena R minimum sudah diketahui, R rencana pada penelitian ini disesuaikan dengan R

eksisting yang telah ada dan tetap memenuhi syarat. Dapat dilihat tabel Peraturan Menteri Nomor 60 Tahun 2012.

2) Peninggian Rel (h)

$$\begin{aligned} h \text{ normal} &= 5,95 \times \frac{v^2}{R} \\ &= 5,95 \times \frac{60^2}{350} \\ &= 61,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h \text{ min} &= 8,8 \times \frac{v^2}{R} - 53,94 \\ &= 8,8 \times \frac{60^2}{350} - 53,94 \\ &= 36,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$h \text{ max} = 110 \text{ mm}$$

Karena $h \text{ min } 36,97 < h \text{ normal } 61,2 < h \text{ max}$ yaitu 110 mm, maka h normal diambil sebagai h untuk perhitungan selanjutnya.

3) Panjang Lengkung Peralihan (Ls)

$$\begin{aligned} Lh &= 0,01 \times h \text{ normal} \times v \\ &= 0,01 \times 61,2 \times 60 \\ &= 36,72 \text{ m} \end{aligned}$$

4) Panjang Lengkung Lingkaran (Lc)

$$\begin{aligned} \theta_s &= \frac{90^\circ \times Lh}{\pi \times Rc} \\ &= \frac{90^\circ \times 36,7}{\pi \times 350} \\ &= 3,006^\circ \end{aligned}$$

Sudut Lingkaran

$$\begin{aligned} \theta_c &= \Delta - 2 \cdot \theta_s \\ &= 24,54^\circ - 2 \times 3,006 \\ &= 18,53^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Lc &= \frac{\theta_c}{360^\circ} \times 2 \pi \times R \\ &= \frac{18,52}{360^\circ} \times 2 \pi \times 350 \\ &= 113,2 \text{ m} \end{aligned}$$

5) Panjang Lengkung Total

$$\begin{aligned} L1 &= Lc + 2 Lh \\ &= 113,2 + 2 \times 36,72 \\ &= 186,6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ys &= \frac{Lh^2}{6R} \\ &= \frac{36,72^2}{6 \times 350} \\ &= 0,642 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= Lh - R \sin \theta_s \\ &= 36,72 - 350 \sin 3,006 \\ &= 18,37 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= Ys - R (1 - \cos \theta_s) \\ &= 0,642 - 350 (1 - \cos 3,006) \\ &= 0,161 \text{ m} \end{aligned}$$

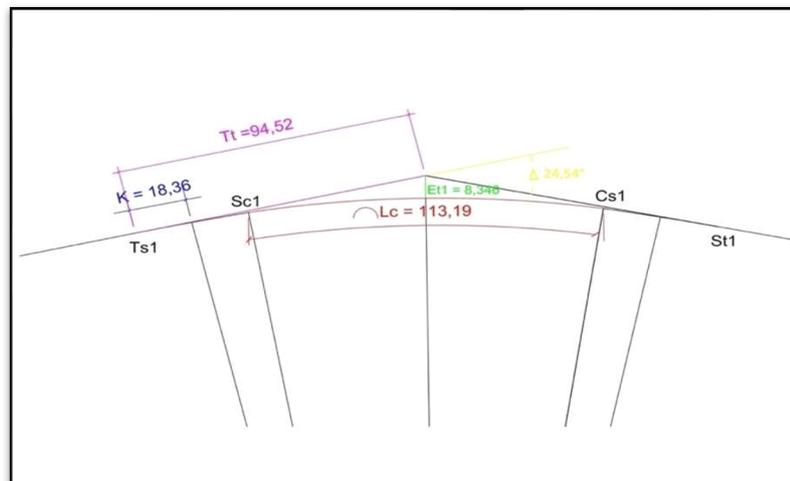
$$Tt1 = (R + Q) \operatorname{tg} (\Delta/2) + K$$

$$\begin{aligned}
 &= 350 + 0,16) \operatorname{tg} \left(\frac{24,54}{2} \right) + 18,36842 \\
 &= 94,52 \text{ m} \\
 \text{Et1} &= \frac{(R+Q)}{\operatorname{Cos}\Delta/2} - R \\
 &= \frac{(350+0,16)}{\operatorname{Cos} 24,52/2} - 350 \\
 &= 8,346 \text{ m}
 \end{aligned}$$

6) Pelebaran Sepur

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{4500}{R} - 8 \\
 &= \frac{4500}{350} - 8 \\
 &= 4,85 \text{ mm} < 20 \text{ mm, Karna lebih dari 1 mm, maka ada pelebaran sepur.}
 \end{aligned}$$

Nilai toleransi pelebaran sepur menurut PM. 60 tahun 2012 adalah sebesar 20 mm. Pelebaran sepur dilakukan agar roda kendaraan rel dapat melewati lengkung tanpa hambatan dan mengurangi gaya tekan akibat terjepitnya roda kereta di tikungan. Setelah dilakukan analisa perhitungan alinyemen horizontal, maka selanjutnya harus digambar lengkung maksimal SCS pada trase rencana seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 4. Lengkung Horizontal P1 - SCS.

3.2. Perencanaan Geometrik Alinyemen Vertikal

Alinyemen vertikal adalah perpotongan bidang vertikal dengan badan jalan arah memanjang (Sukirman, 1994).

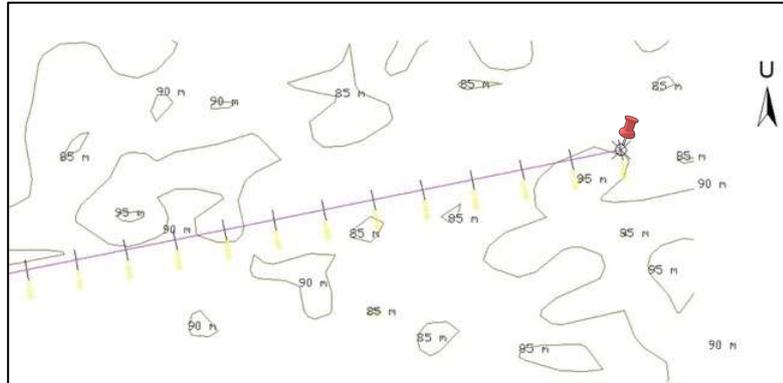
3.2.1 Elevasi Eksisting

Penentuan elevasi eksisting berdasarkan pembagian sta yang telah dilakukan yakni membagi trase sepanjang 11.432 m menjadi per 100 m secara konstan. Untuk perhitungan elevasi dilakukan dengan pendekatan interpolasi antara elevasi kontur sebelah kanan dan kiri titik dengan jarak kontur. Berikut adalah contoh perhitungan elevasi eksisting pada STA 0+000:

- a) Elevasi Kontur kiri (KR) = 90,00 m
- b) Elevasi kontur kanan (KN) = 90,00 m
- c) Jarak antar kontur = 308,14 m
- d) Jarak STA - Kontur (AS) = 297,46 m

$$\begin{aligned}
 \text{Elevasi Eksisting} &= KN + \frac{(KR - KN)}{S} \times AS \\
 &= 90,00 + \frac{(90,00 - 90,00)}{308,14} \times 297,46 \\
 &= 90,00 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan contoh gambar elevasi eksisting dibawah ini:



Gambar 5. Elevasi Kontur Eksisting.

Keterangan:

 : STA 0+000

Untuk elevasi eksisting dan elevasi rencana pada STA 0+000 - STA 11+400 akan disajikan pada lampiran 2.

3.2.2 Elevasi Rencana

Dalam merencanakan elevasi vertikal diperlukan adanya kriteria - kriteria yang sangat mempengaruhi dalam perhitungan alinyemen vertikal rel kereta api yang mengacu pada PM No. 60 Tahun 2012. Penentuan elevasi rencana didasarkan pada elevasi eksisting yang telah diketahui. Kriterianya yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kelandaian direncanakan per 400 meter bertujuan untuk kenyamanan penumpang. Namun, perlu diperhatikan pada titik tertentu seperti STA 0+000 sampai dengan 0+400 menggunakan lima titik sta sebagai awalan keberangkatan kereta dari stasiun.
2. Kelandaian mengikuti elevasi eksisting yg diperhalus untuk meminimalkan *cut and fill*.
3. Kelandaian dibuat tidak melebihi ketentuan yaitu 25 permil untuk kelas jalan rel V.
4. Ketika ditemukan elevasi tanjakan diikuti oleh turunan atau sebaliknya yaitu turunan diikuti tanjakan, maka di antara lengkung vertikal yang merupakan lengkung transisi harus dibuat "bagian mendatar" minimal 20 meter atau panjang kereta terpanjang.

Mengacu pada kriteria poin 1 yaitu dengan cara *smoothing* atau memperhalus kelandaian dengan metode pengambilan rata-rata per 400 m. Kemudian di 400 meter berikutnya merupakan lintas datar sesuai dengan ketentuan PM No. 60 Tahun 2012, yaitu ketika elevasi tanjakan diikuti turunan atau sebaliknya, maka di antara lengkung vertikal yang merupakan lengkung transisi harus dibuat bagian mendatar minimal panjang kereta api terpanjang yang melintas.

Setelah ditemukan rata-rata per 400 meter, elevasi yang sudah didapatkan, kemudian elevasi digambarkan dengan media *software AutoCad* yang kemudian dihubungkan sehingga membentuk suatu kelandaian. Pada titik atau STA yang belum diketahui elevasi rencananya, dapat dilihat elevasinya pada *Autocad*.

3.3 Perhitungan Geometrik Alinyemen Lengkung Vertikal

Berikut adalah contoh perhitungan alinyemen vertikal di STA 0+400 :

$$V \text{ Rencana} = 60 \text{ km/jam}$$

$$R \text{ Vertikal} = 6000 \text{ m}$$

$$\text{Elevasi PPV} = 90,01 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} X_m &= \frac{R}{2} \times (g_1 - g_2) \\ &= \frac{6000}{2} \times (0\% - 0,4\%) \\ &= -12 \text{ m} \end{aligned}$$

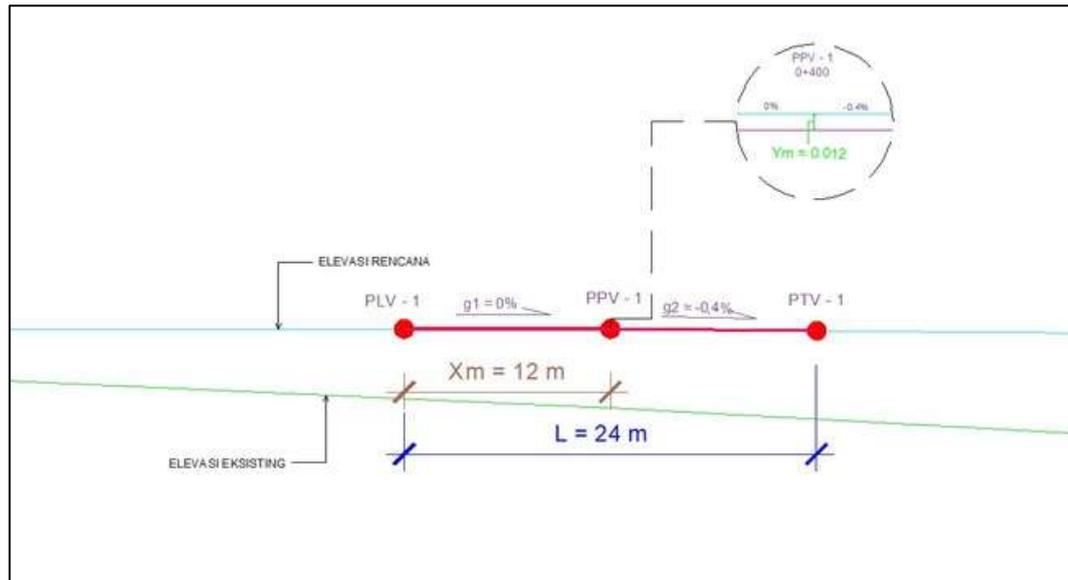
$$\begin{aligned} Y_m &= \frac{R}{8} \times (g_1 - g_2)^2 \\ &= \frac{6000}{8} \times (0\% - 0,4\%)^2 \\ &= 0,01 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= 2 \times X_m \\ &= 2 \times (-12) \\ &= -24 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elv PLV} &= \text{PPV} - \frac{g_1}{100} \times \frac{1}{2} \times L \\ &= 90,01 - \frac{0\%}{100} \times \frac{1}{2} \times (-24) \\ &= 90,00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elv PTV} &= \text{PPV} - \frac{g_2}{100} \times \frac{1}{2} \times L \\ &= 90,01 - \frac{0,4\%}{100} \times \frac{1}{2} \times (-24) \\ &= 89,99 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Elv PPV} &= \text{PPV} - \frac{\Delta \times L}{800} \\ &= 90,01 - \frac{0,455 \times (-24)}{800} \\ &= 90,01 \text{ m} \end{aligned}$$



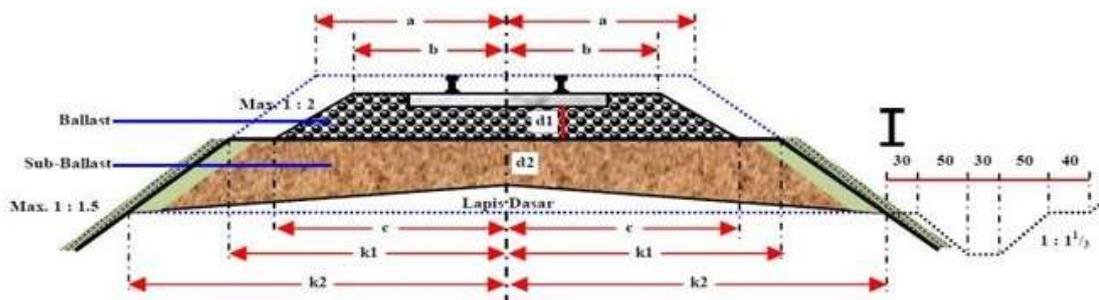
Gambar 6. Contoh Alinyemen Vertikal Lengkung Cekung

Keterangan : Sudut Δ dibagi 1000 karena nilai kemiringan medan pada jalan rel dinyatakan dalam satuan per mil ($^{\circ}/_{00}$).

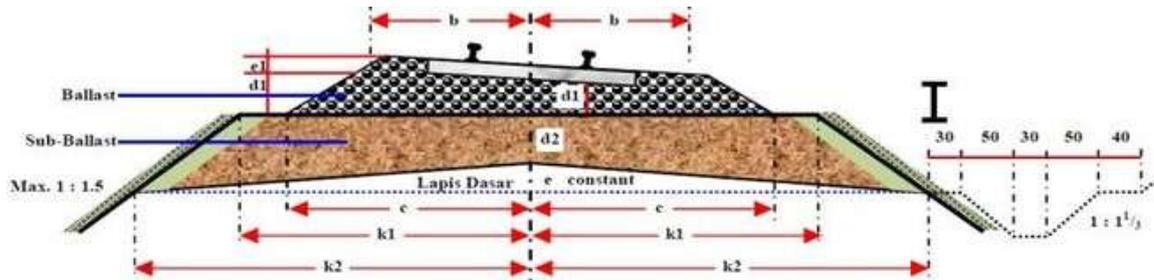
3.4 Perencanaan Struktur Jalan Rel

Pada sub bab ini akan menjelaskan tentang struktur jalan rel yang nantinya akan digunakan. Perencanaan jalan rel lintas Stasiun Solo Balapan - Bandara Adi Soemarmo menggunakan kriteria desain yang mengacu pada PM No. 60 tahun 2012 sebagai berikut:

1. Lebar rel = 1067 mm
2. Jenis rel = R42
3. Kecepatan Rencana = 60 km/jam
4. Daya angkut lintas = $< 2,5 \times 10^6$ ton/tahun
5. Beban gandar maksimum = 18 ton
6. Jarak bantalan beton = 60 cm
7. Tebal balas atas = 25 cm
8. Lebar bahu balas = 35 cm
9. Tipe penambat = Pandrol (elastis ganda)
10. Sambungan = Las thermit



Gambar 7. Penampang Melintang Jalan Rel Pada Jalur Lurus



Gambar 8. Penampang Melintang Jalan Rel Pada Jalur Lengkung

4) Kesimpulan

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemilihan trase, perencanaan dan perhitungan geometrik rel pada lintas Stasiun Solo Balapan – Bandara Adi Soemarmo dengan *double track*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perbandingan yang membandingkan dua alternatif trase jalur kereta api double track Stasiun Solo Balapan – Bandara Adi Soemarmo dengan mempertimbangkan beberapa faktor dengan menggunakan *Multy Criteria Analysis* sederhana maka didapatkan alternatif trase 2 (Stasiun Solo Balapan via Purwosari – Bandara Adi Soemarmo sebagai trase terbaik dengan bobot nilai 13 dibandingkan dengan trase 1 dengan bobot nilai 4. Panjang trase terpilih adalah +/- 11,43 km.
2. Adapun perencanaan, perhitungan geometrik serta konstruksi jalan rel didapat hasil perhitungan sebagai berikut :
 - a) Alinyemen Horizontal
Berdasarkan perencanaan lengkung horizontal didapat hasil kecepatan rencana 60km/jam dengan jari - jari minimum 200 meter, menggunakan desain karakteristik lengkung horizontal *Spiral - Circle - Spiral* pada semua tikungan yang berjumlah tiga tikungan.
 - b) Alinyemen Vertikal
Berdasarkan perencanaan lengkung vertikal didapat hasil jari hari rencana 6000 meter dan jumlah lengkung 28 lengkung, landai maksimum yang digunakan berkisar antara 0% sampai 10% dan sesuai dengan kelandain kelas jalan rel V sesuai dengan perencanaan.
 - c) Konstruksi Jalan Rel
 1. Jenis rel = JIS tipe R42
 2. Sambungan Rel = Las *Thermit Welding*
 3. Bantalan = Produk WIKA BETON
 4. Jarak pasang bantalan = 60 cm

5. Jenis Penambat = Pandrol (elastis ganda) *E-clip*.
1. Berdasarkan spesifikasi kereta ini didapatkan jenis kereta yang akan mengakomodir Stasiun Solo Balapan – Bandara Adi Soemarmo adalah ;
- Jenis kereta api = Kereta Api Rel Diesel Listrik (KRDE)
 - Panjang rangkaian Kereta = 82,33 m

4.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai perencanaan jalur kereta api rel ganda (*double track*) antara Solo Balapan – Bandara Adi Soemarmo yaitu adanya pertimbangan jumlah stasiun pemberhentian serta prediksi jumlah penumpang.

Daftar Pustaka

- Ismoyo, Y. (2017). Tugas Akhir. *Perencanaan Jalur Ganda Kereta Api Lintas Bangil-Malang*. Teknik Sipil ITS.
- Kementerian Perhubungan. (2009). *Peraturan Menteri No. 56 Tahun 2009 Tentang Penyelenggaraan Perkeretaapian*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Kementerian Perhubungan. (2012). *Peraturan Menteri No. 11 Tahun 2012 Tentang Tata Cara Penetapan Trase Jalur Kereta Api*. Jakarta : Kementerian Perhubungan.
- Kementerian Perhubungan. (2012). *Peraturan Menteri No. 83 Tahun 2011 Tentang Standar Biaya Kementerian Perhubungan Tahun Anggaran 2012*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Kementerian Perhubungan. (2012). *Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- Khoiruddin, R. M. (2016). Tugas Akhir. *Perencanaan Revitalisasi Jalur Kereta Api Lintas Semarang - Demak*, Teknik Sipil ITS.
- Perhubungan, K. (2011). *Peraturan Menteri Perhubungan No. 29 Tentang Persyaratan Teknis Bangunan Stasiun Kereta Api*. Jakarta: Direktorat Jenderal Kereta Api, Kementerian Perhubungan.
- Prinanto, N. (2012). . *Tugas Akhir : Studi Alternatif Pemilihan Trase Transportasi Massal Surabaya Timur Dengan Surabaya Barat*. Surabaya.
- PT. INKA Madiun. (2022, Agustus 18). *PT Industri Kereta Api Madiun*. Retrieved from <https://www.inka.co.id/product/view/6>
- Subarkah, I. (1981). *Jalan Kereta Api Edisi 1*. Bandung: Idea Dharma, 1981.
- Utomo, S. H. T., & Hapsoro, S. (2009). *Jalan Rel*. Yogyakarta: Beta Offset



This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License