

Evaluasi Geometri Jalan Rel Berbasis *Level Of Safety* Studi Kasus Lengkung No. 5 Km. 2+340 s.d Km. 2+494 Antara Stasiun Padang – Pulau Aie

Muhammad Raji Farizky¹, Angelalia Roza², Wilton Wahab³, Hendri Nofrianto⁴,
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang^{1,2,3,4},
Corresponding Author : angelalia@itp.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pentingnya kondisi geometri jalan rel dalam menjamin keselamatan dan kelancaran operasi kereta api, khususnya pada segmen lengkung yang berisiko tinggi mengalami penyimpangan. Penelitian bertujuan mengevaluasi tingkat keselamatan geometri lintasan pada Lengkung No. 5 Km 2+340 s.d. Km 2+494 lintas antara Stasiun Padang dan Stasiun Pulau Aie serta merumuskan rekomendasi pemeliharaan berbasis *Level of Safety* (LOS) sesuai pedoman teknis Direktorat Jenderal Perkeretaapian. Metode penelitian meliputi observasi lapangan, pengukuran parameter geometri, analisis kesesuaian terhadap standar teknis, dan klasifikasi tingkat keselamatan. Evaluasi dilakukan pada kecepatan operasi eksisting 20 km/jam dan rencana 40 km/jam sesuai Gapeka 2025. Hasil menunjukkan Penyimpangan maksimum peninggian rel mencapai 48 mm, lebar jalur 11 mm, dan anak panah lengkung 44 mm. Rata-rata *Level of Safety* meningkat dari LOS 2 pada kecepatan 20 km/jam menjadi LOS 2–4 pada kecepatan 40 km/jam. lintasan masih layak pada LOS 1–2 dengan kebutuhan pemeliharaan preventif, namun pada kecepatan rencana meningkat hingga LOS 3–4 akibat penyimpangan tertinggi pada peninggian rel. Secara umum lintasan aman beroperasi, peningkatan kecepatan hanya setelah standar terpenuhi.

Kata Kunci: geometri jalan rel, level of safety, peninggian rel, perawatan jalan rel.

ABSTRACT

This research is motivated by the importance of railway geometry conditions in ensuring the safety and smooth operation of trains, especially on curved segments that are at high risk of deviation. The study aims to evaluate the safety level of track geometry on Curve No. 5 Km 2+340 to Km 2+494 between Padang Station and Pulau Aie Station and formulate maintenance recommendations based on the Level of Safety (LOS) according to the technical guidelines of the Directorate General of Railways. The research methods include field observation, measurement of geometric parameters, analysis of conformity to technical standards, and classification of safety levels. The evaluation was carried out at the existing operating speed of 20 km/h and the planned 40 km/h according to Gapeka 2025. The results show that the maximum deviation of the rail elevation reaches 48 mm, the track width is 11 mm, and the curved arrow is 44 mm. The average Level of Safety increases from LOS 2 at a speed of 20 km/h to LOS 2–4 at a speed of 40 km/h. The track is still serviceable at LOS 1–2 with the need for preventive maintenance, but at design speeds it increases to LOS 3–4 due to the highest deviation in the rail elevation. In general, the track is safe to operate, with speeds increasing only after standards are met.

Keywords: track geometry, level of safety, track elevation, track maintenance.

1 Pendahuluan

Transportasi perkeretaapian merupakan bagian penting dari sistem transportasi modern yang berperan dalam meningkatkan konektivitas wilayah dan efisiensi mobilitas, termasuk dalam mendukung integrasi sistem transportasi multimoda [1]. Di Padang, jalur kereta api menjadi infrastruktur strategis yang menunjang aktivitas ekonomi dan pariwisata, termasuk lintas antara Stasiun Padang dan Stasiun Pulau Aie yang memiliki karakteristik geometrik lintasan beragam dengan beberapa lengkung beradius relatif kecil serta

keterbatasan kondisi lingkungan. Kondisi geometrik pada segmen lengkung sangat berpengaruh terhadap stabilitas dinamis kereta, keselamatan perjalanan, serta kelancaran operasi pada kecepatan tertentu, sehingga perencanaan dan evaluasi geometri lintasan menjadi aspek penting dalam penyelenggaraan transportasi perkeretaapian [2].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh geometri lintasan terhadap performa operasional kereta api, khususnya pada segmen lengkung. Studi menunjukkan bahwa karakteristik lengkung berpengaruh langsung terhadap batas

kecepatan operasi serta kebutuhan pemeliharaan lintasan [3], [4]. Penelitian lain menekankan pentingnya kegiatan perawatan geometri lengkung untuk menjaga kualitas lintasan dan keandalan operasi [5], termasuk melalui evaluasi pekerjaan perbaikan dan penyesuaian geometri pada berbagai lokasi lintasan [6], [7]. Selain itu, kajian terkait struktur atas jalan rel serta perencanaan pemeliharaan berbasis keandalan juga menunjukkan bahwa kondisi geometri lintasan merupakan faktor penting dalam pengambilan keputusan teknis pemeliharaan prasarana perkeretaapian [8], [9].

Meskipun berbagai penelitian telah membahas evaluasi geometri lintasan, pengaruh lengkung terhadap kecepatan operasi, dan kegiatan pemeliharaan jalan rel, sebagian besar masih bersifat parsial karena menilai kesesuaian geometrik atau performa operasional secara terpisah tanpa mengintegrasikan aspek keselamatan lintasan berbasis *Level of Safety* (LOS) sebagai dasar prioritas penanganan. Selain itu, hasil evaluasi geometrik berbasis pengukuran lapangan umumnya belum dikaitkan secara kuantitatif dengan standar keselamatan operasional yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Perkeretaapian. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui evaluasi terpadu yang menggabungkan analisis kondisi geometrik eksisting yang masih menggunakan kecepatan eksisting 20 Km/Jam dan rencana kecepatan 40 Km/Jam sesuai Grafik Perjalanan Kereta Api Tahun 2025, kesesuaian terhadap standar teknis, serta penentuan prioritas penanganan berdasarkan tingkat keselamatan dan kemampuan mendukung kecepatan operasi eksisting ataupun rencana berbasis LOS. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kondisi geometrik jalan rel pada Lengkung No. 5 Km 2+340 s.d. Km 2+494 lintas Padang–Pulau Aie serta merumuskan rekomendasi pemeliharaan untuk menjamin keselamatan dan kelayakan operasi kereta api. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi evaluasi geometri lintasan dengan pendekatan *Level of Safety* (LOS) berbasis data lapangan, analisis dua skenario kecepatan operasi (eksisting dan rencana), serta penentuan prioritas pemeliharaan secara kuantitatif berdasarkan tingkat penyimpangan parameter geometrik.

2 Studi Literatur

2.1 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 [10]. 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. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa degradasi geometri lintasan dipengaruhi beban berulang, kondisi lingkungan, serta kualitas pemeliharaan, sehingga monitoring dan perawatan berkala menjadi faktor kunci keselamatan operasi [11], [12], [13].

2.2 Alinyemen Horisontal

Alinyemen horizontal merupakan susunan geometrik lintasan kereta api pada bidang mendatar yang berfungsi mengatur arah lintasan agar pergerakan kereta tetap stabil, aman, dan nyaman. Parameter utama alinyemen horizontal meliputi:

2.2.1 Jari Jari Lengkung Jalan Rel

Merupakan ukuran kelengkungan lintasan yang menentukan besarnya gaya sentrifugal yang bekerja pada kereta. Semakin besar jari-jari lengkung, semakin tinggi kecepatan yang diizinkan dan semakin kecil gaya lateral yang timbul [2]. Jari-jari minimum lengkung dapat dicari dengan persamaan [10].

$$R_{min} = 0,076 V^2 \quad (1)$$

di mana R_{min} adalah Jari-jari minimum dan, V adalah kecepatan.

2.2.2 Peninggian Jalan Rel

Peninggian rel diperlukan untuk mengimbangi timbulnya gaya sentrifugal pada kereta saat memasuki suatu lengkung horisontal [14]. Selisih tinggi antara rel luar dan rel dalam pada lintasan lengkung yang berfungsi menyeimbangkan gaya sentrifugal, meningkatkan stabilitas, serta mengurangi keausan rel dan roda [2], [8]. Terdapat 3 persamaan untuk mencari peninggian lengkung [15].

$$h_{min} = \frac{8,8V^2}{R} - 53,5 \text{ (mm)} \quad (2)$$

$$h_{Normal} = \frac{5,95V^2}{R} \text{ (mm)} \quad (3)$$

$$h_{Maksimum} = 110 \text{ (mm)} \quad (4)$$

di mana h adalah peninggian jalan rel, V adalah kecepatan dan R adalah jari-jari lengkung.

2.2.3 Lengkung Peralihan Jalan Rel

Segmen transisi antara lintasan lurus dan lengkung utama yang berfungsi mengubah kelengkungan secara bertahap sehingga perubahan gaya lateral terjadi secara halus [2]. Lengkung peralihan dapat dicari menggunakan persamaan (5) [15].

$$lh = 0,01 \cdot h \cdot V \quad (5)$$

di mana lh adalah lengkung peralihan, h adalah peninggian jalan rel, dan V adalah kecepatan.

2.2.4 Anak Panah Jalan Rel

Anak panah adalah nilai yang digunakan untuk mengontrol bentuk dan posisi lengkung lingkaran. Nilai anak panah didapat dengan mengukur jarak antara tengah-tengah tali busur dengan busur lengkung lingkaran [16]. Anak Panah dapat dicari menggunakan persamaan (6).

$$AP = \frac{50}{R} \quad (6)$$

2.2.5 Pelebaran Jalan Rel

Pelebaran jalan rel berguna untuk Penambahan jarak antar rel pada lintasan lengkung untuk mengakomodasi gerak lateral roda akibat geometri bogie dan gaya sentrifugal sehingga mengurangi gesekan dan keausan [6]. Secara regulasi hubungan pelebaran jalan rel dengan jari jari tikungan disampaikan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Lebar jalan rel pada lengkung [10]

Jari – jari Tikungan (m)	Pelebaran Sepur (mm)
$100 < R \leq 350$	20 mm

2.3 Pemeriksaan Dan Perawatan Lengkung Jalur Kereta Api


Pemeriksaan dan perawatan lengkung jalur kereta api dilakukan untuk memastikan kondisi geometri lintasan tetap berada dalam batas toleransi yang dipersyaratkan guna menjamin keselamatan dan keandalan operasi kereta api [5], [8], [17].

Tabel 2. Tabel Standar Toleransi Kerusakan Jalan Rel (*Level of Safety*) [17]


No	Level of Safety	Deskripsi	Tindak Lanjut Perawatan
1	Level 1	Kondisi jalan rel masih berada di bawah batasan perhatian.	Tidak perlu penanganan perawatan.
Batasan Toleransi Kerusakan : Batasan Perhatian			
2	Level 2	Kondisi melewati batasan perhatian tapi belum melewati batasan prioritas.	Diperlukan Preventive Maintenance (perawatan pencegahan). Jadwalkan perbaikan berkala.
Batasan Toleransi Kerusakan : Batasan Prioritas			
3	Level 3	Melewati batasan prioritas, namun belum melewati	Corrective Maintenance diperlukan.

No	Level of Safety	Deskripsi	Tindak Lanjut Perawatan
		batasan peringatan.	Perbaikan harus dilakukan sebelum siklus pemeriksaan berikutnya.
Batasan Toleransi Kerusakan : Batasan Peringatan			
4	Level 4	Melewati batasan peringatan.	Emergency Maintenance wajib segera dilakukan. Jalan rel tidak boleh dioperasikan sampai perbaikan dilakukan.

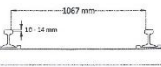
Tabel 3. Standar Toleransi Kerusakan Listringan di lengkung [17]

No	Batasan	Kecepatan Maksimum			Pengukuran Nilai Listringan
		>80 - 120 Km/Jam	>40 - 80 Km/Jam	≤ 40 Km/Jam	
1	Perhatian	0 mm	0 mm	0 mm	
2	Prioritas	2 mm	5 mm	22 mm	
3	Peringatan	6 mm	13 mm	54 mm	

Tabel 4. Tabel Standar Toleransi Kerusakan pertinggian [17]

No.	Batasan	Kecepatan Maksimum			Pengukuran Nilai Pertinggian
		>80 - 120 Km/Jam	>40 - 80 Km/Jam	≤ 40 Km/Jam	
1	Perhatian	11 mm			
2	Prioritas	21 mm			
3	Peringatan	32 mm			

Tabel 5. Standar Toleransi Kerusakan lebar Jalan Rel [17]

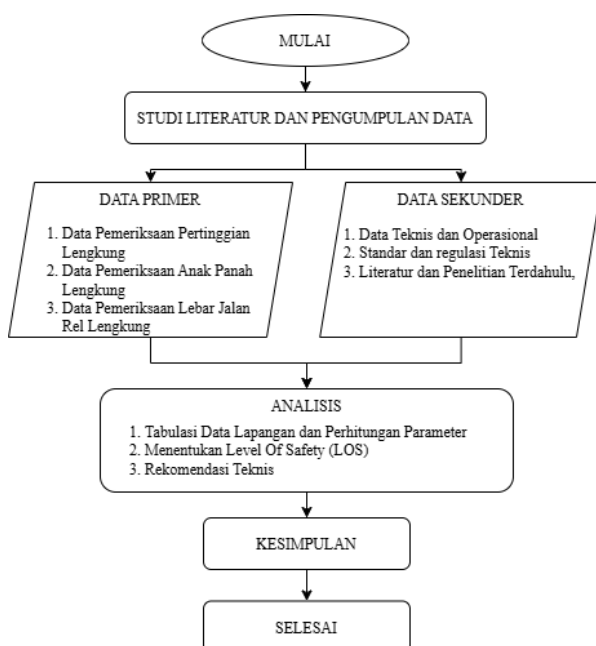
No	Batasan	Kecepatan Maksimum			Pengukuran Nilai Listringan
		>80 - 120 Km/Jam	>40 - 80 Km/Jam	≤ 40 Km/Jam	
1	Perhatian	+10/-2 mm	+21/-2 mm	+25/-2 mm	
2	Prioritas	+18/-4 mm	+24/-4 mm	+27/-4 mm	
3	Peringatan	+30/-8 mm	+30/-8 mm	+30/-8 mm	

3 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan melalui observasi lapangan dan pemeriksaan parameter geometri lintasan pada Lengkung No. 5 Km 2+340 s.d. Km 2+494 lintas antara Stasiun Padang dan Stasiun Pulau Aie, meliputi pertinggian lengkung, anak panah lengkung, dan lebar

jalan rel. Pengukuran dilakukan menggunakan *Track Gauge* dengan ketelitian ± 1 mm, mistar baja panjang 1 m dengan ketelitian ± 1 mm, serta benang nilon sebagai acuan pengukuran anak panah lengkung. Pengukuran dilakukan pada kondisi lintasan tanpa gangguan operasional untuk meminimalkan kesalahan akibat getaran atau beban dinamis pada 18 titik anak panah yang telah ditentukan. Setiap titik pengukuran dilakukan dengan pengamatan langsung dan pengecekan ulang secara visual untuk meminimalkan kesalahan pembacaan alat. Potensi kesalahan pengukuran diperkirakan sebesar ± 1 mm sesuai dengan spesifikasi alat yang digunakan. Hasil pengukuran lapangan selanjutnya diverifikasi melalui proses *cross-check* dengan data register eksisting untuk memastikan konsistensi dan keandalan nilai parameter geometrik yang diperoleh. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk menilai kesesuaiannya terhadap standar teknis yang berlaku serta menentukan *Level of Safety* (LOS).

Penentuan LOS dilakukan berdasarkan besarnya deviasi parameter geometrik terhadap batas toleransi yang ditetapkan sesuai pada tabel 2-5. Klasifikasi dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut: jika deviasi berada di bawah batas perhatian maka dikategorikan sebagai LOS 1, jika berada antara batas perhatian dan batas prioritas maka dikategorikan sebagai LOS 2, jika berada antara batas prioritas dan batas peringatan maka dikategorikan sebagai LOS 3, dan jika melebihi batas peringatan maka dikategorikan sebagai LOS 4. Secara keseluruhan tahapan penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 1 yang menggambarkan urutan proses mulai dari pengumpulan data, pengolahan, hingga analisis Level of Safety (LOS).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4 Hasil Dan Pembahasan

4.1 Tabulasi data lapangan dan perhitungan parameter

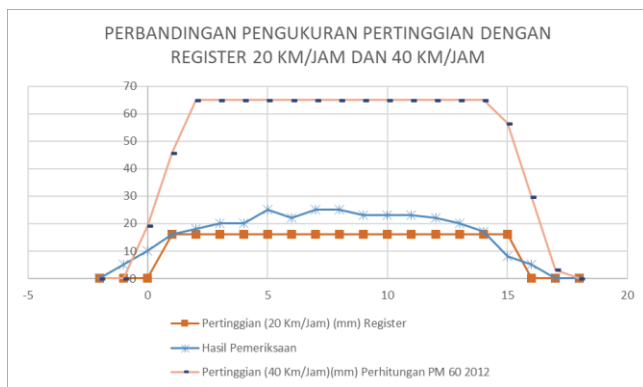
Berdasarkan hasil observasi dan pengukuran langsung parameter geometri lintasan di lapangan, data yang diperoleh selanjutnya dianalisis dan dikorelasikan dengan hasil perhitungan teknis setiap parameter geometrik. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan dua kondisi kecepatan operasi, yaitu kecepatan eksisting sebesar 20 km/jam dan kecepatan rencana sebesar 40 km/jam sesuai dengan Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) Tahun 2025. Perhitungan dilaksanakan menggunakan persamaan (1) sampai dengan Persamaan (6) dengan hasil evaluasi menunjukkan tingkat kesesuaian masing-masing parameter geometri terhadap standar teknis yang berlaku, serta menggambarkan kemampuan lintasan dalam mendukung peningkatan kecepatan operasi secara aman dan andal. Berikut merupakan hasil evaluasi setiap parameter geometrik lintasan.

Tabel 6. Rekapitulasi perbandingan antara kecepatan 20 km/jam dan 40 km/jam

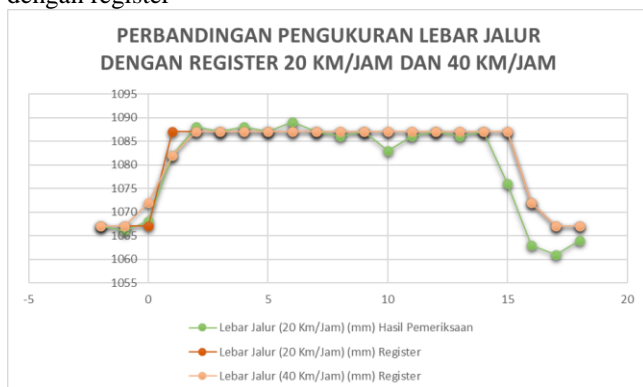
No	Parameter	Satuan	20 km/jam	40 km/jam
1	Lokasi Lengkung	Km	2+340 s.d 2+494	2+340 s.d 2+494
2	Radius Lengkung (R)	m	158	158
3	Panjang Lengkung (PL)	m	153	153
4	Titik Awal Lengkung (ML)	Km	2+340	2+340
5	Titik Akhir Lengkung (AL)	Km	2+494	2+494
6	Peninggian Rel (T)	mm	16	61
7	Anak Panah (AP)	mm	316,46	316,46
8	Panjang Lengkung Alih (PLA)	m	3,2	24,4
9	Jenis Rel		R54	R54
10	Jenis Bantalan		Beton	Beton
11	Sistem Penambat		E-Clip	E-Clip

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Perbandingan Kondisi Geometrik

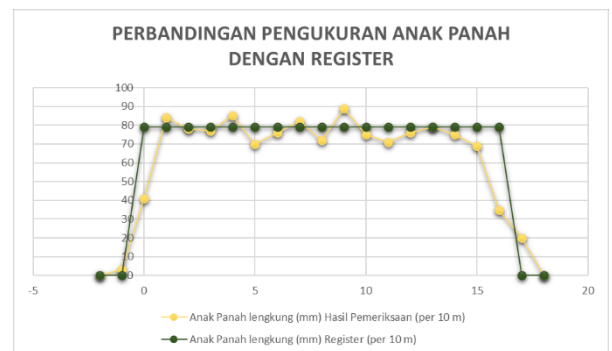
Titik	KM	Pertinggian						Lebar Jalur				Anak Panah (AP) Lengkung (mm)		
		Obsevasi lapangan	20 Km/Jam		40 Km/Jam		Obsevasi lapangan	20 Km/Jam		40 Km/Jam		Obsevasi lapangan (per 10 m)	PM 60	Selisih
			PM 60	Selisih	PM 60	Selisih		PM 60	Selisih	PM 60	Selisih			
-2	2+315	0	0	0	0	0	1067	1067	0	1067	0	0	0	0
-1	2+325	5	0	-5	0	5	1066	1067	1	1067	1	3	0	-3
0	2+335	10	0	-10	19.18	-9.18	1068	1067	-1	1072	4	41	79	38
1	2+345	16	16	0	45.82	-29.82	1082	1087	5	1082	0	84	79	-5
2	2+355	18	16	-2	65	-47	1088	1087	-1	1087	-1	78	79	1
3	2+365	20	16	-4	65	-45	1087	1087	0	1087	0	77	79	2
4	2+375	20	16	-4	65	-45	1088	1087	-1	1087	-1	85	79	-6
5	2+385	25	16	-9	65	-40	1087	1087	0	1087	0	70	79	9
6	2+395	22	16	-6	65	-43	1089	1087	-2	1087	-2	76	79	3
7	2+405	25	16	-9	65	-40	1087	1087	0	1087	0	82	79	-3
8	2+415	25	16	-9	65	-40	1086	1087	1	1087	1	72	79	7
9	2+425	23	16	-7	65	-42	1087	1087	0	1087	0	89	79	-10
10	2+435	23	16	-7	65	-42	1083	1087	4	1087	4	75	79	4
11	2+445	23	16	-7	65	-42	1086	1087	1	1087	1	71	79	8
12	2+455	22	16	-6	65	-43	1087	1087	0	1087	0	76	79	3
13	2+465	20	16	-4	65	-45	1086	1087	1	1087	1	79	79	0
14	2+475	17	16	-1	65	-48	1087	1087	0	1087	0	75	79	4
15	2+485	8	16	8	56.48.00	-48.48	1076	1087	11	1087	11	69	79	10
16	2+495	5	0	-5	29.84	-24.84	1063	1072	9	1072	9	35	79	44
17	2+505	0	0	0	03.02	-3.2	1061	1067	6	1067	6	20	0	-20
18	2+515	0	0	0	0	0	1064	1067	3	1067	3	0	0	0



Gambar 2. Perbandingan pengukuran pertinggian dengan register



Gambar 3. Perbandingan pengukuran lebar jalur dengan register



Gambar 4. Perbandingan pengukuran anak panah dengan register

4.2 Penentuan *Level of Safety* (LOS)

yaitu 20 km/jam dan 40 km/jam sesuai Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) 2025, selanjutnya dilakukan penilaian *Level of Safety*. Penilaian tingkat keselamatan lintasan atau *Level of Safety* dilakukan untuk menentukan kondisi operasional segmen lengkung berdasarkan tingkat penyimpangan parameter geometri terhadap batas toleransi yang diizinkan [18], [19], [20]. Evaluasi ini mengacu pada pedoman pemeriksaan dan perawatan jalur yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Perkeretaapian pada tabel 2 sampai dengan tabel 5. Berikut hasil penentuan *Level of Safety* pada tabel 8-10.

Tabel 8. *Level of Safety* parameter pertinggian

Titik	KM	Pertinggian			
		20 Km/Jam		40 Km/Jam	
		Selisih	LOS	Selisih	LOS
-2	2+315	0	1	0	1

-1	2+325	-5	2	5	2
0	2+335	-10	2	-9.18	2
1	2+345	0	1	-29.82	3
2	2+355	-2	2	-47	4
3	2+365	-4	2	-45	4
4	2+375	-4	2	-45	4
5	2+385	-9	2	-40	4
6	2+395	-6	2	-43	4
7	2+405	-9	2	-40	4
8	2+415	-9	2	-40	4
9	2+425	-7	2	-42	4
10	2+435	-7	2	-42	4
11	2+445	-7	2	-42	4
12	2+455	-6	2	-43	4
13	2+465	-4	2	-45	4
14	2+475	-1	2	-48	4
15	2+485	8	2	-48.48	4
16	2+495	-5	2	-24.84	3
17	2+505	0	1	-3.2	2
18	2+515	0	1	0	1
Rata-rata LOS			2		4

Tabel 9. *Level of Safety* parameter lebar jalur

Titik	KM	Lebar Jalur			
		20 Km/Jam		40 Km/Jam	
		Selisih	LOS	Selisih	LOS
-2	2+315	0	1	0	1
-1	2+325	1	1	1	1
0	2+335	-1	1	4	3
1	2+345	5	3	0	1
2	2+355	-1	1	-1	1
3	2+365	0	1	0	1
4	2+375	-1	1	-1	1
5	2+385	0	1	0	1
6	2+395	-2	1	-2	1
7	2+405	0	1	0	1
8	2+415	1	1	1	1
9	2+425	0	1	0	1
10	2+435	4	2	4	3
11	2+445	1	1	1	1
12	2+455	0	1	0	1
13	2+465	1	1	1	1
14	2+475	0	1	0	1
15	2+485	11	4	11	4
16	2+495	9	4	9	4
17	2+505	6	3	6	3
18	2+515	3	2	3	1
Rata-rata LOS			2		2

Tabel 10. *Level of Safety* parameter anak panah

Titik	KM	Anak Panah (AP)	
		Selisih	LOS
-2	2+315	0	1
-1	2+325	-3	1
0	2+335	38	4
1	2+345	-5	1
2	2+355	1	1
3	2+365	2	1
4	2+375	-6	1
5	2+385	9	2
6	2+395	3	1
7	2+405	-3	1
8	2+415	7	1
9	2+425	-10	2
10	2+435	4	1
11	2+445	8	2

12	2+455	3	1
13	2+465	0	1
14	2+475	4	1
15	2+485	10	2
16	2+495	44	4
17	2+505	-20	3
18	2+515	0	1
Rata Rata			2

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pada kecepatan eksisting 20 km/jam, sebagian besar titik masih berada pada Level 1–2, yang berarti kondisi lintasan relatif aman dan hanya memerlukan pemantauan atau perawatan preventif. Penyimpangan yang terjadi umumnya masih berada pada batas perhatian hingga batas prioritas, sehingga operasi kereta api masih dapat berlangsung dengan tingkat risiko rendah.

Namun, pada kecepatan rencana 40 km/jam, tingkat keselamatan lintasan menunjukkan penurunan yang signifikan. Beberapa titik mengalami peningkatan level risiko hingga Level 3 dan Level 4, terutama akibat penyimpangan peninggian rel dan anak panah lengkung yang melampaui batas toleransi operasional. Kondisi ini menunjukkan bahwa geometri lintasan pada beberapa segmen belum sepenuhnya mampu mendukung peningkatan kecepatan operasi tanpa tindakan perbaikan.

Secara umum, hasil klasifikasi menunjukkan bahwa meskipun lintasan masih layak untuk kondisi operasi saat ini, peningkatan kecepatan hingga 40 km/jam memerlukan penanganan pemeliharaan yang lebih intensif. Titik dengan Level 3 memerlukan perbaikan korektif sebelum siklus pemeriksaan berikutnya, sedangkan titik dengan Level 4 memerlukan penanganan segera karena berpotensi menimbulkan risiko keselamatan operasional.

4.3 Rekomendasi Teknis

Berdasarkan hasil evaluasi penyimpangan parameter geometrik pada Lengkung No. 5 Km 2+340 s.d. Km 2+494 lintas Padang–Pulau Aie, kondisi lintasan belum sepenuhnya memenuhi ketentuan teknis untuk mendukung kecepatan rencana 40 km/jam. Keterbatasan ruang, keberadaan bangunan sekitar, utilitas, serta kedekatan dengan emplasemen Stasiun Pulau Aie menjadi pertimbangan utama dalam penentuan penanganan teknis.

Pemeliharaan geometri lintasan difokuskan pada tiga parameter utama, yaitu peninggian rel, lebar jalur, dan anak panah lengkung, sebagai komponen yang paling berpengaruh terhadap stabilitas serta keselamatan operasi kereta api pada segmen

lengkung. Pada kecepatan operasi eksisting 20 km/jam, masih dijumpai penyimpangan maksimum pada peninggian rel sebesar 10 mm, lebar jalur 11 mm, dan anak panah lengkung 44 mm. Namun demikian, secara rata-rata keseluruhan parameter geometri masih berada pada LOS 2, sehingga lintasan tetap aman dioperasikan dan pemeliharaan yang direkomendasikan bersifat preventif untuk menjaga stabilitas serta mencegah peningkatan penyimpangan.

Sebaliknya, untuk mendukung peningkatan kecepatan hingga 40 km/jam diperlukan penanganan yang lebih komprehensif. Penyimpangan peninggian rel yang mencapai 48 mm, dengan lebar jalur 11 mm dan anak panah lengkung 44 mm, menyebabkan rata-rata kondisi geometri berada pada LOS 2–4 yang menuntut tindakan pemeliharaan korektif hingga darurat. Selain itu, penyesuaian geometri lengkung harus mempertimbangkan perubahan panjang lengkung peralihan yang meningkat dari 3,2 m menjadi 24,4 m, sehingga pelaksanaannya perlu memperhatikan keterbatasan ruang, kondisi emplasemen, serta kesesuaian dengan prasarana eksisting.

Selama perbaikan belum dilaksanakan sepenuhnya, kecepatan operasi direkomendasikan tetap 20 km/jam. Peningkatan kecepatan hanya dapat dilakukan setelah parameter geometrik utama memenuhi standar dan hasil evaluasi teknis menyatakan lintasan aman. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pemeliharaan berbasis keselamatan dan keandalan infrastruktur rel [21], [22].

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi geometri jalan rel berbasis *Level of Safety* (LOS) pada Lengkung No. 5 Km 2+340 s.d. Km 2+494 lintas Padang – Stasiun Pulau Aie, diperoleh hasil bahwa Kondisi geometri lintasan pada kecepatan eksisting 20 km/jam secara umum masih berada pada *Level of Safety* (LOS) 1–2, sehingga lintasan masih layak dioperasikan dengan tingkat risiko rendah dan memerlukan pemeliharaan preventif secara berkala. Pada kecepatan rencana 40 km/jam, terjadi peningkatan tingkat risiko keselamatan pada beberapa titik hingga Level 3 dan Level 4, terutama akibat penyimpangan peninggian rel dan anak panah lengkung yang melampaui batas toleransi. Hal ini menunjukkan lintasan belum sepenuhnya mampu mendukung peningkatan kecepatan operasi.

Pemeliharaan geometri difokuskan pada peninggian rel, lebar jalur, dan anak panah lengkung. Pada kecepatan eksisting 20 km/jam, lintasan masih

dapat dioperasikan dengan aman sehingga perawatan dilakukan secara preventif untuk menjaga stabilitas dan kenyamanan operasi. Namun, untuk mendukung kecepatan 40 km/jam diperlukan perbaikan lebih komprehensif, termasuk penyesuaian geometri lengkung dan kemungkinan penataan panjang lengkung peralihan, yang pelaksanaannya harus mempertimbangkan kondisi emplasemen dan prasarana eksisting.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya kepada dosen pembimbing serta instansi terkait yaitu Balai Teknik Perkeretaapian Kelas II Padang, PT KAI Divisi Regional II Sumatera Barat Institut Teknologi Padang (ITP) atas bimbingan, arahan, dan dukungan selama proses penelitian hingga penyusunan naskah.

Daftar Pustaka

- [1] B. Nugraha and A. D. Santoso, "Peran Transportasi Multimoda dalam Meningkatkan Konektivitas dan Efisiensi Logistik di Pulau Jawa," *Innovative: Journal Of Social Science Research*, vol. 5, no. 2, pp. 1935–1948, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.31004/innovative.v5i2.18379>.
- [2] A. Aghasta and A. W. Yudha, "Perencanaan Geometri Jalur Kereta Api Kecepatan Tinggi Lintas Bandung Cirebon Fase II (Cimalaka-Ligung) KM 33+850 – KM 67+000," *Civil Engineering Collaboration*, pp. 7–14, Oct. 2024, doi: 10.35134/jcivil.v9i2.75.
- [3] T. A. Karyanto, A. Tjitra Handayani, and V. Diana Anis Anggorowati, "Evaluasi Pengaruh Lengkung Kereta Api Terhadap Kecepatan Kereta Api (Studi Kasus Berbah Km. 157+121-Km. 157+632)," *EQUILIB*, vol. 01, no. 01, pp. 53–62, Jul. 2020, Accessed: Feb. 13, 2026. [Online]. Available: <https://journal.itny.ac.id/index.php/equilib/article/view/1667/990>
- [4] H. Rinaldi, "Pengaruh Lengkung Kereta Api Pada Kecepatan Kereta Api Di Jalan Pokok Bambu Kec. Beringin Lintas Medan – Araskabu (Studi Kasus)," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, vol. Vol 1, pp. 1–9, Dec. 2021, Accessed: Feb. 13, 2026. [Online]. Available: <https://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/download/833/pdf>

- [5] M. Sholihin, H. Dwiatmoko, and D. Septanto, "Perawatan lengkung di Km 2+2/400 Lintas Manggarai - Jatinegara," *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, vol. Volume IV, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.37367/jpi.v4i1.124>.
- [6] R. E. Wibisono and A. I. Irjayanti, "Evaluasi Pekerjaan Geser Lengkung Jalur Kereta Api (Studi Kasus: Lengkung Nomor 11 Km 8+303 Sampai Km 8+484 Wonokromo Surabaya)," *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 106–111, Sep. 2023, doi: [10.25139/jprs.v6i2.6406](https://doi.org/10.25139/jprs.v6i2.6406).
- [7] M. F. N. Luqman and R. E. Wibisono, "Evaluasi Skilu Rel Lengkung pada Elevasi Dibelakang Wesel 21A Sepanjang 3 Meter di Lokasi Stasiun Surabaya Pasarturi," *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, pp. 1–10, Jun. 2024, doi: [10.26740/mitrans.v1n1.p1-10](https://doi.org/10.26740/mitrans.v1n1.p1-10).
- [8] A. Kasraei and J. Ali Zakeri, "Maintenance Decision Support Model for Railway Track Geometry Maintenance Planning Using Cost, Reliability, and Availability Factors: A Case Study," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2676, no. 7, pp. 161–172, Jul. 2022, doi: [10.1177/03611981221077089](https://doi.org/10.1177/03611981221077089).
- [9] M. A. Yusuf, R. Roestaman, and E. Walujodjati, "Evaluasi Struktur Atas Komponen Jalan Rel dalam Kegiatan Reaktivasi Jalur Cibatuan Cikajang," *Jurnal Konstruksi*, vol. 20, no. 1, pp. 30–40, May 2022, doi: [10.33364/konstruksi/v.20-1.926](https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.20-1.926).
- [10] K. P. Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Indonesia: BN.2013/No.380, jdih.dephub.go.id: 6 hlm., 2012. Accessed: Feb. 13, 2026. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/147069/permenhub-no-60-tahun-2012>
- [11] I. P. Seraco and H. X. Ratton Neto, "Contribution to Railway Track Maintenance Planning from the Analysis of Dynamic Movements of Trains," *Civil Engineering Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 254–272, Feb. 2023, doi: [10.28991/CEJ-2023-09-02-02](https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-02-02).
- [12] M. Giunta and G. Leonardi, "Data-driven track geometry defects localization and strategies for preventive maintenance: a case study," *Transportation Research Procedia*, vol. 90, pp. 234–241, 2025, doi: [10.1016/j.trpro.2025.06.063](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.06.063).
- [13] A. Peinado Gonzalo, R. Horridge, H. Steele, E. Stewart, and M. Entezami, "Review of Data Analytics for Condition Monitoring of Railway Track Geometry," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 12, pp. 22737–22754, Dec. 2022, doi: [10.1109/TITS.2022.3214121](https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3214121).
- [14] P. R. Sri Atmaja, *Rekayasa Jalan Kereta Api*, 1st ed. Yogyakarta: Lembaga Penelitian, Publikasi & Pengabdian Masyarakat (LP3M) dan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2015. Accessed: Feb. 13, 2026. [Online]. Available: <https://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/32646/rekayasa%20jalan%20kereta%20api.pdf?sequence=1&isAllowed=n>
- [15] D. Parikesit *et al.*, *Jalan Rel*. Surabaya: Scopindo Media Pustaka, 2021.
- [16] N. Widyaningsih and P. Ayuningtyas, "Pengaruh Penambahan Jalur Terhadap Operasi Kereta Api Jarak Jauh (Studi Kasus: Proyek Double Double Track Paket B, Emplasemen Stasiun Bekasi Km25+000 sampai dengan Km 27+400)," *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, vol. 6, Apr. 2022, Accessed: Feb. 13, 2026. [Online]. Available: <https://jurnal.ppi.ac.id/jpi/article/download/196/135/931>
- [17] Direktorat Jenderal Perkeretaapian, *Pedoman Pemeriksaan dan Perawatan Jalur Kereta Api*. Indonesia, 2024.
- [18] P. YALINIZ and S. İÇA, "Yol Geometrisi Kalitesinin Standart Sapma Yöntemi ve Kalite Endeksleri İle Değerlendirilmesi: Kütahya-Afyonkarahisar Hattı Örneği," *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, vol. 20, no. 6, pp. 1068–1078, Dec. 2020, doi: [10.35414/akufemubid.684336](https://doi.org/10.35414/akufemubid.684336).
- [19] H. Yudariansyah, I. Ismiyati, and A. Narendera, "Prediction Model for Track Quality Index Categories on the Northern and Southern Railway Lines of Java," *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 53, no. 2, pp. 184–193, Feb. 2025, doi: [10.3311/PPtr.38115](https://doi.org/10.3311/PPtr.38115).
- [20] H. Yudariansyah, I. Ismiyati, and A. Narendera, "Prediction Model for Track Quality Index Categories on the Northern and Southern Railway Lines of Java," *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, vol. 53, no. 2, pp. 184–193, Feb. 2025, doi: [10.3311/PPtr.38115](https://doi.org/10.3311/PPtr.38115).
- [21] M. Rodríguez-Hernández, A. Crespo-Márquez, A. Sánchez-Herguedas, and V. González-Prida, "Digitalization as an Enabler in Railway Maintenance: A Review from 'The

International Union of Railways Asset Management Framework' Perspective," *Infrastructures (Basel)*., vol. 10, no. 4, p. 96, Apr. 2025, doi: 10.3390/infrastructures10040096.

- [22] Coenraad. Esveld, *Modern railway track*, vol. 385. Zaltbommel: MRT-Productions, 2001.