

# IDENTIFIKASI GEOMETRI LENGKUNG REL PADA JALUR EKSISTING MENGGUNAKAN DATA GEOSPASIAL DAN SURVEI LAPANGAN (STUDI KASUS KERETA API MAKASSAR – PARE-PARE)

Nur Muhammad Iskandar<sup>1\*</sup>, Hakim Duppa<sup>2</sup>, Nurul Azmi Ridha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Pepabri Makassar

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Pepabri Makassar

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Pepabri Makassar

<sup>1\*</sup>@upepabri@gmail.com

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kondisi geometri lengkung rel pada jalur eksisting Makassar–Pare-pare, khususnya pada Petak Maros–Rammang-Rammang (KM 18+984 – KM 23+672). Segmen ini memiliki karakteristik topografi yang bervariasi, meliputi perbukitan dan kawasan karst, sehingga berpotensi menimbulkan penyimpangan terhadap standar geometri jalur kereta api. Data yang digunakan terdiri atas data geospasial berupa Digital Elevation Model (DEM) dan shapefile jalur rel, serta data hasil survei lapangan menggunakan Total Station dan GPS Geodetik. Analisis dilakukan terhadap tiga parameter utama geometri lengkung, yaitu radius lengkung ( $R$ ), peninggian rel ( $h$ ), dan versine ( $V$ ). Nilai radius dihitung menggunakan metode Hallade, sedangkan nilai peninggian dihitung berdasarkan hubungan antara kecepatan rencana dan radius sesuai Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2012.

Hasil analisis menunjukkan tingkat kesesuaian geometri rel eksisting terhadap standar teknis nasional, sekaligus mengidentifikasi titik-titik lengkung yang mengalami deviasi signifikan. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam peningkatan keselamatan dan kenyamanan operasi kereta api di wilayah Sulawesi Selatan, serta menjadi acuan teknis dalam evaluasi geometri jalur rel pada daerah bertopografi kompleks.

**Kata Kunci:** Geometri Lengkung Rel, Peninggian, Versine, Metode Hallade, Data Geospasial, Survei Lapangan

**Abstract:** This study aims to identify and analyze the geometric conditions of existing railway curves along the Makassar–Pare-pare line, particularly in the Maros–Rammang-Rammang section (KM 18+984 – KM 23+672). This segment features varied topographic conditions, including hilly and karst landscapes, which may lead to deviations from the national railway geometry standards. The research utilizes geospatial data, including Digital Elevation Model (DEM) and railway shapefile, combined with field measurements conducted using a Total Station and Geodetic GPS. The analysis focuses on three main geometric parameters: curve radius ( $R$ ), rail cant ( $h$ ), and versine ( $V$ ). The curve radius was calculated using the Hallade Method, while the rail superelevation was derived based on the relationship between design speed and radius, following the Indonesian Ministry of Transportation Regulation No. 60 of 2012.

The results reveal the level of conformity of the existing track geometry to the national standards and identify specific curve points exhibiting significant deviations. This study contributes to improving railway safety and comfort in South Sulawesi and serves as a technical reference for evaluating railway track geometry in complex topographic areas.

**Keywords:** Railway Curve Geometry, Superelevation, Versine, Hallade Method, Geospatial Data, Field Survey

## I. PENDAHULUAN

Pembangunan dan pengembangan jaringan perkeretaapian di Indonesia, khususnya di Pulau Sulawesi, merupakan bagian dari strategi nasional dalam meningkatkan konektivitas wilayah, efisiensi transportasi, dan pemerataan pembangunan. Jalur kereta api Makassar–Parepare merupakan jalur kereta api pertama di Pulau Sulawesi yang dibangun dengan standar internasional lebar rel 1435 mm dan menjadi bagian penting dari proyek strategis nasional jalur Trans-Sulawesi.

Dalam sistem perkeretaapian, aspek geometri jalur rel memiliki peranan yang sangat penting terhadap keselamatan, kenyamanan, dan efisiensi operasi kereta api [1]. Geometri jalur rel meliputi alinyemen horizontal, alinyemen vertikal, lebar rel, serta elevasi rel. Salah satu aspek yang paling kritis adalah geometri lengkung horizontal, karena pada bagian ini timbul gaya sentrifugal yang secara langsung mempengaruhi stabilitas rangkaian kereta [2].

Pada jalur eksisting, khususnya pada wilayah dengan topografi kompleks seperti daerah perbukitan dan kawasan karst, sering dijumpai penyimpangan geometri lengkung dari standar teknis yang berlaku [3]. Penyimpangan tersebut dapat berupa radius lengkung yang terlalu kecil, peninggian rel yang tidak sesuai, serta transisi lengkung yang tidak optimal [4]. Kondisi ini berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan, ketidaknyamanan penumpang, serta mempercepat degradasi struktur rel [5].

Petak Maros–Rammang–Rammang merupakan salah satu segmen jalur Makassar–Parepare yang memiliki karakteristik topografi yang kompleks, sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan geometri jalur. Oleh karena itu, diperlukan kajian teknis yang sistematis untuk mengidentifikasi kondisi geometri lengkung rel pada jalur eksisting [6].

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah integrasi data geospasial dan survei lapangan [7]. Data geospasial memberikan gambaran makro mengenai trase jalur, sedangkan survei lapangan memberikan data presisi tinggi mengenai kondisi aktual rel [8]. Kombinasi kedua pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan evaluasi geometri lengkung rel yang akurat, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. [9]

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah integrasi data geospasial dan survei lapangan [10]. Data geospasial memberikan gambaran makro mengenai trase jalur, sedangkan survei lapangan memberikan data presisi tinggi mengenai kondisi aktual rel [11]. Kombinasi kedua pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan evaluasi geometri lengkung rel yang akurat, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah [12].

## II. METODOLOGI

### A. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif, karena seluruh data yang dianalisis bersifat numerik dan dapat diukur secara objektif. Pendekatan ini bertujuan untuk menggambarkan kondisi geometri lengkung rel eksisting pada jalur Makassar–Parepare, khususnya di Petak Maros–Rammang–Rammang, melalui pengolahan dan perbandingan data hasil pengukuran dengan standar teknis nasional.

Jenis penelitian ini adalah deskriptif-kuantitatif, yaitu menggambarkan fenomena atau kondisi yang ada di lapangan tanpa melakukan manipulasi variabel. Analisis dilakukan

terhadap hasil pengukuran radius lengkung, peninggian rel, dan *versine* yang diperoleh dari data geospasial serta survei lapangan, kemudian dibandingkan dengan ketentuan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api.

Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran yang akurat dan terukur mengenai tingkat kesesuaian geometri rel terhadap standar nasional, serta mengidentifikasi deviasi yang berpotensi memengaruhi keselamatan dan kenyamanan operasi kereta api.

### B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Petak Jalan Maros – Rammang-Rammang jalur kereta api Trans-Sulawesi antara Kabupaten Maros dan Pangkajene Kepulauan (Pangkep) tepatnya Petak Maros – Rammang-Rammang Km 18+984 - Km 23+672, Sulawesi Selatan. Jalur sepanjang sekitar 59,6 km ini merupakan bagian fase pertama dari jalur Makassar–Parepare yang mulai dioperasikan terbatas sejak Oktober 2022 dan resmi pada Desember 2022. Lokasi penelitian mencakup beberapa titik kurva dan lengkungan di dekat lokasi stasiun Maros dan Rammang-Rammang, lokasi-lokasi ini dipilih karena menjadi kunci dalam analisis geometri trek dan pengaruh kondisi topografi lokal.

Pelaksanaan survei lapangan dijadwalkan pada bulan Juli hingga September 2025, momen yang dipilih setelah jalur telah beroperasi penuh secara komersial sejak Maret 2023. Periode ini dianggap tepat karena kondisi rel dan struktur jalur telah stabil setelah peluncuran awal, memungkinkan pengambilan data radius lengkung, peninggian, dan *versine* yang akurat dan representatif terhadap keadaan nyata.

Analisis data geospasial mencakup pengumpulan dan pengolahan data *shapefile rute*, *model elevasi digital (DEM)*, serta citra satelit terbaru, dengan fokus pada area penelitian di Petak Maros – Rammang-Rammang. Data ini kemudian divalidasi melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat seperti *measuring tape*, *waterpass*, dan *total station*. Data tersebut dianalisis untuk menilai kesesuaian kondisi aktual dengan standar teknis geometri rel sesuai Permenhub No. 60 Tahun 2012.

Dengan pemilihan lokasi yang strategis meliputi segmen berbukit, dataran karst, dan lintasan melewati area wisata penelitian ini diharapkan mewakili karakteristik geometri rel pada jalur eksisting di Sulawesi Selatan. Secara spesifik, penelitian ini mengevaluasi sebaran lengkungan kurva dan variabel geometrinya di jalur yang baru beroperasi secara penuh. Hal ini penting sebagai dasar penyusunan rekomendasi teknis perbaikan dan optimasi pemeliharaan rel.

### C. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data sebagai berikut:

#### I. SURVEI LAPANGAN MANUAL MENGGUNAKAN TOTAL STATION

Pengukuran radius, *versine*, peninggian dilakukan dengan total station — sebuah alat survei elektro-optik yang mengkombinasi *theodolite*, *EDM*, dan penyimpanan data elektronik. Teknik ini sangat akurat, mampu mencatat sudut horizontal dan vertikal serta jarak dengan presisi tinggi ( $\pm 1-5$  arc-seconds/ $\pm 1.5$  mm pada 1.500 m).

## II. PENGUKURAN VERSINE DENGAN METODE HALLADE

Untuk menghitung radius lengkung, digunakan metode *Hallade* dengan *chord* panjang standar ( $\pm 20\text{--}30$  m).

## III. PENGUKURAN NON-KONTAK (OPSIONAL)

*Track Geometry Car* Jika tersedia akses operasional, digunakan *track geometry car* (kereta inspeksi geometri), yang dilengkapi *sensor laser*, *accelerometer*, dan *gyroscope*. Alat ini dapat merekam data *gauge*, *cross-level*, alignment, dan smoothness rel secara kontinu tanpa mengganggu operasi jalur.

## IV. TEKNIK ANALISIS DATA

### 1. Statistik Deskriptif

Menghitung nilai rata-rata, minimum, maksimum, dan deviasi standar untuk parameter geometri (radius, peninggian, *versine*).

### 2. Perbandingan dengan Standar Regulasi

Hasil Pengukuran dibandingkan dengan persyaratan teknis Permenhub No. 60 Tahun 2012 dengan pedoman geometri rel nasional.

### 3. Index Kualitas Rel (Opsional)

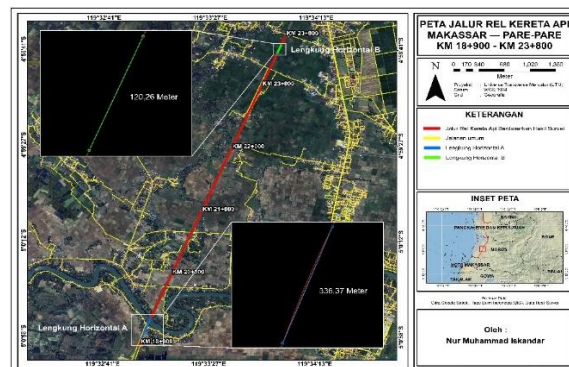
Apabila data memadai, dihitung *Track Quality Index (TQI)* sebagai indikator tambahan untuk menilai Tingkat kualitas lintasan.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Deskripsi Responden

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan data pengukuran *Total Station*, jalur rel pada segmen ini terdiri atas beberapa lengkung horizontal dengan radius bervariasi antara 500 hingga 1200 meter. Dua lengkung utama yang menjadi fokus penelitian adalah Lengkung Horizontal A di sekitar KM 18+900 dan Lengkung Horizontal B di sekitar KM 23+800. Kedua lengkung ini dipilih karena memiliki bentuk geometri yang jelas, mudah diakses untuk pengukuran.

Peta lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1, yang menampilkan hasil penggambaran jalur rel berdasarkan data pengukuran lapangan dan peta geospasial hasil pengolahan citra satelit.



Gambar 1. Peta Jalur Rel Kereta Api Makassar-Pare-Pare KM 18+900 – KM 23+800  
Sumber: Data Survei Lapangan, Google Satellite (2025), Rupa Bumi Indonesia (BIG), dan data diolah peneliti

### B. Deskripsi Data dan Analisis Awal

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui dua jenis pengukuran lapangan, yaitu pengukuran koordinat tiga dimensi (X, Y, Z) menggunakan *Total Station*, serta pengukuran geometri lengkung rel dengan metode *Hallade*. Kedua data tersebut digunakan secara terpadu untuk mengetahui kondisi eksisting geometri lengkung rel pada petak Maros–Rammang-Rammang, khususnya pada segmen KM 18+984 hingga KM 23+672 yang memiliki dua lengkung utama, yakni Lengkung A dan Lengkung B.

Pengukuran dengan *Total Station* dilakukan untuk memperoleh data posisi rel secara horizontal dan vertikal. Data koordinat hasil pengukuran direkam dalam bentuk titik X, Y, Z pada setiap kepala rel luar dan dalam dengan interval pengamatan 10–20 meter. Data ini digunakan untuk menentukan selisih elevasi antar kepala rel, yang selanjutnya dipakai dalam perhitungan peninggian rel (*superelevation*). Selain itu, data koordinat tersebut juga digunakan untuk menggambarkan lintasan aktual jalur rel terhadap peta dasar, sehingga dapat diketahui arah, kemiringan, dan posisi segmen lengkung terhadap kondisi topografi sekitar.

Pengukuran metode *Hallade* digunakan untuk memperoleh nilai *versine* secara langsung di lapangan. Pengukuran dilakukan dengan menarik chord sepanjang 20 meter, kemudian diukur jarak tegak lurus dari titik tengah *chord* ke kepala rel untuk mendapatkan nilai *versine*. Nilai *versine* yang diperoleh digunakan untuk menghitung radius lengkung (R) menggunakan persamaan *Hallade* sebagai berikut:

$$R = \frac{C^2}{8v_s} + \frac{v_s}{2}$$

Keterangan:

R= jari-jari lengkung (m)

C= panjang *chord* (m)

$v_s$ = nilai *versine* hasil pengukuran (m)

Setelah nilai radius diperoleh, dilakukan perhitungan peninggian rel (h) berdasarkan data elevasi hasil pengukuran *Total Station*. Peninggian aktual (selisih Z rel luar dan dalam) dibandingkan dengan peninggian ideal yang dihitung menggunakan kecepatan rencana (V) sesuai Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012, dengan rumus:

$$h = 11.8 \times \frac{V^2}{R}$$

Keterangan:

h= peninggian ideal (mm)

V= kecepatan rencana (km/jam)

R= jari-jari lengkung (m)

Perbandingan antara nilai peninggian aktual (hasil pengukuran koordinat Z) dan peninggian ideal (hasil perhitungan) digunakan untuk menilai kesesuaian kondisi geometri rel terhadap standar jalur kelas I.

### C. Kesesuaian Parameter Geometri Lengkung Rel tersebut Terhadap Standar Teknis Nasional Sesuai Permenhub No. 60 Tahun 2012

Hasil pemeriksaan geometri pada Lengkung A menunjukkan radius lengkung sebesar 3.000 meter, panjang lengkung 112 meter, dan peninggian maksimum 70 mm. Berdasarkan Permenhub No. 60 Tahun 2012, nilai radius tersebut sudah memenuhi ketentuan minimal untuk kecepatan 160 km/jam. Peninggian rel yang direncanakan sebesar 70 mm juga masih berada dalam batas maksimum 150 mm yang diperbolehkan.

Variasi peninggian antar titik menunjukkan perubahan yang halus di bawah 10 mm, sehingga memenuhi kriteria transisi yang nyaman. Namun, hasil pengukuran anak panah aktual menunjukkan deviasi di beberapa titik, di mana nilai mencapai lebih dari 20 mm sementara toleransi yang diizinkan hanya  $\pm 5$  mm terhadap nilai desain 17 mm. Hal ini mengindikasikan perlunya penyesuaian kecil pada profil rel agar keselarasan geometri sesuai dengan desain.

Secara umum, Lengkung A memenuhi standar teknis nasional, namun memerlukan perataan (*reprofiling*) di beberapa titik untuk memastikan kenyamanan dan keselamatan operasi kereta. Berdasarkan hasil pemeriksaan geometri pada Lengkung B, diketahui bahwa radius lengkung sebesar 10.000 meter dengan peninggian maksimum 21 mm dan panjang lengkung 34 meter. Mengacu pada Permenhub No. 60 Tahun 2012, nilai radius tersebut telah jauh melebihi batas minimum yang disyaratkan untuk kecepatan 160 km/jam, yaitu 2.800 meter. Peninggian rel yang terukur menunjukkan nilai yang relatif kecil dan bertahap, menandakan kondisi lengkung yang datar dan nyaman untuk dilalui kereta berkecepatan tinggi.

Nilai anak panah aktual berkisar antara 0–6 mm dengan nilai desain 5 mm, sehingga masih berada dalam batas toleransi  $\pm 5$  mm yang diperbolehkan. Meskipun panjang lengkung peralihan 34 meter tergolong pendek dibandingkan standar ideal untuk kecepatan 160 km/jam, kondisi ini masih dapat diterima karena radius yang besar menghasilkan gaya sentrifugal kecil. Secara keseluruhan, geometri Lengkung B dinyatakan memenuhi standar teknis nasional dan layak untuk operasi tanpa memerlukan perbaikan signifikan.

### D. Deviasi Antara Data Eksisting Dengan Nilai Standar

Untuk Lengkung A, radius lengkung 3.000 m masih berada sedikit di atas batas minimum 2.800 m, sehingga deviasi radius terhadap standar hanya +200 m, dinilai sangat baik. Nilai peninggian aktual berkisar antara 0–70 mm, sedangkan batas maksimum peninggian yang diizinkan adalah 150 mm, sehingga tidak ada pelanggaran; deviasi hanya –80 mm dari batas maksimum. Namun, deviasi yang paling mencolok terdapat pada anak panah (AP). Nilai desain AP adalah 17 mm, sementara hasil pengukuran menunjukkan variasi 1–22 mm, sehingga terdapat deviasi maksimum sekitar +5 mm di beberapa titik, sedikit melebihi toleransi  $\pm 5$  mm yang diizinkan. Oleh karena itu, deviasi terbesar pada Lengkung A berada pada parameter anak panah, sementara parameter lain (radius, peninggian, dan lebar spoor) masih dalam batas standar yang ditentukan.

Pada Lengkung B, radius desain adalah 10.000 m, jauh di atas batas minimum standar 2.800 m (Permenhub No. 60 Tahun 2012), sehingga tidak terdapat deviasi terhadap radius standar. Peninggian rel aktual berkisar antara 0–21 mm, sedangkan standar maksimum peninggian untuk kecepatan 160 km/jam adalah 150 mm, sehingga deviasinya hanya sekitar –129 mm dari batas maksimum, artinya masih sangat aman. Anak panah (*versine*) aktual berkisar 0–6 mm, sedangkan desainnya 5 mm dan toleransi yang diizinkan  $\pm 5$  mm. Dengan demikian, deviasi maksimum terhadap desain hanya  $\pm 1$  mm, dan seluruh nilai anak panah masih berada dalam rentang standar. Jadi, deviasi geometri Lengkung B tergolong sangat kecil, menunjukkan kondisi geometri rel yang masih sesuai dengan spesifikasi teknis nasional.

## IV. KESIMPULAN

Geometri lengkung rel pada segmen penelitian menunjukkan variasi yang signifikan, di mana sebagian besar segmen telah memenuhi standar teknis yang berlaku, namun masih terdapat beberapa titik kritis yang mengalami deviasi dan memerlukan perbaikan, sehingga diperlukan rekomendasi teknis yang terarah dan sistematis untuk optimalisasi geometri rel guna meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan kinerja operasional jalur kereta api.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, dosen pembimbing, pihak universitas, instansi perkeretaapian, serta keluarga dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association. (2020). *Manual for Railway Engineering, Volume 1 – Track Geometry*. AREMA Publications.
- [2] Erdiana, Y. F., & Zhafirah, A. (2023). Penilaian *Track Quality Index* jalan rel Rancaekek–Haurpugur. *Jurnal Konstruksi*, 21(1), 55–60.
- [3] Fistcar, W. A., Widyastuti, H., Iranata, D., & Prastyanto, C. A. (2021). Pengaruh parameter TQI terhadap perilaku bantalan beton. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 19(1), 32–40.
- [4] Hikmatul Fatimah, N. (2019). *Kajian geometrik reaktivasi jalur kereta api Cianjur–Bandung berbasis GPS, citra satelit, dan DTM* (Skripsi S1). Universitas Pendidikan Indonesia.
- [5] Indian Railways. (2021). *Permanent Way Manual (IRPWM), Chapter II – Track Geometry*. Ministry of Railways, Government of India.
- [6] Karunianingrum, D. I. (2020). *Tinjauan volume pemeliharaan tahunan jalan rel berdasarkan hasil TQI (studi kasus: Manggarai–Bogor)*. Universitas Indonesia.
- [7] Karunianingrum, D. I., & Widyastuti, H. (2020a). Kualitas indeks geometri sebagai indikator penilaian *track* (studi kasus: Cirebon–Cikampek). *Jurnal Transportasi: Sistem, Material, dan Infrastruktur*, 22(3), 155–165.
- [8] Karunianingrum, D. I., & Widyastuti, H. (2020b). Penilaian indeks kualitas jalan rel berdasarkan standar perkeretaapian Indonesia (studi kasus: Cirebon–Cikampek). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 1–10.
- [9] Khisty, C. J., & Lall, B. K. (2003). *Dasar-dasar rekayasa transportasi* (Edisi ke-3). Jakarta: Erlangga.
- [10] Muhtarom, Z., & Ratih, S. Y. (2021). Analisis kondisi jalan rel kereta api pada lintas Sragen–Solo berdasarkan nilai *Track Quality Index (TQI)*. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 45–52.
- [11] Nurwanda Sari, N., Bustam, H. A., Setyaji, A., Pamursari, N., & Zhafari, R. (2024). Perencanaan geometri jalan rel antara Tarahan–Bakauheni. *PENDIPA Journal of Science Education*, 8(1), 21–30.
- [12] Oktavia, A., Michael, M., & Situmeang, M. J. (2023). Perencanaan desain geometri jalan rel rute Rejosari–Tarahan. *CIVED Journal of Civil Engineering and Vocational Education*, 10(2), 730–737.
- [13] Pemerintah Republik Indonesia. (2012). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Jakarta: Kementerian Perhubungan.
- [14] PT Kereta Api Indonesia. (2023). *Data dan panduan teknis track geometry trolley* (Dokumen internal). Bandung: PT KAI.

- [15] Satryo, M. B. (2019). *Evaluasi reaktivasi geometri jalan rel kereta api terhadap tingkat pelayanan lintas Banjar–Pangandaran berbasis citra satelit, DTM dan GPS* (Skripsi S1). Universitas Pendidikan Indonesia.
- [16] Setyowati, S., Setyawan, A., & Djumari. (2019). Evaluasi geometri dan perlengkapan jalan lingkaran Leuwiliang Bogor. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4(2), 149–168.
- [17] Sulistyono, A. N. (2023). Tinjauan perencanaan trase jalan KA lintas Makassar–Pare–Pare (Km 71+900–73+600). *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, 4(1), 44–52.
- [18] Suryadilaga, M., Aghastya, A., & Danartini, R. S. (2023). Perencanaan geometri jalur kereta api kecepatan tinggi lintas Cirebon–Semarang fase I menggunakan *AutoCAD Civil 3D*. *Jurnal Transportasi*, 23(2), 112–120.