



DISERTASI

**MODEL PREDIKSI KATEGORI PERAWATAN
PRASARANA JALAN REL DI PULAU JAWA**

Oleh:
Hadi Yudariansyah
NIM : 21010120520007

Diajukan sebagai Bahan Ujian Tertutup
dan sebagai Salah Satu Syarat dalam Memperoleh Gelar Doktor Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

AGUSTUS 2025

HALAMAN PENGESAHAN



DISERTASI

MODEL PREDIKSI KATEGORI PERAWATAN PRASARANA JALAN REL DI PULAU JAWA

Oleh:

Hadi Yudariansyah
NIM: 21010120520007

Diajukan sebagai Bahan Ujian Tertutup
dan sebagai Salah Satu Syarat dalam Memperoleh Gelar Doktor Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Semarang, Agustus 2025
Mahasiswa,

Hadi Yudariansyah
NIM. 21010120520007

Menyetujui:

Promotor

Dr. Ir. Ismiyati, M.S.

Ko-Promotor

Dr. Ir. Alfa Narendra, S.T., M.T., IPU.

Mengetahui,
Ketua Program Doktor Ilmu Teknik Sipil

Ilham Nurhuda, S.T., M.T., PhD
NIP. 197602252000121001

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Disertasi ini telah diperbaiki, dan disempurnakan berdasarkan masukan, dan koreksi dari Tim Penguji pada saat Ujian Tertutup Disertasi tanggal 15 Agustus 2025 di Program Doktor Ilmu Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Semarang, Agustus 2025
Mahasiswa,



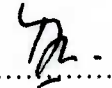
Hadi Yudariansyah
NIM. 21010120520007

Disetujui oleh Tim Penguji Disertasi pada tanggal:.....

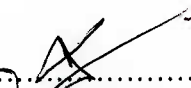
1. Ilham Nurhuda, S.T., M.T., Ph.D


(.....)

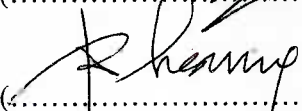
2. Dr. Ir. Ismiyati, MS


(.....)

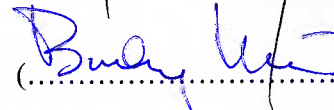
3. Dr. Ir. Alfa Narendra, S.T., M.T., IPU


(.....)

4. Prof. Bagus Hario Setiadji, S.T., M.T., Ph.D


(.....)

5. Prof. Dr. Ir. Bambang Haryadi, M.Sc


(.....)

Mengetahui,
Ketua Program Doktor Ilmu Teknik Sipil FT UNDIP

Ilham Nurhuda, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197600225000121001

KATA PENGANTAR

Disertasi dengan judul “**Model Prediksi Kategori Perawatan Prasarana Jalan Rel di Pulau Jawa**” ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat yang harus ditempuh mahasiswa Doktor Ilmu Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.

Dengan kesungguhan serta kerendahan hati, promovendus mengucapkan terima kasih kepada:

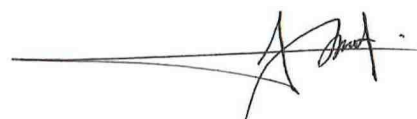
1. Ilham Nurhuda, S.T., M.T., Ph.D selaku penguji dan Ketua Program Studi Doktor Teknik Sipil yang telah memberikan masukan, saran, dan tanggapan dalam penulisan naskah disertasi.
2. Dr. Ir. Ismiyati, M.S. selaku Promotor yang telah memberikan pengarahan, bimbingan dengan baik, dan jelas.
3. Dr. Ir. Alfa Narendra, S.T., M.T., IPU selaku Ko-Promotor yang selalu kebersamai, memberikan pengarahan, bimbingan dengan hati, baik, dan jelas.
4. Prof. Bagus Hario Setiadji, S.T., M.T., Ph.D selaku penguji yang telah memberikan nasehat, dan masukan untuk kelengkapan naskah disertasi.
5. Prof. Dr. Ir. Bambang Haryadi, M.Sc selaku penguji eksternal yang telah memberikan saran, tanggapan, koreksi, dan masukan untuk kelengkapan naskah disertasi.
6. Orang tua, keluarga, saudara dan rekan-rekan mahasiswa Doktor Ilmu Teknik Sipil yang selalu memberi semangat, motivasi belajar, dan bekerja bersama.

Promovendus menyadari sepenuhnya bahwa dalam pengerjaan disertasi ini masih banyak kekurangan sehingga disertasi ini masih jauh dari sempurna, hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penyusun.

Akhir kata promovendus mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna kesempurnaan di naskah mendatang, serta penyusun berharap semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Semarang, Agustus 2025

Penyusun,



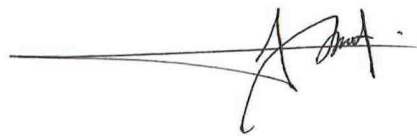
Hadi Yudariansyah
NIM. 21010120520007

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Yang bertanda tangan di bawah ini, Hadi Yudariansyah, dengan ini menyatakan bahwa disertasi yang berjudul “**Model Prediksi Kategori Perawatan Prasarana Jalan Rel di Pulau Jawa**” adalah karya saya sendiri dan belum pernah serta tidak sedang diajukan untuk mendapatkan gelar akademik dimanapun.

Disertasi ini sepenuhnya karya saya, setiap informasi yang ditulis dalam disertasi ini yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yaitu mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam disertasi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam disertasi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Semarang, Agustus 2025
Penulis,

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, positioned above the printed name.

Hadi Yudariansyah
NIM. 21010120520007

ABSTRAK

Perawatan merupakan fase terpanjang setelah konstruksi selesai dibangun dan dioperasikan. Gambaran awal jalur kereta api membutuhkan perawatan dapat dilihat dari nilai kualitas jalan rel. Perawatan jalan rel dapat diajukan berdasarkan data kategori *track quality index* (TQI). Kondisi saat ini kereta ukur jalan rel yang beroperasi di Pulau Jawa hanya satu unit yaitu EM-120 milik PT. Kereta Api Indonesia (Persero). Jalur kereta api yang diukur oleh kereta ukur jalan rel setiap tahun mengalami penurunan panjang jalur kereta api terukur, pada tahun 2019 persentase jalur kereta api diukur sebesar 66,90% sedangkan 33,10% belum terukur sehingga tidak semua jalur kereta api memiliki data TQI. Untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan prediksi terhadap jalur-jalur kereta api yang tidak terukur kereta ukur jalan rel, guna memperoleh data TQI, sehingga pengajuan perawatan dapat dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model prediksi kategori TQI berdasarkan masukan data TQI ukur manual dengan basis data TQI hasil kereta ukur jalan rel pada berbagai parameter geometri bagian jalan rel. Dalam waktu yang lebih singkat, mudah, dan dapat dipertanggungjawabkan. Analisis yang digunakan berbasis besarnya standar deviasi geometri jalan rel meliputi pertinggian, angkatan, listring, dan lebar sepur. Wesel, jembatan, perlintasan, lurus dan lengkung merupakan variabel prediksi yang diklasifikasikan. Teknik *machine learning* diadopsi dengan data *training* 80% acak dari *dataset* dan sisanya data uji untuk menghasilkan prediksi kategori TQI. Sebanyak 233,175 data TQI dari tahun 2019-2022 digunakan untuk membangun dan memvalidasi model.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model prediksi kategori TQI 2, 3, 4, dan 1 memiliki akurasi sebesar 96,09% yang dipengaruhi oleh variabel kategori TQI, dan sisanya 3,91% dipengaruhi variabel diluar penelitian ini. Model prediksi kategori TQI yang dibangun memiliki akurasi model sangat signifikan secara statistik, sehingga dapat diandalkan secara praktis, di jalur kereta api Pulau Jawa.

Kata kunci: Kategori, *track quality index*, *machine learning*, prediksi

ABSTRACT

Maintenance is the longest phase following the completion of construction and the commencement of operations. An initial indication that a railway track requires maintenance can be observed through the track quality values. Railway track maintenance can be proposed based on data categorized under the Track Quality Index (TQI). Currently, the track recording car operating on Java Island is limited to a single unit, the EM-120, owned by PT. Kereta Api Indonesia (Persero). Over the years, the total length of railway tracks measured annually by the track recording car has decreased. In 2019, only 66.90% of the railway tracks were measured, leaving 33.10% unmeasured, resulting in the absence of TQI data for certain railway sections. To address this issue, it is necessary to predict TQI for unmeasured railway tracks to obtain comprehensive data, enabling the submission of maintenance proposals.

This study aims to develop a predictive model for TQI categories based on manually measured TQI data combined with the TQI dataset generated by track recording cars across various railway sections. The proposed model seeks to provide faster, more straightforward, and reliable results. The analysis is based on the standard deviation of track geometry parameters, including superelevation, levelling, lining, and track gauge. Turnouts, bridges, crossings, straight sections, and curves are classified as predictive variables. A machine learning technique is adopted, utilizing 80% of the dataset as training data and the remaining 20% for testing. A total of 233,175 TQI data points from 2019 to 2022 were employed to construct and validate the model.

The results of this study indicate that the predictive model for TQI Categories 2, 3, 4, and 1 achieves an accuracy of 96.09%, influenced primarily by TQI categories variables. The remaining 3.91% variation is attributed to variables beyond the scope of this research. The developed TQI category prediction model demonstrates statistically significant accuracy, confirming its practical reliability for application across Java Island's railway network.

Keywords: Categories, Track Quality Index, Machine Learning, Prediction

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA	iv
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN, DAN NOTASI	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Perumusan Masalah.....	5
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Kebaruan	6
1.6 Manfaat Penelitian.....	11
1.7 Ruang Lingkup Penelitian.....	12
1.8 Sistematika Penulisan.....	12
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA PIKIR.....	14
2.1 Pendahuluan	14
2.1.1 Kondisi Umum Infrastruktur Jalan Kereta Api.....	14
2.1.2 Struktur Organisasi Perkeretaapian di Indonesia	17
2.2 Perawatan Jalur Kereta Api.....	18
2.2.1 Definisi Perawatan Jalan Rel	18
2.2.2 Klasifikasi Perawatan Jalur Kereta Api	19
2.3 Perawatan Jalan Rel.....	21
2.3.1 Perawatan Geometri.....	25
2.3.2 Perawatan Pada Komponen Jalan Rel.....	30
2.4 Manajemen Perawatan Jalan Rel di Indonesia	36

2.4.1 Usulan Biaya Perawatan Jalan Rel.....	36
2.4.2 Perawatan Jalan Rel	39
2.4.3 Waktu Perawatan Jalan Rel.....	39
2.5 Perawatan Jalur Kereta Api Tahunan.....	40
2.6 Sistem Perawatan Jalur Kereta Api.....	42
2.7 Siklus Perawatan Jalur Kereta Api Berdasarkan Beban Lintas.....	43
2.8 Pemeriksaan.....	44
2.9 Struktur Jalan Rel	46
2.9.1 Sub Grade.....	47
2.9.2 Lapisan Batu Batu Balas	48
2.9.3 Bagian Rel.....	49
2.10 Bagian Jalan Rel.....	50
2.10.4 Wesel (<i>Turn Out</i>)	50
2.10.5 Jembatan.....	52
2.10.6 Perlintasan	53
2.10.7 Lurusan.....	54
2.10.8 Lengkung.....	55
2.11 Kerusakan Jalur Kereta Api	55
2.11.1 Kerusakan Jalan Rel	55
2.11.2 Kerusakan Material Jalan Rel.....	56
2.11.3 Kerusakan Rel	56
2.11.4 Kerusakan Bantalan & Alat Penambat.....	57
2.11.5 Kerusakan Batu Balas	58
2.11.6 Kerusakan Geometri.....	59
2.12 <i>Track Quality Index</i> (TQI)	59
2.13 Kereta Ukur Jalan Rel	62
2.14 Statistik.....	64
2.14.1 Hipotesis.....	65
2.14.2 <i>Error Type</i> 1, dan 2	66
2.14.3 Exploratory Data Analysis (EDA)	69
2.14.4 Uji Normalitas	69
2.14.5 Uji Beda.....	70

2.14.6	<i>Outlier</i>	71
2.14.7	Multikolinearitas	72
2.14.8	Autokorelasi	74
2.14.9	Heteroskedastisitas	75
2.15	Variabel	75
2.16	Data Split.....	76
2.17	Pemodelan <i>Multinomial</i>	77
2.17.1	Model	77
2.17.2	Pemodelan	78
2.17.3	Regresi.....	78
2.17.4	Regresi Linear	78
2.17.5	Regresi Non-Linear (<i>Logistic</i>).....	79
2.17.6	Validasi Model	81
2.17.7	Software RStudio	81
2.18	Kerangka Berpikir	82
BAB 3 METODE PENELITIAN		84
3.1	Prosedur Penelitian.....	84
3.2	Variabel Penelitian	86
3.3	Pengumpulan Data	87
3.4	Metode Pengumpulan Data	87
3.5	Teknik Analisis Data	88
3.6	Data <i>Mining</i> dengan Software RStudio.....	91
3.7	Pemodelan	93
3.8	Luaran Model Penelitian	95
3.9	Verifikasi	95
3.10	Kalibrasi Model.....	95
3.11	Validasi Model	95
3.12	Lokasi Penelitian	96
BAB 4 PENGOLAHAN DATA.....		98
4.1	Data Jalan Rel Lintas Raya dan Lintas Cabang di Pulau Jawa	99
4.2	Variabel Data TQI Hasil KUJR di Pulau Jawa	102
4.2.1	TQI Hasil KUJR Daerah Operasi di Pulau Jawa	102

4.3	TQI Hasil Ukur Manual	107
4.3.1	Stasiun Linggapura – Stasiun Bumiayu	107
4.3.2	Stasiun Solo Balapan – Stasiun Kadipiro	109
4.3.3	Stasiun Semarang Tawang – Stasiun Alastua	111
4.4	Data Geologi.....	113
4.4.1	Lintas Utara.....	113
4.4.2	Lintas Selatan.....	115
BAB 5	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	119
5.1	<i>Exploratory Data Analysis</i> Kategori <i>Track Quality Index</i> (TQI).....	119
5.1.1	Bagian Wesel	120
5.1.2	Bagian Jembatan	122
5.1.3	Bagian Perlintasan.....	124
5.1.4	Bagian Lurus	126
5.1.5	Bagian Lengkung	128
5.2	Uji Multikolinieritas Data Kategori TQI.....	131
5.2.1	Bagian Wesel	131
5.2.2	Bagian Jembatan	132
5.2.3	Bagian Perlintasan.....	133
5.2.4	Bagian Lurus	134
5.2.5	Bagian Lengkung	134
5.3	Uji Beda.....	135
5.3.1	Bagian Wesel	136
5.3.2	Bagian Jembatan	141
5.3.3	Bagian Perlintasan.....	147
5.3.4	Bagian Lurus	151
5.3.5	Bagian Lengkung	156
5.3.6	Jumlah Jalur Kereta Api.....	161
5.3.7	Geologi Jalan Rel	166
5.4	Pembentukan Model Prediksi Kategori TQI	171
5.5	Pemodelan Prediksi Logit <i>Multinomial</i>	176
5.6	Uji Error	181
BAB 6	SIMPULAN – IMPLIKASI – SARAN	186

6.1	Simpulan.....	186
6.2	Implikasi.....	186
6.3	Saran.....	187
	DAFTAR PUSTAKA	189
	LAMPIRAN.....	200

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Panjang Jalan Rel Terukur di Pulau Jawa.....	4
Tabel 1.2 Meta Analisis	8
Tabel 2.1 Data Prasarana Jalan Rel di Pulau Jawa dan Pulau Sumatera	15
Tabel 2.2 Realisasi Pengukuran Kondisi Jalan Rel di Pulau Jawa	16
Tabel 2.3 Definisi Perawatan Jalan Rel	19
Tabel 2.4 Batas keausan rel yang diijinkan	32
Tabel 2.5 Tahapan pembuatan data kebutuhan material jalan rel.....	38
Tabel 2.6 Siklus Perawatan Jalan Rel Berdasarkan Kelas Jalan.....	43
Tabel 2.7 Kodefikasi kerusakan rel versi UIC.....	57
Tabel 2.8 Definisi <i>Track Quality Index</i> di Dunia	60
Tabel 2.9 Klasifikasi Kategori TQI	63
Tabel 2.10 Parameter dan Toleransi Pekerjaan Perawatan Track.....	64
Tabel 2.11 Confusion Matrix.....	67
Tabel 3.1 Kebutuhan data	87
Tabel 3.2 Confusion Matrix Model Prediksi TQI.....	94
Tabel 4.1 Panjang Jalur Kereta Api Menurut Daerah Operasi	99
Tabel 4.2 Data Wesel Di Emplasemen Stasiun Kereta Api Pulau Jawa.....	100
Tabel 4.3 Data Jembatan Kereta Api Di Pulau Jawa	101
Tabel 4.4 Data Perlindungan Kereta Api Di Pulau Jawa	101
Tabel 4.5 Data Lengkung Jalan Rel Di Pulau Jawa.....	102
Tabel 4.6 Perekaman Data TQI Hasil KUJR.....	106
Tabel 4.7 Perekaman Data TQI Ukur Manual Antara Sta. Linggapura- Sta. Bumiayu	109
Tabel 4.8 Data TQI Ukur Manual Antara Sta. Solo Balapan – Sta. Kadipiro	111
Tabel 4.9 Data TQI Ukur Manual Antara Sta. Semarang Tawang – Sta. Alastua	113
Tabel 4.10 Geologi Jalur Kereta Api di Lintas Utara Pulau Jawa.....	115
Tabel 4.11 Geologi Jalur Kereta Api Lintas Selatan Pulau Jawa	117
Tabel 5.1 Deskripsi Statistik Data Kategori TQI Bagian Wesel	120
Tabel 5.2 Nilai Outlier Kategori TQI Bagian Wesel	122
Tabel 5.3 Deskripsi Statistik Data Kategori TQI Bagian Jembatan	123
Tabel 5.4 Nilai Outlier Kategori TQI Bagian Jembatan	124
Tabel 5.5 Deskripsi Statistik Kategori TQI Bagian Perlindungan	125

Tabel 5.6 Nilai Outlier Kategori TQI Bagian Perlintasan	126
Tabel 5.7 Deskripsi Statistik Kategori TQI Bagian Lurusan.....	127
Tabel 5.8 Nilai Outlier Kategori TQI Bagian Lurusan.....	128
Tabel 5.9 Deskripsi Statistik Data Kategori TQI Bagian Lengkung	129
Tabel 5.10 Nilai Outlier Kategori TQI Bagian Lengkung.....	130
Tabel 5.11 Uji Normalitas Parameter Geometri Bagian Wesel.....	140
Tabel 5.12 Uji Beda Parameter Geometri Bagian Wesel	141
Tabel 5.13 Uji Normalitas Parameter Geometri Bagian Jembatan.....	145
Tabel 5.14 Uji Beda Parameter Geometri Bagian Jembatan	146
Tabel 5.15 Uji Normalitas Parameter Geometri Bagian Perlintasan	150
Tabel 5.16 Uji Beda Parameter Geometri Bagian Perlintasan.....	151
Tabel 5.17 Uji Normalitas Parameter Geometri Bagian Lurusan.....	155
Tabel 5.18 Beda Parameter Geometri Bagian Lurusan	156
Tabel 5.19 Uji Normalitas Parameter Geometri Bagian Lengkung.....	160
Tabel 5.20 Uji Beda Parameter Geometri Bagian Lengkung	161
Tabel 5.21 Uji Normalitas Variabel Jumlah Jalur	165
Tabel 5.22 Uji Beda Parameter Geometri Variabel Jumlah Jalur.....	165
Tabel 5.23 Uji Normalitas Variabel Kondisi Geologi	170
Tabel 5.24 Uji Beda Variabel Kondisi Geologi.....	170
Tabel 5.25 Deskripsi Variabel Track Quality Index.....	176
Tabel 5.26 Sebagian Data Kategori TQI	179
Tabel 5.27 Sebagian Hasil Prediksi Kategori	179
Tabel 5.28 Perhitungan log P dan eksponensial	180
Tabel 5.29 Nilai Probabilitas Kategori	180
Tabel 5.30 Confusion Matrix Prediksi TQI Kategori 1	181
Tabel 5.31 Akurasi Model Prediksi TQI Kategori 1	182
Tabel 5.32 Confusion Matrix Prediksi TQI Kategori 2	183
Tabel 5.33 Akurasi Model Prediksi TQI Kategori 2	183
Tabel 5.34 Confusion Matrix Prediksi TQI Kategori 3	184
Tabel 5.35 Akurasi Model Prediksi TQI Kategori 3	184
Tabel 5.36 Confusion Matrix Prediksi TQI Kategori 4.....	184
Tabel 5.37 Akurasi Model Prediksi TQI Kategori 4	185

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Penelitian Hubungan Antara Perawatan Jalan Rel, Kualitas Geometri Jalan Rel.....	6
Gambar 1.2 Penelitian Hubungan Antara Perawatan Jalan Rel, Kualitas Geometri Jalan Rel dan Model Matematis.....	7
Gambar 1.3 <i>Fishbone</i> diagram menunjukkan prediksi kategori perawatan jalan rel	7
Gambar 2.1 Grafik Kondisi Jalan Rel Berdasarkan Kategori TQI	17
Gambar 2.2 Skema perawatan dan proses penggantian (Esveld, 2001)	22
Gambar 2.3 Mesin gerinda Matisa MP12	25
Gambar 2.4 Mesin untuk merawat jalan rel tipe Plasser Theurer 09- 32 CSM.....	26
Gambar 2.5 Prinsip pemecokan ganda dinamis.....	26
Gambar 2.6 Unit pemecok tunggal dengan <i>tamping unit</i>	27
Gambar 2.7 Prinsip angkatan jalan rel.....	27
Gambar 2.8 Prinsip pengukuran untuk angkatan.....	28
Gambar 2.9 Pelaksanaan angkatan dengan bantuan benang.....	28
Gambar 2.10 Pelaksanaan angkatan dengan bantuan waterpas	28
Gambar 2.11 Prinsip pelurusan 4 titik	29
Gambar 2.12 Lebar sepur.....	30
Gambar 2.13 Perteingian jalan rel	30
Gambar 2.14 Contoh kerusakan pada rel.....	31
Gambar 2.15 Skema keausan rel.....	31
Gambar 2.16 Skema wesel.....	35
Gambar 2.17 Skema perawatan sesuai standar	37
Gambar 2.18 Diagram alir siklus perawatan jalur kereta api	42
Gambar 2.19 Potongan Melintang Jalan Rel (Esveld, 2001).....	46
Gambar 2.20 Tipe Rel untuk jalan KA (Esveld, 2001).....	49
Gambar 2.21 Dimensi potongan rel tipe R54 dan R60.....	50
Gambar 2.22 Wesel standar untuk jalur tunggal.....	51
Gambar 2.23 Perlintasan sebidang kereta api terhadap jalan raya	54
Gambar 2.24 Ilustrasi <i>outlier</i>	72

Gambar 2.25 Kerangka Berpikir, Faktor Yang Memiliki Pengaruh dalam Model Prediksi Kategori TQI.....	83
Gambar 3.1 Prosedur Penelitian	85
Gambar 3.2 Tahapan Analisis Data	89
Gambar 3.3 Peta Jaringan Jalan Rel di Pulau Jawa	97
Gambar 4.1 Panjang Prasarana Jalan Rel Terukur KUJR per Daerah Operasi di Pulau Jawa	103
Gambar 4.2 Grafik Pembacaan Hasil Ukur TQI KUJR.....	105
Gambar 4.3 Grafik Hasil Ukur TQI Manual Antara Sta. Linggapura - Sta. Bumiayu.	108
Gambar 4.4 Grafik Hasil Ukur TQI Manual Antara Sta. Solo Balapan – Sta. Kadipiro	110
Gambar 4.5 Grafik Hasil Ukur TQI Manual Antara Sta. Semarang Tawang – Sta. Alastua	112
Gambar 4.6 Geologi Lintas Stasiun Semarang Tawang – Stasiun Alastua	114
Gambar 4.7 Jenis Lapisan Tanah Jalur Kereta Api di Lintas Utara Pulau Jawa	114
Gambar 4.8 Peta Geologi Lintas Stasiun Linggapura - Bumiayu.....	116
Gambar 4.9 Peta Geologi Lintas Solo Balapan - Kadipiro.....	116
Gambar 4.10 Jenis Lapisan Tanah Jalur Kereta Api Lintas Selatan Pulau Jawa.....	117
Gambar 5.1 <i>Boxplot</i> Bagian Wesel pada Peninggian, Angkatan, Lestring, dan Lebar Sepur.....	121
Gambar 5.2 <i>Boxplot</i> Kategori TQI bagian Jembatan pada Peninggian, Angkatan, Lestring, dan Lebar Sepur	123
Gambar 5.3 <i>Boxplot</i> Bagian Perlintasan pada Peninggian, Angkatan, Lestring, dan Lebar Sepur.....	125
Gambar 5.4 <i>Boxplot</i> Bagian Lurusan pada Peninggian, Angkatan, Listring, dan Lebar Sepur.....	127
Gambar 5.5 <i>Boxplot</i> Bagian Lengkung pada Peninggian, Angkatan, Listring, dan Lebar Sepur.....	130
Gambar 5.6 <i>Pairs Panels</i> Kategori TQI Bagian Wesel	131
Gambar 5.7 <i>Pairs Panels</i> Kategori TQI Bagian Jembatan	132
Gambar 5.8 <i>Pairs Panels</i> Kategori TQI Bagian Perlintasan	133
Gambar 5.9 <i>Pairs Panels</i> Kategori TQI Bagian Lurusan.....	134

Gambar 5.10	<i>Pairs Panels</i> Kategori TQI Bagian Lengkung	135
Gambar 5.11	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Wesel Antara Sta. Linggapura – Sta. Bumiayu	137
Gambar 5.12	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Wesel Antara Sta. Solo Balapan - Sta. Kadipiro	138
Gambar 5.13	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Wesel Sta. Semarang Tawang - Sta. Alastua.....	138
Gambar 5.14	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Jembatan Antara Sta. Linggapura – Sta. Bumiayu.....	142
Gambar 5.15	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Jembatan Antara STA. Solo Balapan - STA. Kadipiro	143
Gambar 5.16	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Jembatan Sta. Semarang Tawang - Sta. Alastua.....	144
Gambar 5.17	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Perlindungan Sta. Linggapura – Sta. Bumiayu	147
Gambar 5.18	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Perlindungan Sta. Solo Balapan - Sta. Kadipiro	148
Gambar 5.19	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Perlindungan Sta. Semarang Tawang - Sta. Alastua.....	149
Gambar 5.20	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Lurusan Sta. Linggapura – Sta. Bumiayu.....	152
Gambar 5.21	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Lurusan Sta. Solo Balapan - Sta. Kadipiro.....	153
Gambar 5.22	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Lurusan Sta. Semarang Tawang - Sta. Alastua.....	154
Gambar 5.23	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Lengkung Sta. Linggapura – Sta. Bumiayu.....	157
Gambar 5.24	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Lengkung STA. Solo Balapan - STA. Kadipiro.....	158
Gambar 5.25	Histogram dan QQ Plot Perbandingan Kategori TQI KUJR dan Ukur Manual Bagian Lengkung STA. Semarang Tawang - STA. Alastua....	159

Gambar 5.26 Histogram dan QQ Plot Perbandingan TQI Jalur Tunggal dan TQI Jalur Ganda Sta. Linggapura – Sta. Bumiayu	162
Gambar 5.27 Histogram dan QQ Plot Perbandingan TQI Jalur Tunggal dan TQI Jalur Ganda STA. Solo Balapan - STA. Kadipiro	163
Gambar 5.28 Histogram dan QQ Plot Perbandingan TQI Jalur Tunggal dan TQI Jalur Ganda STA. Semarang Tawang - STA. Alastua.....	164
Gambar 5.29 Histogram dan QQ Plot Perbandingan TQI Geologi Lintas Utara dan Lintas Selatan Sta. Linggapura – Sta. Bumiayu.....	167
Gambar 5.30 Histogram dan QQ Plot Perbandingan TQI Geologi Lintas Utara dan Lintas Selatan Sta. Solo Balapan - Sta. Kadipiro.....	168
Gambar 5.31 Histogram dan QQ Plot Perbandingan TQI Geologi Lintas Utara dan Lintas Selatan STA. Semarang Tawang - STA. Alastua.....	169
Gambar 5.32 Pembentukan Model Prediksi Kategori TQI.....	172

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I

1. Data Ukur TQI Manual Antara Sta. Linggapura – Sta. Bumiayu Tahun 2023...	201
2. Data Ukur TQI Manual Antara Sta. Solo Balapan – Sta. Kadipiro Tahun 2023..	231
3. Data Ukur TQI Manual Antara Sta. Semarang Tawang – Sta. Alastua Tahun 2023.....	246

Lampiran II

1. Analisis RStudio Model Prediksi Kategori TQI Tahun 2019 – 2022.....	256
2. Validasi Model Regresi Multinomial Secara Manual Data Tahun 2023.....	301

DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN, DAN NOTASI

A	: Konstanta
Angkatan	: Ketidakrataan secara vertikal bagian kepala rel
APTA	: <i>American Public Transportation Association</i>
AREMA	: <i>American Railway Engineering and Maintenance of Way Association</i>
ARTC	: Australian Rail Track Cooperation Limited
Ata	: Alastua
B	: Koefisien
BH	: Bangunan Hikmat, Jembatan, dan Terowongan Kereta Api
Bma	: Bumiayu
CBR	: <i>California Bearing Ratio</i>
CDA	: <i>Confirmatory Data Analysis</i>
Daop	: Daerah Operasi
Divre	: Divisi Regional
DJKA	: Direktorat Jenderal Perkeretaapian
DJMR	: Data Material Jalan Rel
DK	: Distrik Kepala
DKA	: Djawatan Kereta Api
dkk	: dan kawan-kawan
e	: error
EDA	: <i>Exploratory Data Analysis</i>
EM-120	: <i>Eiseinbahn-Mebtechnik - 120</i>
FP	: <i>False Positive</i>
FN	: <i>False Negative</i>
Gapeka	: Grafik Perjalanan Kereta Api
<i>Gauge</i>	: Lebar Sepur
GPS	: <i>Global Positioning System</i>
HKPW	: Hitachi Kereta Pengukur Way
Hm	: Hektometer
IMO	: <i>Infrastructure Maintenance Operation</i>
IMU	: <i>Inertial Measurement Unit</i>
IQR	: <i>Interquartil Range</i> , bagian tengah dari observasi dataset
Jalur Kereta Api	: Jalur yang terdiri atas rangkaian petak jalan rel yang diperuntukkan bagi lalu lintas kereta api
Jalan Rel	: Satu kesatuan konstruksi yang terbuat dari baja, beton, atau konstruksi lain yang terletak di permukaan, di bawah, dan di atas tanah atau bergantung berserta perangkatnya yang mengarahkan jalannya kereta api
JPL	: Jalan Perlintasan
K1	: Koefisien dengan nilai 1,4
KA	: Kereta Api
KAI	: Kereta Api Indonesia
Kalibrasi	: Diukur dengan sebenarnya
Kb	: Koefisien yang nilainya tergantung beban gandar

Kdo	: Kadipiro
Kemenhub	: Kementerian Perhubungan
Kereta Api	: Sarana perkeretaapian dengan tenaga gerak, baik berjalan sendiri maupun dirangkaikan dengan sarana perkeretaapian lainnya, yang akan ataupun sedang bergerak di jalan rel yang terkait dengan perjalanan kereta api
Km	: Kilometer
Km'sp	: Kilometer Jalan Sepur
KUJR	: Kereta Ukur Jalan Rel
LCC	: <i>Life-Cycle Cost</i>
Lebar Sepur	: Jarak bagian dalam antara kedua kepala rel
Lg	: Linggapura
Listring	: Ketidakrataan secara horisontal bagian kepala rel
LK	: Lengkung
Lrs	: Lurusan
m	: meter
MTT	: <i>Multi Tie Tamper</i>
n	: Jumlah data
N	: Norma
NH	: Norma Horisontal
NIS	: <i>Nederlandsch Indische Spoorweg Maatschappij</i>
NV	: Norma Vertikal
OLS	: <i>Ordinary Least Square</i>
Operator	: Perusahaan yang mengoperasikan layanan kereta api
Outlier	: Pencilan, titik data yang tidak sama dengan data lain dianggap sebagai keganjilan
P	: Nilai Probability indeks kualitas jalan rel
P Index	: <i>Point Index</i>
Passing Tonnage	: Jumlah total berat kereta api yang melewati suatu segmen jalur kereta api selama periode tertentu
PBR	: <i>Plasser Ballast Regulator</i>
PD	: Peraturan Dinas
Pemecokan	: Pemadatan batu balas dengan cara digetar
Perjana	: Perawatan Jalan Rel dan Jembatan Terencana
Pertinggian	: Perbedaan ketinggian antara bagian kepala rel kanan, dan kiri bagian dalam yang bersentuhan dengan flens roda kereta api
Perumka	: Perusahaan Umum Kereta Api
PJKA	: Perusahaan Jawatan Kereta Api
PLS	: <i>Partial Least Square</i>
PM	: Peraturan Menteri
Predictor	: Informasi pendukung prakiraan probabilistic masa depan
Q	: <i>Quality</i>
Q Index	: <i>Quality Index</i>
Q1	: Quartil terendah
Q2	: Median
Q3	: Quartil tertinggi
Qa	: Aluvium
Qd	: Endapan Danau

Qf	: Kipas Aluvium
Qhv	: Batuan gunung api Holosen
Qps	: Sedimen Plistosen
Qpv	: Batuan Gunung Api Plistosen
Qpvs	: Endapan Gunung Api Plistosen
Qpvt	: Tuf Plistosen
q-q	: <i>Quantile-quantile</i>
QTs	: Sedimen Plio-Plistosen
Qtv	: Batuan Gunung Api Plio-Plistosen
Qv	: Batuan gunung api Holosen
R Studio	: Bahasa pemrograman komputasi statistik dan grafis
Regulator	: Lembaga yang bertanggungjawab untuk mengawasi, mengatur, dan menetapkan kebijakan terkait operasi, keselamatan, dan pengelolaan jaringan kereta api
RKA	: Rencana Kerja Anggaran
<i>Rolling Stock</i>	: Kualitas Sarana Kereta Api
RPM	: Rel Panjang Menerus
S	: Koefisien yang besarnya tergantung pada kualitas lintas
s	: Nilai standar deviasi
SD index	: <i>Standart Deviation Index</i>
SDM	: Sumber Daya Manusia
Se	: Standar deviasi lebar sepur (mm)
<i>Sidding</i>	: Jalur Simpang
SK	: Kepala Resort
Skilu	: Kondisi ketika empat roda kereta api, salah satunya tidak berada pada satu bidang sumbu bogie
Slo	: Solo Balapan
Smt	: Semarang Tawang
SRESID	: <i>Studentized Residual</i>
Sta.	: Stasiun
STRF	: <i>Southhampton Railway Testing Facility</i>
<i>Supreme Commander</i>	: Petugas yang bertanggung jawab dalam pekerjaan di jalur kereta api beroperasi aktif
Sw	: Standar deviasi pertinggian (mm)
Sy	: Standar deviasi listringan (mm)
Sz	: Standar deviasi angkatan (mm)
T	: Daya angkut lintas (ton/tahun)
TAC	: <i>Track Access Charges</i>
TASPAT	: Pembatas Kecepatan Tetap
Tb	: Tonase barang dan kereta harian
TE	: Tonase Ekuivalen
TGI	: <i>Track Geometry Index</i>
TI	: Tonase Lokomotif harian
Tlss	: Batuan Sedimen Miosen Awal
Tmi	: Batuan Terobosan Miosen
Tmik	: Terobosan Miosen Tengah
Tmmk	: Batuan Sedimen Flysch Miosen
Tms	: Batuan Sedimen Miosen Tengah

Tmtb	: Batuan Sedimen Miosen Tengah
TN	: <i>True Negative</i>
Tnls	: Batuan Karbonat Neogen
Tnsb	: Batuan Sedimen Turbidit Neogen
Tnsk	: Batuan Sedimen Neogene
Tnss	: Batuan Sedimen Neogen
Toml	: Batuan Karbonat Oligo-Miosen
TP	: <i>True Positive</i>
Tp	: Tonase penumpang dan kereta harian
Tpsb	: Batuan Sedimen Pliosen
Tpv	: Batuan Gunung Api Pliosen
TQI	: <i>Track Quality Index</i>
TRI	: <i>Track Rougness Index</i>
UIC	: <i>Union Internationale des Chemins de fer</i>
V	: Kecepatan (Km/jam)
Verifikasi	: Proses dalam memeriksa kesesuaian
VIF	: <i>Variance Inflation Factor</i>
WAD	: Warta Dinas
WAM	: Warta Maklumat
Wesel	: Bagian jalan rel yang dapat memungkinkan kereta api berpindah jalur
<i>Whisker</i>	: Garis perpanjangan box
<i>Window Time</i>	: Waktu Jeda, waktu luang yang tidak terputus untuk melakukan perawatan prasarana jalan rel
WSL	: Wesel
x	: Mean data
xi	: Nilai observasi/data
z	: Nilai standar
ZPRED	: <i>Standardized Predicted Values</i>