

Analisis Kondisi Eksisting Jalan Rel Blitar – Malang Berdasarkan Nilai *Track Quality Index*

Analysis of the Existing Condition of the Blitar – Malang Railway Based on the Track Quality Index

Toni Budi Santoso^{1,2}, Bella Lutfiani Al Zakina², Mohammad Zainul Ikhwan¹

¹Prodi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro

²Alamat korespondensi email: prawoto.poni@gmail.com

Abstract

The value or output in the form of a number from the measurement results of the measuring train which can provide information on the quality of the railroad track that is passed on a railroad segment is called the Track Quality Index (TQI). The TQI value is obtained from the sum of 4 measurement parameters, namely track width, lift, power and height. The higher the TQI value indicates the higher the level of rail damage. Several train accident investigation reports, especially derailments, were influenced by poor TQI values. The government has limitations in obtaining TQI values due to the limited number of measuring trains it has and operations are periodic. Therefore, alternatives are needed to predict TQI values other than measuring train operating data. The method used to solve this problem is direct measurement with a measuring train for a track width of 1067 mm. Then an analytical calculation is carried out to find the average deviation, variance and standard deviation. The calculation results show an average deviation of 93.78 and an average standard deviation of 37.81. Based on the provisions for grouping TQI values, a high TQI value is taken, namely the average deviation with track conditions is at a value of 4. Taking a higher number is indicated for the safety of railway operations, the higher the worse the condition of the railway, so high frequency maintenance of the railway is required.

Keywords: Electricity, Elevation, Force, Train Width

Abstrak

Nilai atau output berupa angka dari hasil pengukuran kereta ukur yang dapat memberikan informasi kualitas jalan rel yang dilewati pada suatu segmen jalan rel disebut *Track Quality Index* (TQI). Nilai TQI didapatkan dari penjumlahan 4 parameter pengukuran yaitu lebar sepur, angkatan, listringan dan pertinggian. Semakin tinggi nilai TQI menunjukkan semakin tinggi tingkat kerusakan jalan rel. Beberapa laporan investigasi kecelakaan kereta api khususnya kejadian anjlok dipengaruhi oleh buruknya nilai TQI. Pemerintah memiliki keterbatasan untuk mendapatkan nilai TQI dikarenakan jumlah kereta ukur yang dimiliki terbatas serta pengoperasian yang bersifat berkala. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif untuk memprediksi nilai TQI selain data pengoperasian kereta ukur. Metode yang digunakan untuk memecahkan masalah tersebut dengan pengukuran langsung dengan kereta ukur untuk lebar sepur 1067 mm. Kemudian dilakukan perhitungan analisis untuk mencari deviasi rata-rata, varians dan standart deviasi. Hasil perhitungan menunjukkan deviasi rata-rata 93,78 dan standart deviasi rata-rata 37,81. Berdasarkan ketentuan pengelompokan nilai TQI diambil nilai TQI yang tinggi yaitu deviasi rata-rata dengan kondisi track berada pada nilai 4. Pengambilan angka lebih tinggi ditunjukkan untuk keselamatan operasi perkeretaapian, semakin tinggi semakin buruk kondisi jalan rel sehingga diperlukan perawatan jalan rel dengan frekuensi tinggi.

Kata kunci: Angkatan, Beda Tinggi, Lebar Sepur, Listringan



This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license

Artikel diterima: 16-10-2023. Selesai review: 20-12-2023. Publish: 26-12-2023

PENDAHULUAN

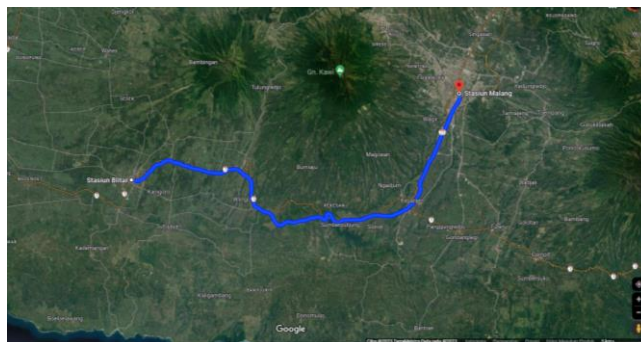
Moda transportasi yang berkembang pesat di Indonesia adalah kereta api (Panjaitan & Sembiring, 2011). Transportasi massal yang terdiri dari lokomotif dan rangkaian kereta atau gerbong yang bergerak diatas jalan rel yang khusus untuk kereta api (Rodríguez et al., 2021). Angkutan transportasi yang efisien dengan daya angkut penumpang dan barang yang tinggi sehingga tepat penggunaan pada koridor suatu wilayah yang padat (Liu et al., 2015). Pulau Jawa merupakan salah satu pulau di Indonesia dengan jaringan konektivitas perkeretaapian yang sudah beroperasi. Lalu lintas kereta api di pulau Jawa mempunyai karakteristik jenis kereta penumpang dan merupakan jalur kereta api dengan jadwal perjalanan tersibuk di Indonesia (Fistcar et al., 2020).

Perkembangan lalu lintas kereta api begitu pesat karena dorongan dari sektor ekonomi yang membutuhkan sebuah moda transportasi yang mudah dan terjangkau serta efektif dalam waktu (Berawi et al., 2010). Hal tersebut kemudian mempengaruhi kondisi geometrik sebuah jalur kereta api (Adityadharma et al., 2004). Penurunan kualitas kemudian menjadi masalah sehingga perlu diadakan suatu pemeliharaan untuk mengukur suatu kondisi dan kualitas jalan rel (Roghani et al., 2015). Setiap penyelenggaraan perkeretaapian wajib dilakukan perawatan terhadap prasarana yang dioperasikan untuk mempertahankan keandalan agar tetap layak operasi (Neves Costa et al., 2023). Perawatan jalan rel dilakukan untuk menjaga kondisi jalan rel sesuai standar pengoperasian jalan rel untuk melayani sarana perkeretaapian sesuai nilai *Track Quality Index* (TQI) yang telah ditetapkan (Wolf, 2015).

TQI adalah *output* yang berupa nilai atau angka hasil dari pengukuran kereta ukur yang berupa nilai lebar spoor, angkatan, listringan dan beda tinggi. Inspeksi dilakukan pada Daerah Operasional (DAOP) untuk mendapatkan kondisi kualitas jalan rel yang dilewati. Selain data output dari pengoperasian kereta ukur diperlukan alternatif untuk memprediksi nilai TQI pada suatu segmen jalan rel (Rosyidi & Setiawan, 2017). TQI digunakan untuk menilai kinerja jalur kereta api, merancang intervensi, serta membandingkan kinerja lintasan sebelumnya dan setelah intervensi yang didefinisikan melalui nilai numerik yang menggambarkan kondisi relatif geometri permukaan lintasan (Sresakoolchai & Kaewunruen, 2023). Angka-angka dari setiap parameter yang menunjukkan kualitas segmen secara keseluruhan.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan nilai rata-rata TQI pada segmen Blitar – Malang menggunakan statistical. Untuk mendukung metode tersebut diperlukan data historis dalam jumlah besar sesuai panjang segmen dari variabel-variabel yang dipengaruhi yang didapat dari kereta ukur (Kristian & Roesdiana, 2016). Hasil dari pengolahan data menggunakan metode statistical untuk 4 parameter yang dimasukkan bertujuan untuk mendapatkan nilai klasifikasi kondisi. Dari klasifikasi kondisi tersebut didapatkan kondisi eksisting yang sebenarnya, sehingga dapat diketahui frekuensi perbaikan yang harus dilakukan.

Pembacaan dari kereta ukur hanya berupa angka yang perlu diolah lagi hingga didapatkan klasifikasi kondisi. Suatu segmen lintas kereta api dilakukan pengukuran dengan kereta ukur untuk 5 tahun sekali. Hal tersebut yang mendasari penelitian ini perlu dilakukan sebagai referensi mendapatkan nilai rata-rata TQI yang tertinggi dan frekuensi perbaikan yang harus dilakukan berdasarkan data yang didapat dari kereta ukur untuk diklasifikasikan kondisi.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
(Sumber: Google Maps, 2023)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan analisis kuantitatif untuk memprediksi nilai TQI terhadap golongan kerusakan dan intensitas perawatan kondisi lintasan kereta api. Metode kuantitatif mudah dilakukan penilaian karena sifatnya yang numeris (Aulia & Parikesit, 2017). Pengumpulan data didapatkan dari nilai hasil pengukuran kereta ukur lintas Blitar – Malang. Analisis TQI dilakukan dengan cara mencari nilai rata-rata nilai TQI pada setiap 100 m – 10000 m. Nilai rata-rata adalah nilai yang mewakili himpunan atau sekelompok data (Lubis & Widyastuti, 2020). Nilai rata-rata terletak disuatu kelompok data yang mempunyai kecenderungan memusat sehingga disebut ukuran kecenderungan memusat (Bressi et al., 2021). Dari data rata-rata nilai TQI yang merupakan faktor perhitungan kemudian diklasifikasikan kondisinya berdasarkan tabel pengklasifikasian. Data dari lapangan menjadi penting karena tindakan pemeliharaan dilakukan atas laporan yang terjadi dilapangan.

Tabel 1. Klasifikasi Kondisi

Kode	Faktor Perhitungan	Deskripsi	Klasifikasi Kondisi			
			Nilai 1	Nilai 2	Nilai 3	Nilai 4
a	Kelas Jalan	Besarnya kapasitas yang diangkut per tahun	IV – V	III	II	I
b	Panjang Lengkung Radius Kecil	Panjang tikungan berjari-jari < 800 m	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat Tinggi
c	Kecepatan	Kondisi jalan rel dilihat dari perbedaan kecepatan berdasarkan kelas jalan dan kecepatan lapangan	0 – 25 %	25 – 50 %	50 – 75 %	75 – 100 %
d	TQI	Penilaian secara geometric menggunakan kereta ukur	0 – 20	21– 40	41– 60	>60
e	Frekuensi Pemecokan	Seberapa sering dilakukan pemecokan dalam stasiun	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat Tinggi
f	Sambungan Rel	Banyaknya sambungan <i>fishplate</i>	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat Tinggi

Hasil data dari kereta ukur kemudian di analisis dan dicari rata – rata untuk kemudian klasifikasi kondisi. Dari hasil klasifikasi kemudian dapat diketahui intensitas perawatan. Perawatan jalan rel meliputi pemeriksaan kondisi jalan rel dan penyusunan perawatan (Panjaitan & Sembiring, 2011). Penyimpangan yang terjadi diijinkan sepanjang tidak melampaui batas toleransi yang diperlukan untuk keamanan perjalanan keretaapi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengukuran kereta ukur (Tabel 2) lintas Blitar – Malang pada tahun 2018 berupa data TQI yang terdiri dari lebar spoor, angkatan, listringan dan beda tinggi.

Tabel 2. Data Kereta Ukur Blitar - Malang

No	STA	Lebar Spoor (mm)	Profil		Alinyemen Horizontal		Beda Tinggi (mm)
			Kanan mm	Kiri mm	Kanan mm	Kiri mm	
1	40100	1093.56	67.44	43.87	87.94	101.49	93.94
2	40200	1088.96	91.73	61.18	57.18	74.54	155.17
3	40300	1087.24	39.67	19.48	25.3	24.97	39.16
4	40400	1080.47	45.89	17.59	13.39	11.12	41.02
5	40500	1065.73	33.62	34.37	13.9	6.8	35.97
6	40600	1074.4	22.17	27.74	24.23	24.21	42.31
7	40700	1092.2	54.5	19.82	48.41	38.84	58.16
8	40800	1088.47	39.89	28.86	36.13	44.38	63.92
9	40900	1070.39	58.65	47.41	15.07	13.44	37.74
10	41000	1065.12	39.74	60.84	7.76	10.62	23.05
11	41100	1064.59	26.39	11.61	6.08	7.41	13.68
12	41200	1064.71	18.06	16.31	3.7	6.36	14.35
13	41300	1064.66	17.79	25.44	6.63	6.3	12.91
14	41400	1063.78	17.98	30.72	6.16	9.98	24.22
15	41500	1064.27	37.23	27.96	7.43	10.16	15.43
16	41600	1072.87	14.16	12.71	7.85	15.63	34.84
17	41700	1085.75	148.19	18.04	21.39	17.18	222.61
18	41800	1069.68	22.32	28.08	11.57	13.71	49.61
19	41900	1064.63	12.4	13.04	7.83	10.68	10.59
20	42000	1065.16	29.94	42.96	8.16	10.52	25
21	42100	1064.42	18.79	28.97	11.07	6.62	13.26
22	42200	1064.83	8.61	6.12	5.15	7.4	6.98
23	42300	1068.59	15.27	17.77	3.48	5.23	22.46
24	42400	1083.47	56.32	29.35	7.13	11.15	79.56
25	42500	1088.15	241.93	40.75	16.81	20.43	340.09
26	42600	1088.37	27.84	25.29	13.91	12.84	44.17
27	42700	1087.57	26.83	17.07	14.59	16.51	38.8
28	42800	1086.98	54.38	28.78	25.71	18.78	68.8
29	42900	1071.32	12.9	12.36	4.97	9.34	41.96
30	43000	1071.84	19.37	9.62	13.62	16.34	33.97
31	43100	1073.22	28.95	21.81	8.07	7.5	48.81
32	43200	1065.37	15.35	22.99	7.61	7.01	40.74
33	43300	1066.34	33.56	12.89	6.65	5.78	28.23
34	43400	1065.52	17.13	12.38	4.44	4.28	18.99
35	43500	1065.51	46.05	21.91	11.85	10.32	40.07
36	43600	1065.73	29.4	34.44	14.15	7.62	45.78
37	43700	1064.95	57.64	49.43	19.7	18.83	45.97
38	43800	1064.88	54.61	62.45	11.1	9.25	35.62

39	43900	1063.75	91.8	53.88	9.53	7.32	44.98
40	44000	1063.91	33.78	28.69	10.76	7.43	30.91
41	44100	1063.65	35.83	40.93	12.51	13.58	29.88
42	44200	1063.35	50.16	47.62	13.5	10.11	23.53
43	44300	1064.42	19.24	20.91	7.89	8.34	16.22
44	44400	1065.9	71.02	55.51	414.15	27.85	57.39
45	44500	1063.18	57.35	62.51	12.88	16.76	41.28
46	44600	1063.91	57.43	59.05	10.36	11.25	34.39
47	44700	1065.34	152.15	34.68	43.19	18.49	161.99
48	44800	1065.31	33.86	49.81	31.67	22.16	60.44
49	44900	1064.11	7.92	6.17	6.6	6.52	5.89
50	45000	1064.45	9.71	9.96	5.14	8.51	8.53
51	45100	1064.83	7.49	4.61	4.08	5.65	6.34
52	45200	1063.76	11.58	10.95	6.62	7.18	8.7
53	45300	1064.3	29.01	21.84	15.49	12.08	30.71
54	45400	1064.23	14.36	15.1	13.8	14.45	18.71
55	45500	1064.66	12.82	8.28	8.61	9.35	9.27
56	45600	1063.6	24.16	24.37	23.25	21.37	21.32
57	45700	1063.78	23	28.09	20.24	17.91	32.24
58	45800	1067.3	16.72	355.04	8.13	24.95	478.82
59	45900	1067.65	14.53	11.88	4.77	5.47	6.26
60	46000	1067.79	41.7	35.19	4.52	5.71	10.67
61	46100	1069.24	57.52	38.95	179.1	6.06	27.75
62	46200	1067.73	41.19	38.39	8.75	8.09	16
63	46300	1067.77	7.88	7.59	2.7	3.95	7.36
64	46400	1067.75	15.74	13.45	9.34	8.08	10.06
65	46500	1067.36	29.89	43.35	6.76	6.99	34.54
66	46600	1067.7	17.57	6.59	4	5.91	18.41
67	46700	1066.61	12.71	8.41	6.05	7.01	12.96
68	46800	1064.26	13.25	13.78	9.31	6.22	11.13
69	46900	1064.05	37.3	28.52	19.23	18.38	42.6
70	47000	1064.15	19.6	22.92	10.76	8.7	20.23
71	47100	1064.95	7.05	8.31	6	5.33	8.18
72	47200	1064.31	6.21	8.56	7.3	4.81	7.29
73	47300	1064.73	9.09	6.08	10.9	8.98	11
74	47400	1065.57	2.56	2.55	7.41	7.74	3.15
75	47500	1065.23	5.33	5.89	7.17	7.87	8.16
76	47600	1064.69	5.64	9.3	11.05	6.7	13.49
77	47700	1065.55	8.05	12.73	12.62	12.89	11.91
78	47800	1065.05	3.92	4.53	6.2	5.67	4.95
79	47900	1064.71	29.76	38.47	6.8	7.62	16.84
80	48000	1064.81	19.07	22.34	14.22	14.59	21.83
81	48100	1064.23	53.85	66.03	19.24	18.14	29.34
82	48200	1064.22	22.77	13.7	13.1	7.17	23.56
83	48300	1064.56	54.72	25.96	16.06	7.67	29.25
84	48400	1064.34	57.04	55.5	10.89	6.46	28.64
85	48500	1064.61	37.79	38.34	10.5	10.59	25.39

86	48600	1064.73	27.11	43.65	7.76	9.05	41.72
87	48700	1063.57	33.51	30.99	13.61	14.71	16.45
88	48800	1068.52	124.53	96.78	399.65	27.06	135.78
89	48900	1068.67	60.87	53.89	24.99	15.13	54.46
90	49000	1069.62	78.62	73.88	19.22	17.63	65.59
91	49100	1069.71	221.55	102.22	138.34	29.04	195.57
92	49200	1077.51	51.58	64.73	16.4	13.6	77.36
93	49300	1087.96	78.43	48.65	32.89	37.47	82.28
94	49400	1071.87	50.39	58.78	21.89	9.71	64.3
95	49500	1070.37	72.36	110.4	20.95	18.31	106.22
96	49600	1069.93	103.42	115.85	15.6	12.06	88.04
97	49700	1072.07	51.76	81.03	20.71	20.07	112.22
98	49800	1072.02	58.26	68.35	12.22	19.41	66.18
99	49900	1072.03	55.9	55.69	22.6	18.64	91.99
100	50000	1072.38	53	68.47	15.95	23.96	106.35

Berdasarkan Tabel 2 terdapat hasil yang berbeda-beda untuk setiap parameter TQI. Dari data kemudian dicari nilai terbesar dan terkecil untuk setiap parameter TQI. Untuk nilai terbesar dan terkecil pada profil diperlukan profil kanan dan profil kiri. Kemudian untuk alinyemen horizontal juga diperlukan nilai terbesar dan terkecil pada alinyemen horizontal kanan dan kiri.

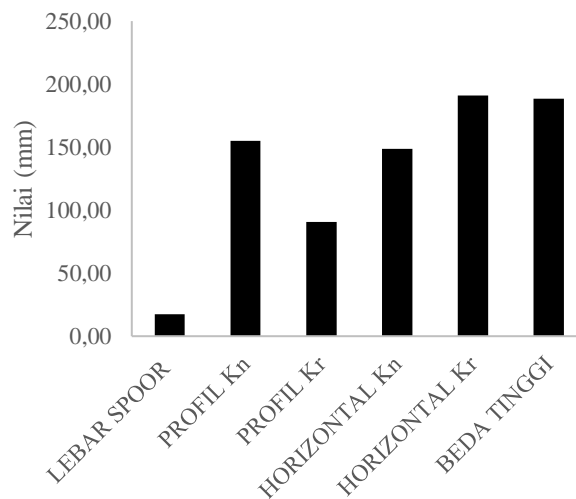
Lebar sepur memiliki jarak dengan nilai terbesar 1082.82 dan nilai terkecil 1065.34. Profil kanan memiliki jarak dengan nilai terbesar 157.78 dan nilai terkecil 2.77 kemudian profil kiri memiliki nilai terbesar 95.21 dan nilai terkecil 4.51. Alinyemen kanan memiliki jarak dengan nilai terbesar 191.02 dan nilai terkecil 0, kemudian alinyemen kiri memiliki nilai terbesar 193.69 dan nilai terkecil 5.27.

Setiap parameter TQI kemudian diolah untuk mendapatkan deviasi rata-rata, varians dan standart deviasi, yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Setiap Parameter TQI

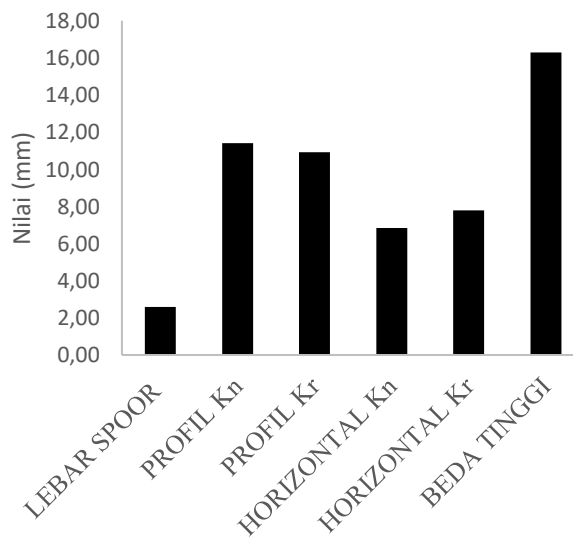
No	Ukuran Penyebaran	Lebar Spoor (mm)	Profil		Alinyemen Horizontal		Beda Tinggi (mm)
			Kanan mm	Kiri mm	Kanan mm	Kiri mm	
1	Jarak (Range)	17.48	155.01	90.70	148.48	191.02	188.42
2	Deviasi Rata-Rata	2.59	11.39	10.90	6.84	7.79	16.30
3	Varians	17.00	419.34	239.34	253.86	407.92	917.44
4	Standart Deviasi	4.12	20.48	15.47	15.93	20.20	30.29

Ukuran penyebaran untuk nilai jarak dengan dihubungkan dengan masing-masing parameter TQI didapatkan nilai tertinggi pada parameter alinyemen kiri dan nilai terendah pada parameter lebar sepur. Grafik hubungan ukuran penyebaran terhadap jarak dan dihubungkan dengan setiap parameter dapat dilihat pada Gambar 2.



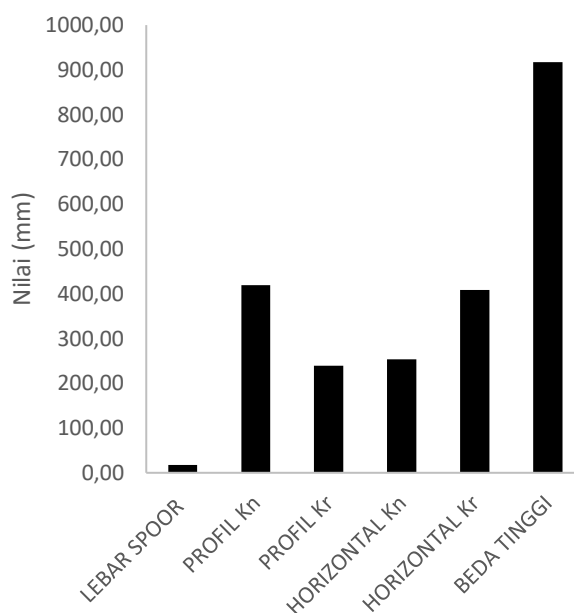
Gambar 2. Grafik Ukuran Penyebaran Terhadap Jarak

Data dari kereta ukur kemudian dicari nilai deviasi rata-rata. Deviasi rata-rata (Gambar 3) digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui selisih nilai ukuran penyebaran terhadap setiap parameter TQI.



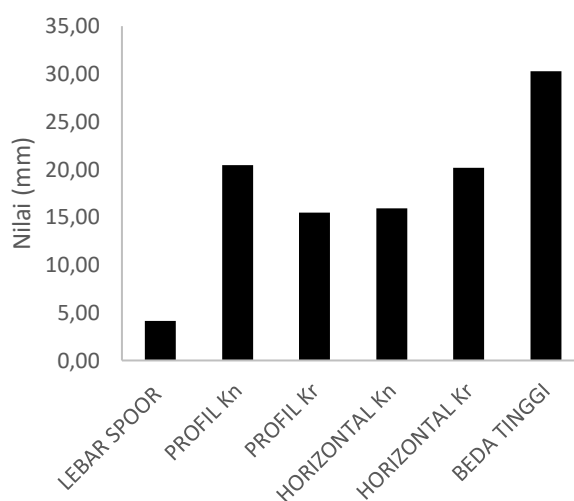
Gambar 3. Grafik Deviasi Rata - Rata

Nilai penyebaran data dari nilai rata-rata atau varians pada penelitian ini terdapat pada parameter TQI beda tinggi sebesar 917.44 (Gambar 4).



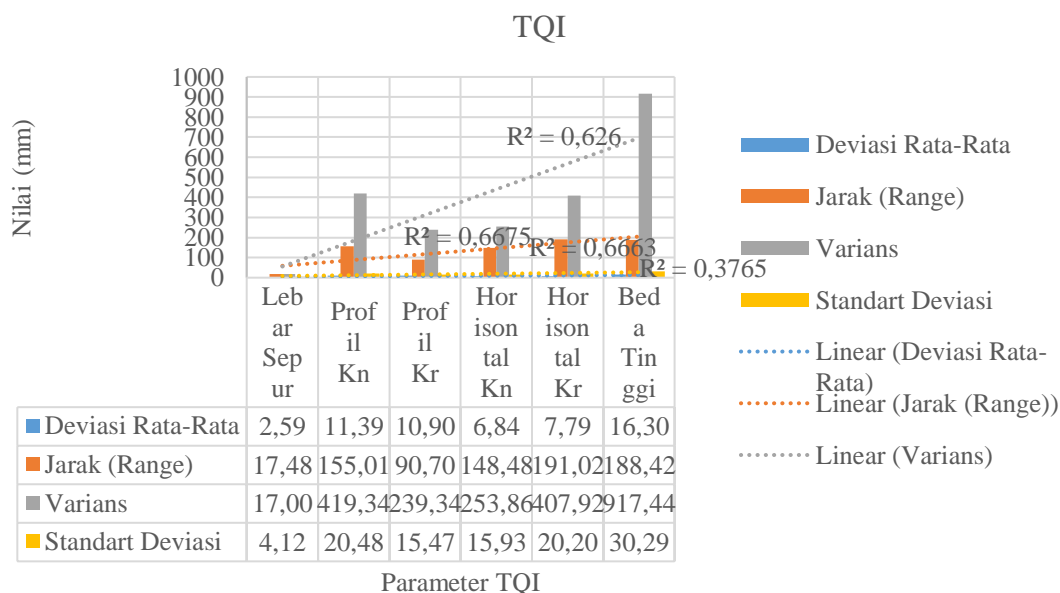
Gambar 4. Grafik Varians

Grafik standart deviasi menunjukkan pamarameter TQI beda tinggi mempunyai nilai terbesar dibandingkan dengan parameter TQI lainnya. Lebar sepur dari setiap pengolahan data mempunyai nilai terkecil.



Gambar 5. Standart Deviasi

Pengolah data yang terakhir adalah mendapatkan nilai standart deviasi. Dari semua pengolahan data yang sudah didapatkan nilai kemudian diambil nilai yang terbesar. Data yang terbesar kemudian di masukkan pada pengklasifikasian kondisi.



Gambar 6. Grafik Ukuran Penyebaran Terhadap TQI

Hasil pengolahan data dari setiap parameter TQI kemudian dirata-rata untuk mendapatkan nilai rata-rata terbesar. Dari data TQI Average nilai TQI pada lintas melalui metode rata-rata diperoleh 93.77663. Dari data TQI Standart Deviasi nilai TQI pada lintas melalui metode rata-rata diperoleh 37.81.

KESIMPULAN

Berdasarkan ketentuan pengelompokan nilai TQI maka diambil pada nilai TQI yang tertinggi yaitu TQI *average* yang berada pada nilai 4. Pengambilan angka yang lebih tinggi ditunjukkan untuk keselamatan operasi perkeretaapian, semakin tinggi nilai nya semakin buruk kondisi jalan rel tersebut sehingga diperlukan perawatan jalan rel dengan frekuensi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adityadharma, C., Basuki, T., Staf, J., Fakultas Teknik, P., Santosa, W., Pengajar, S., & Teknik, F. (2004). Kajian Sistem Manajemen Pemeliharaan Jalan Rel Daerah Operasi 2 Bandung: Studi Kasus Distrik 23C Kiaracondong. *Jurnal Transportasi*, 4(1), 37–46.
- Aulia, R., & Parikesit, D. (2017). Perencanaan pemeliharaan jalan rel daop vi yogyakarta. *Prosiding Simposium II – UNIID 2017, September*, 978–979.
- Berawi, A. R. B., Delgado, R., Calçada, R., & Vale, C. (2010). Evaluating track geometrical quality through different methodologies. *International Journal of Technology*, 1(1), 38–47.
- Bressi, S., Santos, J., & Losa, M. (2021). Optimization of maintenance strategies for railway track-bed considering probabilistic degradation models and different reliability levels. *Reliability Engineering and System Safety*, 207(April 2020). <https://doi.org/10.1016/j.res.2020.107359>
- Fistcar, W. A., Widyastuti, H., & Prastyanto, C. A. (2020). Pengaruh Parameter Track Quality Indeks (Tqi) Terhadap Perilaku Bantalan Beton (Studi kasus: Track Quality Indeks (TQI) penyimpangan geometri 25 mm-40 mm). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 131–138.
- Kristian, Y., & Roesdiana, T. (2016). Analisis Kerusakan Jalan Rel Wilayah UPT Resor Jalan Rel 3.13 Tanjung Berdasarkan Hasil Kereta Ukur. *Jurnal Konstruksi*, V(1), 95–110.
- Liu, R. K., Xu, P., Sun, Z. Z., Zou, C., & Sun, Q. X. (2015). Establishment of track quality index standard recommendations for beijing metro. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015(November). <https://doi.org/10.1155/2015/473830>
- Lubis, R. R. A., & Widyastuti, H. (2020). Penentuan Rekomendasi Standar Track Quality Index

- (TQI) untuk Kereta Semicepat di Indonesia (Studi Kasus : Surabaya - Cepu). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 39. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v18i1.5405>
- Neves Costa, J., Ambrósio, J., Andrade, A. R., & Frey, D. (2023). Safety assessment using computer experiments and surrogate modeling: Railway vehicle safety and track quality indices. *Reliability Engineering and System Safety*, 229(September 2022). <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108856>
- Panjaitan, H., & Sembiring, I. S. (2011). *TONNAGE DAN ANALISIS KEBUTUHAN PEMELIHARAAN TAHUNAN JALAN REL DENGAN ANALISA JO TAHUN 2011. 2011.*
- Rodríguez, A., Sañudo, R., Miranda, M., Gómez, A., & Benavente, J. (2021). Smartphones and tablets applications in railways, ride comfort and track quality. Transition zones analysis. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 182. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109644>
- Roghani, A., Macciotta, R., & Hendry, M. (2015). Combining track quality and performance measures to assess track maintenance requirements. *2015 Joint Rail Conference, JRC 2015, March*. <https://doi.org/10.1115/JRC2015-5654>
- Rosyidi, S. A., & Setiawan, D. (2017). Track Quality Index As Track Quality. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, July, 11–13.
- Sresakoolchai, J., & Kaewunruen, S. (2023). Interactive reinforcement learning innovation to reduce carbon emissions in railway infrastructure maintenance. *Developments in the Built Environment*, 15(June), 100193. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100193>
- Wolf, G. (2015). *Individual Geometry Topics.*