

Prediksi Nilai *Track Quality Index* (TQI) Berdasarkan Data Frekuensi dan Beban Lalu Lintas untuk Lebar Sepur 1067

Arisma Havino Wantana¹, Hera Widyastuti², dan Catur Arif Prastyanto³

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, Indonesia, 60111

¹arismahavino@yahoo.com

²hera.widyastuti@yahoo.co.uk

³cpprastyanto@gmail.com

Diterima: 11 September 2020, Direvisi: 30 November 2020, Disetujui: 3 Desember 2020

ABSTRACT

Track Quality Index (TQI) Value Prediction Based on Frequency Data and Traffic Load for 1067 Track Gauge: Track Quality Index (TQI) is an output from a measurement train. The higher TQI value indicates the higher level of railroad damage. The government has limitations to get the TQI value due to the limited number of measuring trains that are owned. Therefore, an alternative is needed to predict TQI values so that the safety aspect is guaranteed. To predict the TQI value on the width of the rail 1067 mm, a statistical regression analysis method was used. The variables used are TQI Parameters (Y) value, traffic frequency (X1) and traffic load (X2). Based on analysis, the form of the equations to predict the value of TQI parameters are $Y_{Pert} = 1,00.10^{-5} X_1 + 1,47.10^{-7} X_2 + 3,58$; $Y_{Ang} = 2,08.10^{-5} X_1 + 1,62.10^{-7} X_2 + 3,77$; $Y_{Listr} = 1,07.10^{-5} X_1 + 1,60.10^{-7} X_2 + 1,75$; $Y_{Lbspr} = 1,76.10^{-5} X_1 + 1,36.10^{-7} X_2 + 0,32$. The magnitude of the frequency and traffic load values in the TQI value categories are 10,230 train/yr and 11,524,169 tons/yr in categories 1, 17,050 train/yr and 19,206,948 tons/yr in category 2, 27,280 train /yr and 30,731,117 tons/yr in category 3 as well as more than 27,280 train/yr and 30,731,117 tons/yr in category 4.

Keywords: track quality index; safety; regresion; equations.

ABSTRAK

Track Quality Index (TQI) adalah output dari kereta ukur. Semakin tinggi nilai TQI, tingkat kerusakan jalan rel semakin parah. Pemerintah memiliki keterbatasan untuk mendapatkan nilai TQI karena terbatasnya jumlah kereta ukur yang dimiliki. Oleh karena itu, diperlukan alternatif untuk memprediksi nilai TQI sehingga aspek keselamatan terjamin. Untuk memprediksi nilai TQI pada lebar rel 1067 mm, digunakan metode analisis regresi. Variabel yang digunakan adalah nilai Parameter TQI (Y), frekuensi lalu lintas (X1) dan beban lalu lintas (X2). Berdasarkan hasil analisis, bentuk persamaan untuk memprediksi nilai parameter TQI adalah $Y_{Pert} = 1,00.10^{-5} X_1 + 1,47.10^{-7} X_2 + 3,58$; $Y_{Angk} = 2,08.10^{-5} X_1 + 1,62.10^{-7} X_2 + 3,77$; $Y_{Listr} = 1,07.10^{-5} X_1 + 1,60.10^{-7} X_2 + 1,75$; $Y_{Lbspr} = 1,76.10^{-5} X_1 + 1,36.10^{-7} X_2 + 0,32$. Besarnya frekuensi dan nilai beban lalu lintas dalam kategori nilai TQI adalah 10.230 kereta/tahun dan 11.524.169 ton/tahun pada kategori 1, 17.050 kereta/tahun dan 19.206.948 ton/tahun pada kategori 2, 27.280 kereta/tahun dan 30.731.117 ton/tahun pada kategori 3 serta lebih dari 27.280 kereta/tahun dan 30.731.117 ton/tahun pada kategori 4.

Kata Kunci: track quality index; keselamatan; regresi; persamaan.

I. Pendahuluan

Track Quality Index (TQI) adalah suatu nilai atau output berupa angka dari hasil pengukuran kereta ukur. TQI dapat menggambarkan penurunan kualitas lintasan dan menjadi acuan bagi urgensi pemeliharaan. Selain itu, TQI juga berkorelasi dengan standar keselamatan dan nilai kualitas berkendara (Chong et al., 2017). Kualitas track didefinisikan sebagai nilai numerik yang mewakili kondisi relatif dari geometri permukaan track (Nadarajah & Widyastuti, 2017). Dalam praktek lapangan, informasi nilai TQI dapat digunakan oleh pihak Operator di bidang perkeretaapian guna menentukan tingkat kecepatan operasional sarana kereta api berdasarkan kondisi kerusakan jalan rel

(Lubis & Widyastuti, 2020). Selain itu, Informasi nilai TQI juga dapat digunakan sebagai bahan untuk menentukan urgensi terhadap kegiatan pemeliharaan jalan rel suatu lintas (Phanyakit & Satiennam, 2018). Pada penelitian yang lain ditemukan bahwa nilai TQI juga berpengaruh terhadap struktur bawah jalan rel yaitu meliputi bantalan dan penambat (Fistcar et al., 2020)

Nilai *Track Quality Index* diperoleh dari penjumlahan keempat parameter yang diperoleh dari output data kereta ukur. Keempat parameter yang mempengaruhi nilai TQI adalah angkatan, listringan, pertinggian dan lebar sepur. Pengukuran listringan (alinyement horizontal) menghasilkan nilai 0 apabila rel dalam keadaan

lurus. Tanda negatif pada parameter listringan menunjukkan rel menyimpang horizontal ke arah sisi luar, sedangkan tanda positif pada parameter ini menunjukkan rel menyimpang horizontal ke sisi dalam. Nilai lebar spur yang ditampilkan dalam grafik adalah nilai langsung yang diperoleh oleh transducer lebar spur. Parameter angkatan (alinyemen vertikal) menghasilkan nilai 0 apabila rel dalam keadaan lurus. Tanda negatif pada parameter listringan menunjukkan rel menyimpang vertikal ke arah bawah, sedangkan tanda positif pada parameter ini menunjukkan rel menyimpang vertikal ke arah atas. Pengukuran pertinggian dilakukan dengan memakai alat yang disebut rate gyro dan inclinometer (pengukur kemiringan) yang dipasang badan rangka bawah diatas bogie tengah (Karunianingrum & Widyastuti, 2020).

Dalam mengukur kondisi lintasan, angka-angka yang dihasilkan dari setiap parameter TQI memberikan ukuran kualitas segmen secara keseluruhan (Rosyidi & Setiawan, 2017). Pada tahun 2016 terjadi kecelakaan pada KA 3019 di

lintas Kertapati – Baturaja. Kondisi geometri jalan rel yang tidak laik di Km 239 sampai dengan Km 238,6 yang ditunjukkan dengan nilai TQI yang buruk di lokasi tersebut berkontribusi terhadap anjlogan (KNKT, 2016). Data TQI pada lintas tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**. Dari Tabel 1 diketahui nilai TQI segmen jalan rel dari Km 239 sampai Km 238 lebih dari 40.

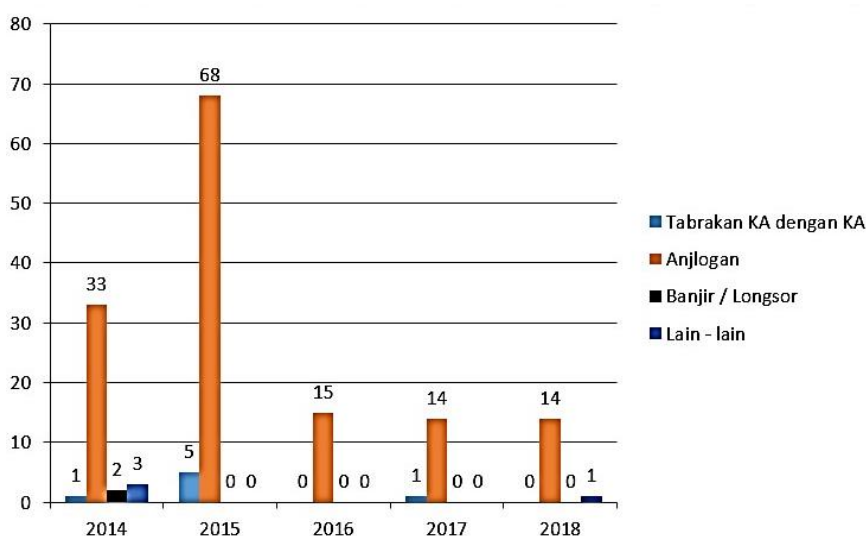
Berdasarkan data dari Direktorat Keselamatan, Direktorat Jenderal Perkeretaapian diketahui jenis kecelakaan kereta api dari tahun 2014 sampai 2018 didominasi oleh anjlogan. Data jenis kecelakaan kereta api tahun 2014-2018 dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Permasalahan Pemerintah untuk mengurangi jumlah kecelakaan kereta api khususnya disebabkan anjlogan, diperparah dengan terbatasnya jumlah kereta ukur yang dimiliki saat ini. Jumlah kereta ukur yang dimiliki Direktorat Jenderal Perkeretaapian sebanyak 5 kereta ukur yang tersebar di Pulau Jawa, Pulau Sumatera, dan Pulau Sulawesi (Pustikomhub, 2019). Dengan panjang

Tabel 1.
Nilai TQI Lintas Kertapati-Baturaja

No	Lokasi (Km, Hm)		Panjang (meter)	Kelas	TQI
	Dari	Ke			
1	239	238,8	200	3	70,93
2	238,8	238,6	200	3	52,83
3	238,6	238,4	200	3	46,84
4	238,4	238,2	200	3	40,4
5	238,2	238,0	200	3	52,4
6	238,0	238	200	3	41,6
7	238	237,8	200	3	36,39
8	237,8	237,6	200	3	30,24
9	237,6	237,4	200	3	33

Sumber: Laporan investigasi kecelakaan, KNKT 2016



Sumber: Direktorat Jenderal Perkeretaapian, 2018

Gambar 1.
Grafik Jenis Kecelakaan KA Th 2014-2018.

lintasan operasional yang mencapai 6.061.634 m pada tahun 2018 (Perkeretaapian, 2011), jumlah sarana kereta ukur saat ini tentu tidak memadai. Hal ini menyebabkan identifikasi kerusakan jalan rel dikarenakan penurunan kualitas lintasan menjadi tidak maksimal. Dengan demikian, diperlukan langkah alternatif untuk memprediksi nilai TQI suatu segman jalan rel selain data output dari pengoperasian kereta ukur. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan suatu persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi nilai TQI tanpa harus mengoperasikan kereta ukur.

Karakteristik lalu lintas kereta api di Indonesia berbeda pada setiap lokasi. Di Pulau Jawa, moda angkutan kereta api lebih banyak digunakan untuk angkutan penumpang dengan frekuensi yang tinggi namun beban (*load*) yang rendah. Sebaliknya di Pulau Sumatera, angkutan kereta api dimanfaatkan untuk angkutan barang dengan frekuensi lalu lintas yang rendah namun beban (*load*) yang tinggi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini lokasi penelitian ditetapkan pada daerah operasional kereta api dengan karakteristik lalu lintas yang berbeda-beda agar dapat diketahui hubungan antara frekuensi, beban lalu lintas dan nilai parameter TQI. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan di jalan raya, kerusakan pada perkerasan jalan dipengaruhi adanya beban berlebih (*overloaded*) (Prastyanto, 2018). Dalam penelitian ini akan diketahui seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan oleh adanya perbedaan frekuensi dan beban lalu lintas (*passing tonnage*) terhadap kerusakan jalan rel.

Nilai TQI terdiri dari empat parameter penyusunnya, yakni Pertinggian, Angkatan, Listringan, dan Lebar Sepur. Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah didapatkannya suatu persamaan untuk masing-masing nilai parameter TQI berdasarkan frekuensi dan beban lalu lintas tahunan. Selain itu, pada penelitian ini juga dapat diketahui hubungan frekuensi dan beban lalu lintas terhadap nilai TQI. Sehingga akan didapatkan suatu prediksi tingkat kerusakan jalan rel berdasarkan kategori nilai TQI

yang dipengaruhi oleh besarnya frekuensi dan beban lalu lintas tahunan yang ada. Tingkat kerusakan jalan rel berdasarkan kategori nilai TQI dapat dilihat pada **Tabel 2**.

II. Metodologi Penelitian

A. Umum

Track Quality Index (TQI) merupakan suatu nilai atau *output* berupa angka dari hasil pengukuran kereta ukur. TQI dapat menggambarkan penurunan kualitas lintasan dan menjadi acuan bagi urgensi pemeliharaan. Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, nilai TQI digunakan sebagai bahan acuan pemeliharaan jalan rel (Phanyakit & Satiennam, 2018). nilai TQI dapat digunakan oleh pihak Operator di bidang perkeretaapian guna menentukan tingkat kecepatan operasional sarana kereta api berdasarkan kondisi kerusakan jalan rel (Lubis & Widyastuti, 2020). Pada penelitian yang lain ditemukan bahwa nilai TQI juga berpengaruh terhadap struktur bawah jalan rel yaitu meliputi bantalan dan penambat (Fistcar et al., 2020).

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan suatu persamaan untuk memprediksi nilai TQI suatu jalan rel menggunakan metode analisis regresi. Regresi merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya korelasi antar variabel. Pada analisis regresi, peramalan atau perkiraan nilai variabel terikat pada nilai variabel bebas lebih akurat. Dalam analisis regresi, variabel terikat biasanya diberi notasi Y dan variabel bebas biasanya diberi notasi X. Untuk menilai seberapa besar pengaruh variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y) adalah dengan melihat nilai koefisien determinasi (R^2). Hasil model akan semakin baik apabila nilai R^2 mendekati 1 dan sebaliknya, model semakin jelek apabila nilai R^2 mendekati 0 (Padilah & Adam, 2019). Dalam penelitian ini digunakan dua variabel bebas yaitu frekuensi (X1) dan beban lalu lintas (X2) serta satu variabel terikat yaitu nilai TQI (Y).

Tabel 2.
Batasan (Thresholds) Nilai Kerusakan per Kategori

Parameter	Kat. 1	Kat.2	Kat.3	Kat.4
Angkatan	2	5	8	>8
Listringan	1.5	4	10	>10
Pertinggian	2	6	9	>9
Lb spur	2	5	10	>10
TQI (max)	15	25	40	>40
Kec. GAPEKA	100-120	80-100	60-80	<60

Sumber: Rulhendri, 2015

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada lintas Surabaya–Mojokerto (DAOP VIII), Surabaya–Semarang (DAOP IV), Bangil–Jember (DAOP IX) dan Kertapati–Prabumulih (DIVRE III). Penelitian dilakukan pada Oktober 2019 s.d Juni 2020.

C. Metode Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini berupa data sekunder yang didapatkan dari Direktorat Jenderal Perkeretaapian selaku regulator di bidang perkeretaapian dan PT. KAI selaku operator untuk kereta api regional. Untuk mendukung analisa regresi, diperlukan data historis grafik perjalanan kereta api (gapeka), data stamformasi KA, dan data nilai TQI dalam waktu 5 (lima) tahun terakhir

D. Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif meliputi perhitungan:

1. Frekuensi lalu lintas tahunan kereta api.
2. Beban lalu lintas tahunan kereta api.
3. Perhitungan nilai TQI pada setiap parameter.
4. Analisa data secara statistik mengenai prediksi nilai TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas.

E. Analisis Data

1. Perhitungan Frekuensi Kereta Api

Frekuensi kereta api pada suatu lintas didapatkan dari perhitungan kereta yang melintas yang ada di gapeka. Untuk mengidentifikasi jenis kereta yang melintas pada gapeka, digunakan notasi lingkaran untuk jenis kereta penumpang dan notasi persegi panjang untuk jenis kereta barang. Agar lebih jelas, ditampilkan contoh notasi jenis kereta api pada gapeka dalam **Gambar 2**.

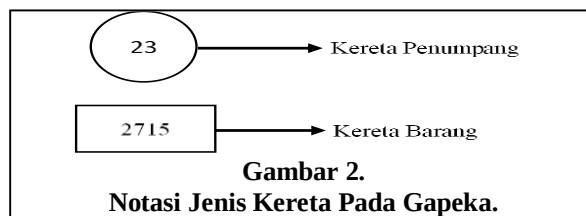
Dari perhitungan frekuensi kereta api pada gapeka, didapatkan data frekuensi dalam satu tahun untuk masing-masing lintas. Pada saat penelitian ini dilakukan, terdapat 3 (tiga) kali perubahan gapeka dalam waktu 5 tahun terakhir, yakni gapeka 2015, 2017 dan 2019.

2. Perhitungan Beban Lalu Lintas Tahunan

Dalam menghitung beban lalu lintas tahunan, diperlukan data stamformasi KA. Data stamformasi KA menggambarkan susunan rangkaian kereta api yang ada pada suatu rangkaian (Panjaitan & Sembiring, 2011). Untuk mendapatkan beban lalu lintas tahunan, digunakan rumus:

$$T = 360 \times S \times TE \dots\dots\dots (1)$$

$$TE = Tp + (Kb \times Tb) + (K1 \times T1) \dots\dots\dots (2)$$



Dimana T adalah Kapasitas angkut lintas (ton/tahun); TE adalah Tonase ekivalen (ton/hari); Tp adalah Tonase penumpang dan kereta harian; Tb adalah Tonase barang dan gerbong harian; T1 adalah Tonase Lokomotif harian; S adalah Koefisien yang besarnya bergantung pada kualitas lintas, yaitu: S adalah 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km/jam; S adalah 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang; Kb adalah Koefisien yang besarnya bergantung pada beban gandar, yaitu: Kb adalah 1,5 untuk beban gandar < 18 ton; Kb adalah 1,3 untuk beban gandar > 18 ton; K1 adalah Koefisien yang besarnya ditentukan sebesar 1,4.

3. Perhitungan Nilai Parameter TQI

Track quality index merupakan suatu ukuran nilai (index) yang digunakan untuk menyatakan tingkat kualitas keteraturan suatu rel berdasarkan beberapa parameter penyusunnya. Parameter yang digunakan dalam menentukan nilai TQI untuk standar perkeretaapian Indonesia meliputi: lebar sepur, profile (angkatan), alignment (listrangan), dan *crosslevel* (pertinggian). Nilai *Track Quality Index* adalah jumlah dari keempat parameter tersebut. Nilai Parameter *Track Quality Index* (TQI) diperoleh dari nilai rata-rata per 200 m pada lokasi studi.

4. Analisis Regresi

Regresi merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya korelasi antar variable. Pada analisis regresi, peramalan atau perkiraan nilai variabel terikat pada nilai variabel bebas lebih akurat. Dalam analisis regresi, variabel terikat biasanya diberi notasi Y dan variabel bebas biasanya diberi notasi X. Dalam bidang statistik, bentuk hubungan atau model persamaan regresi dibedakan menjadi 2 yaitu regresi linier dan regresi non linier. Untuk menilai seberapa besar pengaruh variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y) adalah dengan melihat nilai koefisien determinasi (R²). Hasil model akan semakin baik apabila nilai R² mendekati 1 dan sebaliknya, model semakin jelek apabila nilai R² mendekati 0.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Perhitungan Frekuensi Kereta Api

Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) menggambarkan pola operasi kereta api selama

waktu 24 jam operasi. Untuk mendapatkan frekuensi lalu lintas tahunan kereta api, maka perhitungan frekuensi harian kereta api dikalikan dengan 365 (tiga ratus enam puluh lima) hari. Pada saat penelitian ini dilaksanakan, terdapat 3 (tiga) kali perubahan Gapeka. Perubahan Gapeka terjadi pada Tahun 2015, Tahun 2017, dan Tahun 2019. Dengan demikian, akan didapatkan tiga macam data frekuensi kereta api dari tahun 2015 sampai tahun 2019 pada tiap lokasi studi sesuai dengan Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka). Hasil perhitungan frekuensi lalu lintas tahunan pada tahun 2015-2019 dapat dilihat pada **Tabel 3**.

B. Hasil Perhitungan Beban Lalu Lintas Tahunan

Perhitungan beban lalu lintas tahunan juga berpedoman pada pola operasi kereta api sesuai dengan grafik perjalanan kereta api. Pada saat penelitian ini dilaksanakan, terdapat 3 (tiga) kali perubahan Gapeka. Perubahan Gapeka terjadi pada Tahun 2015, Tahun 2017, dan Tahun 2019. Dengan demikian, akan didapatkan tiga macam data beban lalu lintas kereta api dari tahun 2015 sampai tahun 2019 pada tiap lokasi studi sesuai dengan Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka). Hasil perhitungan beban lalu lintas tahunan pada tahun 2015-2019 dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 3.
Frekuensi Lalu Lintas KA Tahun 2015-2019

Lokasi	Frekuensi KA per Gapeka (Rangkaian KA/Tahun)			
	Periode Gapeka	KA Pnp	KA Brg	Total Frekuensi
SGU-MJK (47.7 - 4.5)	Gapeka 2015	19,710	730	20,440
	Gapeka 2017	15,330	2,920	18,250
	Gapeka 2019	16,425	1,460	17,885
SBI-SMT (88.7-124.8)	Gapeka 2015	4,745	5,110	9,855
	Gapeka 2017	3,650	6,570	10,220
	Gapeka 2019	4,745	7,665	12,410
BG-JR (47.0-197.3)	Gapeka 2015	4,380	0	4,380
	Gapeka 2017	5,110	1,460	6,570
	Gapeka 2019	5,840	730	6,570
KPT-PBM (322.3 - 400.1)	Gapeka 2015	3,650	16,790	20,440
	Gapeka 2017	3,650	16,790	20,440
	Gapeka 2019	4,380	24,090	28,470

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Tabel 4.
Beban Lalu Lintas KA Tahun 2015-2019

Lokasi	Gapeka	Beban Lalu Lintas Tahunan (Ton/Tahun)
SGU-MJK (47.7 - 4.5)	Gapeka 2015	9,390,920
	Gapeka 2017	14,566,200
	Gapeka 2019	12,081,386
SBI-SMT (88.7-124.8)	Gapeka 2015	19,735,866
	Gapeka 2017	27,626,357
	Gapeka 2019	14,892,725
BG-JBR (47.0 - 197.3)	Gapeka 2015	2,024,405
	Gapeka 2017	4,929,487
	Gapeka 2019	3,705,847
KPT-PBM (322.3 - 400.1)	Gapeka 2015	42,401,984
	Gapeka 2017	38,942,402
	Gapeka 2019	42,323,193

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

C. Hasil Perhitungan Nilai Parameter TQI

Track quality index merupakan suatu ukuran nilai (index) yang digunakan untuk menyatakan tingkat kualitas keteraturan suatu rel, berdasarkan beberapa parameter penyusunnya. Parameter yang digunakan dalam menentukan nilai TQI untuk standar perkeretaapian Indonesia meliputi: lebar sepur, profile (angkatan), alignment (listringan), dan crosslevel (pertinggian). Nilai *Track Quality Index* adalah jumlah dari keempat parameter yang ada. Nilai Parameter *Track Quality Index* (TQI) diperoleh dari nilai rata-rata per 200 m pada lokasi studi. Perhitungan nilai parameter TQI pada lokasi studi dapat dilihat pada **Tabel 5**. Rekapitulasi nilai parameter TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas Th 2015-2019 dapat dilihat pada **Tabel 6**.

D. Uji Homogenitas

Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah variasi beberapa data dari populasi memiliki varians yang sama atau tidak. Jika nilai signifikansi atau Sig. < 0,05, maka varians dari dua atau lebih kelompok populasi data adalah tidak sama (tidak homogen). Jika nilai signifikansi atau Sig. > 0,05, maka varians dari dua atau lebih kelompok populasi data adalah sama (homogen). Pada penelitian ini, digunakan program bantu SPSS untuk memudahkan proses analisa data. Hasil uji homogenitas dapat dilihat pada **Tabel 7**.

Dari Tabel 7 diketahui nilai Sig. pada masing-masing parameter lebih dari 0,05. Dengan demikian, varians data adalah sama (homogen) dan dapat dilanjutkan ke analisa selanjutnya.

Tabel 5.
Nilai Parameter TQI Tahun 2015-2019

LOK	Gapeka	TQI	Pert	Ang	List	Lbsp
SGU-MJK (47.7 - 4.5)	2015	16.12	5.29	5.57	3.27	1.99
	2017	16.34	5.33	5.64	3.34	2.03
	2019	17.20	5.13	6.27	3.97	1.83
SBI-SMT (88.7-124.8)	2015	21.39	6.41	7.09	4.79	3.11
	2017	25.07	7.54	7.79	5.49	4.24
	2019	18.31	5.61	6.34	4.04	2.31
BG-JBR (47.0 - 197.3)	2015	14.03	4.87	4.94	2.64	1.57
	2017	14.37	4.76	4.73	3.43	1.46
	2019	11.95	4.01	4.76	2.46	0.71
KPT-PBM (322.3 - 400.1)	2015	37.56	10.56	11.52	9.22	6.26
	2017	31.45	8.43	10.10	7.80	5.13
	2019	40.69	11.21	11.93	9.63	7.91

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Tabel 6.
Rekapitulasi nilai parameter TQI berdasarkan frekuensi dan beban lalu lintas Th 2015-2019

Lok	X1	X2	Dependent Variabel (Y)				
	Frek	Load	TQI	Pert	Angk	List	L.sp
SGU-MJK (47.7 - 4.5)	20,440	9,390,920	16.12	5.29	5.57	3.27	1.99
	18,250	14,566,200	16.34	5.33	5.64	3.34	2.03
	17,885	12,081,386	17.20	5.13	6.27	3.97	1.83
SBI-SMT (88.7-124.8)	9,855	19,735,866	21.39	6.41	7.09	4.79	3.11
	10,220	27,626,357	25.07	7.54	7.79	5.49	4.24
	12,410	14,892,725	18.31	5.61	6.34	4.04	2.31
BG-JBR (47.0-197.3)	4,380	2,024,405	14.03	4.87	4.94	2.64	1.57
	6,570	4,929,487	14.37	4.76	4.73	3.43	1.46
	6,570	3,705,847	11.95	4.01	4.76	2.46	0.71
KPT-PBM (322.3- 400.1)	20,440	42,401,984	37.56	10.56	11.52	9.22	6.26
	20,440	38,942,402	31.45	8.43	10.10	7.80	5.13
	28,470	42,323,193	40.69	11.21	11.93	9.63	7.91

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

E. Uji Multikolinearitas

Setelah dilakukan uji homogenitas, maka dilakukan uji multikolinearitas. Tujuan dari uji multikolinearitas adalah untuk mengetahui apakah ditemukan adanya korelasi (hubungan kuat) antar variable bebas atau variable independent. Suatu model regresi yang baik tidak terjadi korelasi diantara variable bebas atau tidak terjadi gejala multikolinearitas. Untuk mendeteksi ada tidaknya gejala multikolinearitas dalam model regresi, maka dilakukan dengan cara melihat nilai tolerance dan variance inflating factor (VIF).

Jika nilai tolerance lebih besar dari 0,10 maka tidak terjadi multikolinearitas dalam model regresi. Jika nilai tolerance lebih kecil dari 0,10 maka terjadi multikolinearitas dalam model regresi. Jika nilai $VIF < 10,00$ maka tidak terjadi gejala multikolinearitas, Jika nilai $VIF > 10,00$ maka terjadi gejala multikolinearitas. Hasil pengujian multikolinearitas dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Dari Tabel 8 diketahui nilai tolerance frekuensi dan load masing-masing sebesar 0,500 atau lebih besar dari 0,10. Nilai VIF frekuensi dan load masing-masing sebesar 2,002 atau lebih kecil dari 10,00. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi gejala multikolinearitas pada masing-masing variable bebas.

F. Analisis Regresi Berganda

Untuk mendapatkan persamaan pada setiap parameter nilai TQI, maka dilakukan analisis regresi berganda. Regresi berganda adalah analisa yang digunakan untuk mengukur hubungan antara dua atau lebih variabel bebas (X) dengan variabel terikat (Y) (Prastyanto, 2018). Hasil analisa regresi

pada masing-masing parameter dapat dilihat pada **Tabel 9 sampai 20**.

Dari Tabel 9 sampai 11, diketahui:

1. Koefisien determinasi pada persamaan tersebut adalah sebesar 0,927 artinya 93% parameter pertinggian dipengaruhi oleh frekuensi dan beban lalu lintas.
2. Untuk nilai dari Sig. (P-Value) frekuensi sebesar 0,810 atau lebih besar dari 0,05 artinya variable frekuensi memberikan pengaruh namun tidak signifikan pada besarnya nilai parameter pertinggian. nilai Sig. (P-Value) beban sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,05 artinya variable beban memberikan pengaruh signifikan pada besarnya nilai parameter pertinggian.
3. Pada hasil uji ANOVA diketahui nilai Sig. sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,05 artinya bahwa secara bersama-sama variable bebas mempengaruhi variable terikat.

Persamaan untuk memprediksi nilai parameter pertinggian adalah:

$$Y_{\text{Pert}} = 1,00^{-5} X_1 + 1,47^{-7} X_2 + 3,58 \dots\dots (3)$$

Dimana Y_{Pert} adalah parameter pertinggian, X_1 adalah frekuensi, dan X_2 adalah beban lalu lintas.

Dari Tabel 12 sampai 14, diketahui:

1. Koefisien determinasi pada persamaan tersebut adalah sebesar 0,962 artinya 96% parameter angkutan dipengaruhi oleh frekuensi dan beban lalu lintas.
2. Untuk nilai dari Sig. (P-Value) frekuensi sebesar 0,532 atau lebih besar dari 0,05 artinya variable frekuensi memberikan pengaruh namun tidak signifikan pada

Tabel 7.
Hasil Uji Homogenitas

Parameter	Sig.
Pertinggian	0,60
Angkatan	0,116
Listringan	0,399
Lebar Sepur	0,146
Frekuensi	0,102
Beban Lalu Lintas	0,144

Sumber: Hasil Uji Homogenitas

Tabel 8.
Hasil Uji Multikolinearitas

Model	Statistik kolinearitas	
	Tolerance	VIF
Frekuensi	0,500	2,002
Beban lalu lintas	0,500	2,002

Sumber: Hasil Uji Multikolinearitas

Tabel 9.
Hasil Analisa Regresi Berganda Parameter Pertinggian

Variabel Penelitian	Koefisien	Standard Error	Sig. (P-Value)
Intercept	3,584	0,469	0,000
Frek (X ₁)	1,00 ⁻⁵	0,000	0,810
Beban (X ₂)	1,47 ⁻⁷	0,000	0,000

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 10.
Hasil Uji ANOVA Parameter Pertinggian

Model	Sum of Squares	F	Sig.
Regression	56.300	56.823	0,000
Residual	4.459		
Total	60.759		

Sumber: Hasil Uji ANOVA

Tabel 11.
Tabel R Square Parameter Pertinggian

Statistik Regresi	
R	0,963
R Square	0,927
Adjusted R Square	0,910
Standard Errorr	0,70385

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 12.
Hasil Analisa Regresi Berganda Parameter Angkatan

Variabel Penelitian	Koefisien	Standard Error	Sig. (P-Value)
Intercept	3,770	0,370	0,000
Frek (X ₁)	2,08 ⁻⁵	0,000	0,532
Beban (X ₂)	1,62 ⁻⁷	0,000	0,000

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 13.
Hasil Uji ANOVA Parameter Angkatan

Model	Sum of Squares	F	Sig.
Regression	70.882	114.988	0,000
Residual	2.774		
Total	73.656		

Sumber: Hasil Uji ANOVA

Tabel 14.
Tabel R Square Parameter Angkatan

Statistik Regresi	
R	0,981
R Square	0,962
Adjusted R Square	0,954
Standard Errorr	0,55517

Sumber: Hasil Analisis

besarnya nilai parameter angkatan. nilai Sig. (P-Value) beban sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,05 artinya variable beban memberikan pengaruh signifikan pada besarnya nilai parameter angkatan.

3. Pada hasil uji ANOVA diketahui nilai Sig. sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,05 artinya bahwa secara bersama-sama variable bebas mempengaruhi variable terikat.

Persamaan untuk memprediksi nilai parameter angkatan adalah:

$$Y_{\text{Angkt}} = 2,08^{-5} X_1 + 1,62^{-7} X_2 + 3,7 \dots \quad (4)$$

Dimana Y_{Angkt} adalah parameter angkatan, X_1 adalah frekuensi, dan X_2 adalah beban lalu lintas.

Dari Tabel 15 sampai 17, diketahui:

1. Koefisien determinasi pada persamaan tersebut adalah sebesar 0,948 artinya 95% parameter listrangan dipengaruhi oleh frekuensi dan beban lalu lintas.
2. Untuk nilai dari Sig. (P-Value) frekuensi sebesar 0,777 atau lebih besar dari 0,05 artinya variable frekuensi memberikan pengaruh namun tidak signifikan pada besarnya nilai parameter listrangan. nilai Sig. (P-Value) beban sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,05 artinya variable beban memberikan pengaruh signifikan pada besarnya nilai parameter listrangan.
3. Pada hasil uji ANOVA diketahui nilai Sig. sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,05 artinya bahwa secara bersama-sama variable bebas mempengaruhi variable terikat.

Persamaan untuk memprediksi nilai parameter listrangan adalah:

$$Y_{\text{Listr}} = 1,07^{-5} X_1 + 1,60^{-7} X_2 + 1,75 \dots \quad (5)$$

Dimana Y_{List} adalah parameter listrangan, X_1 adalah frekuensi, dan X_2 adalah beban lalu lintas.

Dari Tabel 18 sampai 20, diketahui:

1. Koefisien determinasi pada persamaan tersebut adalah sebesar 0,923 artinya 92% parameter lebar sepur dipengaruhi oleh frekuensi dan beban lalu lintas.
2. Untuk nilai dari Sig. (P-Value) frekuensi sebesar 0,664 atau lebih besar dari 0,05 artinya variable frekuensi memberikan pengaruh namun tidak signifikan pada besarnya nilai parameter lebar sepur. nilai Sig. (P-Value) beban sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,05 artinya variable beban memberikan pengaruh signifikan pada besarnya nilai parameter lebar sepur.
3. Pada hasil uji ANOVA diketahui nilai Sig. sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,05 artinya bahwa secara bersama-sama variable bebas mempengaruhi variable terikat.

Persamaan untuk memprediksi nilai parameter lebar sepur adalah:

$$Y_{\text{Lbspr}} = 1,76^{-5} X_1 + 1,36^{-7} X_2 + 0,32 \dots \quad (6)$$

Dimana Y_{Lbsp} adalah parameter lebar sepur, X_1 adalah frekuensi, dan X_2 adalah beban lalu lintas.

Tabel 15.
Hasil Analisa Regresi Berganda Parameter Listrangan

Variabel Penelitian	Koefisien	Standard Error	Sig. (P-Value)
Intercept	1,748	0,423	0,000
Frek (X_1)	1,07 ⁻⁵	0,000	0,777
Beban (X_2)	1,60 ⁻⁷	0,000	0,000

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 16.
Hasil Uji ANOVA Parameter Listrangan

Model	Sum of Squares	F	Sig.
Regression	65.967	88.028	0,000
Residual	3.169		
Total	69.586		

Sumber: Hasil Uji ANOVA

Tabel 17.
Tabel R Square Parameter Listrangan

Statistik Regresi	
R	0,974
R Square	0,948
Adjusted R Square	0,936
Standard Error	0,63412

Sumber: Hasil Analisis

G. Hubungan Frekuensi dan Beban Lalu Lintas Terhadap Nilai Track Quality Index (TQI)

Pada lokasi penelitian, diketahui adanya perbedaan karakteristik lalu lintas angkutan kereta api. Beberapa lintas kereta api di Pulau Jawa memiliki karakteristik angkutan dengan frekuensi tinggi, namun memiliki beban lalu lintas yang rendah. Disisi lain, di Pulau Sumatera frekuensi angkutan kereta api lebih rendah daripada di Pulau Jawa tetapi beban lalu lintasnya tinggi dikarenakan adanya operasional kereta api barang dengan muatan yang besar. Untuk mengetahui prediksi

kategori nilai TQI berdasarkan frekuensi dan beban lalu lintas, maka dilakukan perhitungan sebagaimana **Tabel 21**.

Pada Tabel 21, tanda * merupakan nilai frekuensi untuk kenaikan satu satuan kenaikan nilai TQI. Tanda ** merupakan nilai beban lalu lintas untuk kenaikan satu satuan nilai TQI. Dengan demikian, nilai frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai TQI dapat dilihat pada **Tabel 22**. Hubungan frekuensi dan beban lalu lintas terhadap nilai TQI dalam bentuk grafik dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Tabel 18.
Hasil Analisa Regresi Berganda Parameter Angkutan

Variabel Penelitian	Koefisien	Standard Error	Sig. (P-Value)
Intercept	0,323	0,452	0,493
Frek (X ₁)	1,76 ⁻⁵	0,000	0,664
Beban (X ₂)	1,36 ⁻⁷	0,000	0,000

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 19.
Hasil Uji ANOVA Parameter Angkutan

Model	Sum of Squares	F	Sig.
Regression	49.615	54.030	0,000
Residual	4.132		
Total	53.747		

Sumber: Hasil Uji ANOVA

Tabel 20.
Tabel R Square Parameter Angkutan

Statistik Regresi	
R	0,961
R Square	0,923
Adjusted R Square	0,906
Standard Errorr	0,67760

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 21.
Rasio Nilai Frekuensi dan Beban Pada Kenaikan 1 Satuan Nilai TQI

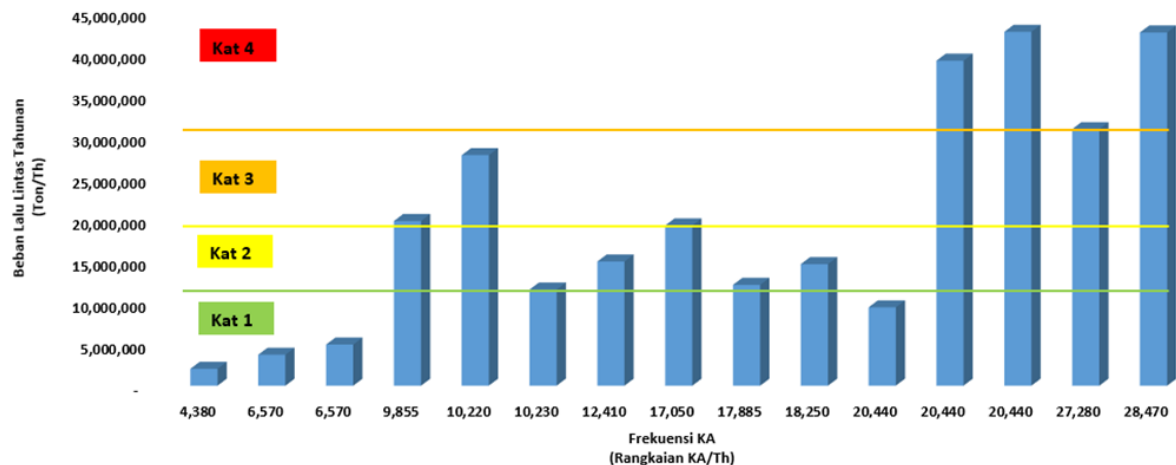
Frek ^(a) (rangk/th)	Beban ^(b) (ton/th)	Nilai TQI ^(c)	1/(a*c)	1/(b*c)
20.440	9.390.920	16.12	1.268	582.554
18.250	14.566.200	16.34	1.117	891.708
17.885	12.081.386	17.20	1.040	702.238
9.855	19.735.866	21.39	461	922.612
10.220	27.626.357	25.07	408	1.102.123
12.410	14.892.725	18.31	678	813.508
4.380	2.024.405	14.03	312	144.329
6.570	4.929.487	14.37	457	342.922
6.570	3.705.847	11.95	550	310.240
20.440	42.401.984	37.56	544	1.128.905
20.440	38.942.402	31.45	650	1.238.090
28.470	42.323.193	40.69	700	1.040.105
Rata-rata			682*	768.278**

Sumber: Hasil Perhitungan Nilai TQI

Tabel 22.
Nilai Frekuensi dan Beban Lalu Lintas Pada Setiap Kategori Nilai TQI

Frekuensi	Beban Lalu Lintas	Nilai TQI (Maks)	Keterangan
682	768.278	1	Nilai Awal
10.230	11.524.169	15	Kategori 1
17.050	19.206.948	25	Kategori 2
27.280	30.731.117	40	Kategori 3
27.962	31.499.395	> 40	Kategori 4

Sumber: Hasil Perhitungan Setiap Kategori Nilai TQI



Gambar 3.
Hubungan Frekuensi dan Beban Lalu Lintas Terhadap Nilai TQI.

IV. Kesimpulan

Nilai *Track Quality Index* (TQI) suatu jalan rel dapat memberikan gambaran tentang kondisi kerusakan pada suatu lintas. Nilai TQI terdiri dari 4 (empat) parameter penyusunnya yaitu: Peninggian, Angkatan, Listringan, dan Lebar Sepur. Terbatasnya jumlah kereta ukur yang dimiliki Pemerintah mengharuskan tersedianya metode alternatif sebagai solusi dalam rangka penurunan resiko terjadinya kecelakaan. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bentuk persamaan untuk memprediksi nilai parameter TQI adalah $Y_{Pert} = 1,00.10^{-5} X_1 + 1,47.10^{-7} X_2 + 3,58$; $Y_{Angkt} = 2,08.10^{-5} X_1 + 1,62.10^{-7} X_2 + 3,77$; $Y_{Listr} = 1,07.10^{-5} X_1 + 1,60.10^{-7} X_2 + 1,75$; $Y_{Lbspr} = 1,76.10^{-5} X_1 + 1,36.10^{-7} X_2 + 0,32$.

Dari analisa yang telah dilakukan, diketahui frekuensi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai TQI, sedangkan beban lalu lintas memberikan pengaruh yang signifikan. Besarnya nilai frekuensi dan nilai beban lalu lintas berturut-turut pada kategori 1 nilai TQI adalah 10.230 kereta/tahun dan 11.524.169 ton/tahun. Pada kategori 2 nilai TQI, besarnya frekuensi dan beban lalu lintas berturut-turut adalah 17.050 kereta/tahun dan 19.206.948 ton/tahun. Besarnya nilai frekuensi dan nilai beban lalu lintas berturut-turut pada kategori 3 nilai TQI adalah 27.280

kereta/tahun dan 30.731.117 ton/tahun. Pada kategori 4 nilai TQI, besarnya frekuensi dan beban lalu lintas berturut-turut adalah lebih dari 27.280 kereta/tahun dan lebih dari 30.731.117 ton/tahun.

V. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka beberapa saran yang dapat disampaikan adalah mengingat penelitian ini hanya untuk memprediksi nilai TQI pada lebar sepur 1067, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memprediksi nilai TQI untuk lebar sepur yang lainnya. Selain itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk memprediksi nilai TQI dengan memperhatikan kondisi struktural prasarana perkeretaapian. Agar nilai yang didapat lebih akurat/presisi dalam hal prediksi suatu nilai TQI, dibutuhkan penelitian lanjutan untuk memprediksi nilai TQI dengan mempertimbangkan pengaruh dari variabel bebas yang lain.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung dalam hal penyediaan data khususnya Kementerian Perhubungan selaku regulator dibidang perkeretaapian dan PT. KAI selaku operator.

Daftar Pustaka

- Chong, T. L., Awad, M. N., Nadarajah, N., Chiu, W. K., Lingamanaik, S. N., Hardie, G., Ravitharan, R., & Widyastuti, H. 2017. *Defining Rail Track Input Conditions Using an Instrumented Revenue Vehicle*. *Procedia Engineering*, 188, 479–485. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.511>
- Fistcar, W. A., Widyastuti, H., & Iranata, D. 2020. *Pengaruh Parameter Track Quality Indeks (TQI) Terhadap Perilaku Bantalan Beton*. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil ITS*, 18(1), 131–138.
- Karunianingrum, D. I., & Widyastuti, H. 2020. *Penilaian Indeks Kualitas Jalan Rel (Track Quality Index) berdasarkan Standar Perkeretaapian Indonesia (Studi Kasus : Cirebon-Cikampek)*. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 81. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v18i1.5710>
- KNKT. 2016. *Laporan Investigasi Kecelakaan Perkeretaapian Anjlok KA 3019*. Jakarta: Komite Nasional Keselamatan Transportasi
- Lubis, R. R. A., & Widyastuti, H. 2020. *Penentuan Rekomendasi Standar Track Quality Index (TQI) untuk Kereta Semcepat di Indonesia (Studi Kasus : Surabaya - Cepu)*. 18, 39–44.
- Nadarajah, N., & Widyastuti, H. 2017. *Using instrumented revenue vehicles to inspect track integrity and rolling stock performance in a passenger network during peak times*. *Procedia Engineering*, 188, 424–431. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.504>
- Padilah, T. N., & Adam, R. I. 2019. *Analisis Regresi Linier Berganda Dalam Estimasi Produktivitas Tanaman Padi di Kabupaten Karawang*. *FIBONACCI: Jurnal Pendidikan Matematika Dan Matematika*, 5(2), 117. <https://doi.org/10.24853/fbc.5.2.117-128>
- Panjaitan, H., & Sembiring, I. S. 2011. *Tonnage dan Analisis Kebutuhan Pemeliharaan Tahunan Jalan Rel Dengan Analisa Jo Tahun 2011*. 2011.
- Direktorat Jenderal Perkeretaapian. 2011. *Rencana Induk Perkeretaapian Nasional*. Jakarta: Kementerian Perhubungan
- Phanyakit, T., & Satiennam, T. 2018. *Track-quality index and degradation of railway track structure : The construction track doubling project of northeast line from thanon chira junction to khon kaen station*. *Thailand*. 02022, 4-7.
- Prastyanto, C. A. 2018. *Dampak Beban Berlebih (Overloaded) Pada Kendaraan Berat Terhadap Persamaan Equivalent Axle Load (Eal) Pada Perencanaan Perkerasan Jalan Berdasarkan Teori Deformasi Permanen (Permanent Deformation)*. Disertasi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Pustikomhub. 2019. *Statistik Perhubungan 2010*. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Rosyidi, S. A., & Setiawan, D. 2017. *Track Quality Index As Track Quality*. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, July, 11–13.