



TESIS - RC 185401

**PREDIKSI NILAI TRACK QUALITY INDEX (TQI)
BERDASARKAN DATA FREKUENSI DAN BEBAN LALU
LINTAS KERETA API UNTUK LEBAR SEPUR 1067**

ARISMA HAVINO WANTANA

NRP 03111 8500 80008

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D

Dr. Catur Arif P, S.T., M. Eng

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TEKNIK DAN MANAJEMEN JALAN REL

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Arisma Havino Wantana

NRP: 03111850080008

Tanggal Ujian: 25 Juni 2020

Periode Wisuda: September 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Ir. Hera Widyastuti, M.T., Ph.D
NIP. 19600828 198701 2 001

2. Dr. Catur Arif P, S.T., M.Eng
NIP. 19700708 199802 1 001

Penguji:

1. Dr.Eng. Arie D S, S.T., MEPM
NIP. 19700708 199802 1 001

2. Data Iratana, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19800430 200501 1 002



Kepala Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Dr. tech. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc.

NIP. 19721202 199802 1 001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

Tesis yang berjudul: “**Prediksi Nilai Track Quality Index (TQI) berdasarkan Data Frekuensi dan Beban Lalu Lintas untuk Lebar Sepur 1067**” ini adalah karya penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya /tulis untuk memperoleh gelar akademik maupun karya ilmiah/tulis yang pernah dipublikasikan oleh orang lain, kecuali dijadikan kutipan dari bagian karya ilmiah/tulis orang lain dengan menyebutkan sumbernya, baik dalam naskah disertasi maupun daftar pustaka.

Apabila ternyata ditemukan dan terbukti terdapat unsur-unsur plagiasi di dalam naskah **tesis** ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan akademik ITS dan/atau perundang-undangan yang berlaku.

Surabaya, 6 Agustus 2020



Arisma Havino Wantana

NRP: 03111850080008

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PREDIKSI NILAI TRACK QUALITY INDEX (TQI) BERDASARKAN DATA FREKUENSI DAN BEBAN LALU LINTAS UNTUK LEBAR SEPUR 1067

Nama Mahasiswa : Arisma Havino Wantana
NRP : 03111850080008
Jurusan : S2 Teknik dan Manajemen Jalan Rel
Dosen Pembimbing : Ir. Hera Widyastuti, MT.,Ph.D
Dr. Catur Arif P, S.T., M.Eng

Abstrak

Track Quality Index (TQI) merupakan nilai atau output berupa angka dari hasil pengukuran kereta ukur yang dapat memberikan informasi kualitas jalan rel yang dilewati pada suatu segmen jalan rel. Nilai Track Quality Index (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 anjlogan, dipengaruhi oleh buruknya nilai TQI. Pemerintah memiliki keterbatasan untuk mendapatkan nilai TQI dikarenakan jumlah kereta ukur yang dimiliki terbatas serta pengoperasian kereta ukur yang bersifat berkala. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif untuk memprediksi nilai TQI selain data pengoperasian kereta ukur.

Untuk memprediksi nilai TQI pada lebar sepur 1067 mm, digunakan metode analisa statistic regresi. Variable yang digunakan adalah nilai parameter TQI (Y), frekuensi lalu lintas KA (X1) dan beban lalu lintas KA (X2). Untuk mengukur pengaruh variable bebas terhadap variable mengikat digunakan uji t dan uji F. Data yang digunakan meliputi 4 lokasi studi yang ada di Pulau Jawa dan Pulau Sumatera. Keempat lokasi ini memiliki perbedaan karakteristik lalu lintas berupa frekuensi kereta api dan beban lalu lintas. Berdasarkan hasil analisa diketahui beban lalu lintas berpengaruh signifikan terhadap nilai TQI, sedangkan frekuensi tidak. Bentuk persamaan untuk memprediksi nilai parameter pertinggian, angkatan, listringan dan lebar sepur berturut-turut adalah $Y_{Pert} = 1,00.10^{-5} X_1 + 1,47.10^{-7} X_2 + 3,58$; $Y_{Angkt} = 2,08.10^{-5} X_1 + 1,62.10^{-7} X_2 + 3,77$; $Y_{Listr} = 1,07.10^{-5} X_1 + 1,60.10^{-7} X_2 + 1,75$; $Y_{Lbspr} = 1,76.10^{-5} X_1 + 1,36.10^{-7} X_2 + 0,32$. Bentuk persamaan untuk memprediksi nilai total TQI adalah $Y_{TQI} = 5,93.10^{-5} X_1 + 6,06.10^{-7} X_2 + 9,43$. Besarnya nilai frekuensi dan beban lalu lintas pada kategori nilai TQI berturut-turut adalah 10.230 rangkaian ka/th dan 11.524.169 ton/th pada kategori 1, 17.050 rangkaian ka/th dan 19.206.948 ton/th pada kategori 2, 27.280 rangkaian ka/th dan 30.731.117 ton/th pada kategori 3 serta lebih dari 27.280 rangkaian ka/th dan 30.731.117 ton/th pada kategori 4.

Kata Kunci: Anjlogan, Track Quality Index (TQI), Kereta Ukur, Frekuensi, Beban Lintas, Persamaan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

TRACK QUALITY INDEX (TQI) VALUE PREDICTION BASED ON FREQUENCY DATA AND TRAFFIC LOAD FOR 1067 TRACK GAUGE

Student Name : Arisma Havino Wantana
Student Number : 03111850080008
Major : Civil Engineering
Advisor : Ir. Hera Widyastuti, MT.,Ph.D
Dr. Catur Arif P, S.T., M.Eng

Abstract

Track Quality Index (TQI) is a value or output in the form of a number from the measurement results of a measurement train that can provide information on the quality of the railroad that is traversed on a rail segment. The Track Quality Index (TQI) value is obtained from the sum of 4 measurement parameters, namely width of the rail, profile, alignment and height. The higher TQI value indicates the higher level of railroad damage. Several reports of train accident investigations, especially the derailment events, were influenced by the poor value of TQI. The government has limitations to get the TQI value due to the limited number of measuring trains that are owned as well as the periodic operation of the measuring trains.

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 (Y) value, KA traffic frequency (X1) and KA traffic load (X2). To measure the effect of independent variables on binding variables used the t test and F test. The data used include 4 study locations in Java and Sumatra. These four locations have different traffic characteristics in the form of train frequency and traffic load. This difference in characteristics is expected to illustrate variations in data in the form of traffic frequencies, railroad load and TQI values.

Based on the analysis results it is known that the traffic load has a significant effect on the TQI value, while the frequency does not. The form of the equation to predict the parameters of altitude, force, listening and width of the rail line is $Y_{Pert} = 1,00.10^{-5} X_1 + 1,47.10^{-7} X_2 + 3,58$; $Y_{Ang} = 2,08.10^{-5} X_1 + 1,62.10^{-7} X_2 + 3,77$; $Y_{Listr} = 1,07.10^{-5} X_1 + 1,60.10^{-7} X_2 + 1,75$; $Y_{Lbspr} = 1,76.10^{-5} X_1 + 1,36.10^{-7} X_2 + 0,32$. The form of the equation to predict the total value of TQI is $Y_{TQI} = 5,93.10^{-5} X_1 + 6,06.10^{-7} X_2 + 9,43$. The magnitude of the frequency and traffic load values in the TQI value categories are 10,230 ka/yr and 11,524,169 tons/yr in categories 1, 17,050 ka/yr and 19,206,948 tons/yr in category 2, 27,280 ka/yr and 30,731,117 tons/yr in category 3 as well as more than 27,280 series of ka/yr and 30,731,117 tons/yr in category 4.

Keyword: Derailment, Track Quality Index (TQI), Measuring Train, Frequency, Track Load, Equation

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Abstrak.....	iii
Abstract.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	10
1.3 Tujuan.....	10
1.4 Batasan Masalah.....	10
1.5 Manfaat.....	11
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1 Umum.....	13
2.2 Grafik Perjalanan Kereta Api.....	13
2.3 Perhitungan Beban Lintas.....	15
2.4 <i>Track Quality Index</i> (TQI).....	16
2.5 Analisis Regresi.....	26
2.6 Penelitian Terdahulu.....	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Umum.....	31
3.2 Tahap Pengerjaan.....	31
3.3 Hasil penelitian.....	48
3.4 Diagram Alir Metodologi.....	48

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Umum.....	51
4.2 Perhitungan Nilai Frekuensi Lalu Lintas Kereta Api	52
4.3 Perhitungan Beban Lalu Lintas Tahunan Kereta Api	66
4.4 Nilai Parameter Track Quality Index tiap Lokasi Studi	78
4.5 Rekapitulasi nilai parameter TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas.....	81
4.6 Persamaan untuk Memprediksi Nilai Parameter TQI berdasarkan Data Frekuensi dan Beban Lalu Lintas Kereta Api	83
4.7 Hubungan frekuensi, beban lalu lintas dan nilai <i>track quality index</i> (TQI).....	101
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	107
5.1 Kesimpulan.....	107
5.2 Saran.....	108
DAFTAR PUSTAKA.....	1101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gapeka Surabaya-Mojokerto.....	14
Gambar 2.2 Gapeka Prabumulih – Kertapati.....	14
Gambar 2.3 Parameter Listringan pada lintasan kereta api.....	18
Gambar 2.4 Parameter Lebar Sepur pada lintasan kereta api.....	19
Gambar 2.5 Ketidakrataan rel pada alinyemen vertical.....	19
Gambar 2.6 Parameter Angkatan (Profil) pada lintasan kereta api.....	20
Gambar 2.7 Parameter Perteinggian pada lintasan kereta api.....	21
Gambar 2.8 Contoh Parameter Perteinggian pada lengkung.....	22
Gambar 3.1 Gapeka Lintas Surabaya-Mojokerto 00.00 – 08.00.....	34
Gambar 3.2 Nilai TQI SGU-MJK Thn 2015.....	44
Gambar 3.3 Diagram alir metodologi penelitian.....	49
Gambar 3.3 Diagram alir metodologi penelitian (lanjutan).....	50
Gambar 4.1 Gapeka Th 2015 Lintas SGU-MJ pukul 00.00-08.00.....	52
Gambar 4.2 Contoh notasi kereta penumpang dan kereta barang pada Gapeka... 53	
Gambar 4.3 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 SGU - MJK (STA 47.7 s.d STA 4.5).....	55
Gambar 4.4 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 SGU - MJK (STA 47.7 s.d STA 4.5).....	55
Gambar 4.5 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 SGU - MJK (STA 47.7 s.d STA 4.5).....	56
Gambar 4.6 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 SBI - SMT (STA 9.9 s.d STA 88.7).....	56
Gambar 4.7 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 SBI - SMT (STA 9.9 s.d STA 88.7).....	57
Gambar 4.8 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 SBI - SMT (STA 9.9 s.d STA 88.7).....	57
Gambar 4.9 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8).....	58

Gambar 4. 10 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8).....	58
Gambar 4. 11 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8).....	59
Gambar 4. 12 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3).....	59
Gambar 4. 13 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3).....	60
Gambar 4. 14 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3).....	60
Gambar 4. 15 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1).....	61
Gambar 4. 16 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1).....	61
Gambar 4. 17 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1).....	62
Gambar 4. 18 Frekuensi kereta api 2015 s.d 2019 Lintas SGU - MJK (STA 47.7 s.d STA 4.5).....	63
Gambar 4. 19 Frekuensi kereta api 2015 s.d 2019 Lintas SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8).....	63
Gambar 4. 20 Frekuensi kereta api 2015 s.d 2019 Lintas BG - JBR (STA 47.0 s.d STA 197.3).....	64
Gambar 4. 21 Frekuensi kereta api 2015 s.d 2019 Lintas KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1).....	65
Gambar 4. 22 Beban lalu lintas SGU - MJ (STA 47.7 s.d STA 4.5) Tahun 2015 s.d 2019.....	76
Gambar 4. 23 Beban lalu lintas SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8) Tahun 2015 s.d 2019.....	76
Gambar 4. 24 Beban lalu lintas BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3) Tahun 2015 s.d 2019.....	77
Gambar 4. 25 Beban lalu lintas Kertapati–Prabumulih (KPT-PBM) Th 2015- 2019	78

Gambar 4. 26 Data Track Quality index Lintas SGU – MJK	79
Gambar 4. 27 Data Track Quality index Lintas BG - JR	79
Gambar 4. 28 Proses inputing data uji homogenitas	84
Gambar 4. 29 Inputing data pada data view	84
Gambar 4. 30 Running data uji homogenitas tahap 1	85
Gambar 4. 31 Running data uji homogenitas tahap 2	85
Gambar 4. 32 Running data uji homogenitas tahap 3	86
Gambar 4. 33 Output uji homogenitas parameter pertinggian	86
Gambar 4. 34 Output uji homogenitas parameter angkatan	87
Gambar 4. 35 Output uji homogenitas parameter listringan	87
Gambar 4. 36 Output uji homogenitas parameter lebar sepur	88
Gambar 4. 37 Output uji homogenitas variable bebas frekuensi	88
Gambar 4. 38 Output uji homogenitas variable bebas beban lalu lintas	89
Gambar 4. 39 Output uji homogenitas variable nilai TQI	89
Gambar 4. 40 inputing data pada variable view	91
Gambar 4. 41 inputing data pada data view	91
Gambar 4. 42 running data uji multikolinearitas tahap 1	92
Gambar 4. 43 running data uji multikolinearitas tahap 2	92
Gambar 4. 44 running data uji multikolinearitas tahap 3	93
Gambar 4. 45 output uji multikolinearitas	93
Gambar 4. 46 output analisa regresi berganda parameter pertinggian	94
Gambar 4. 47 output analisa regresi berganda parameter angkatan	96
Gambar 4. 48 output analisa regresi berganda parameter listringan	97
Gambar 4. 49 output analisa regresi berganda parameter lebar sepur	98
Gambar 4. 50 output analisa regresi berganda nilai TQI	100
Gambar 4. 51 Grafik hubungan frekuensi, beban lalu lintas terhadap prediksi nilai TQI	105

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Produksi angkutan kereta api di Jawa dan Sumatera	2
Tabel 1.2 Jenis kecelakaan dan penyebab kecelakaan	2
Tabel 1.3 Nilai TQI pada Lintas Prabumulih - Kertapati.....	3
Tabel 1.4 Batasan nilai penyimpangan tiap parameter	4
Tabel 1.5 Perbandingan metode pendekatan penurunan kualitas jalan rel	6
Tabel 1.6 Data TQI Lintas Surabaya – Mojokerto (SGU-MJ) Eksisting.....	8
Tabel 1.7 Data TQI Lintas Bangil – Jember (BG-JR) Eksisting.....	9
Tabel 1.8 Data TQI Lintas Surabaya - Semarang (SBI-SMT) Eksisting.....	9
Tabel 1.9 Data TQI Lintas Kertapati - Prabumulih (KPT-PBM) Eksisting.....	10
Tabel 2.1 Spesifikasi Lebar Jalan Rel 1067 mm.....	15
Tabel 2.2 Contoh Data Track Quality Index	19
Tabel 2.3 Kategori kelas berdasarkan kecepatan maksimum	24
Tabel 2.4 Nilai toleransi berdasarkan kelas jalan.....	24
Tabel 2.5 Nilai toleransi yang diizinkan dan jenis perbaikan rel.....	25
Tabel 2.6 Standar nilai Track Quality Index	25
Tabel 2.7 Batasan (thresholds) nilai kerusakan per kategori	26
Tabel 2.8 Tabulasi penelitian terdahulu	25
Tabel 3.1 Daftar kereta penumpang yang melintas.....	35
Tabel 3.2 Daftar kereta barang yang melintas	36
Tabel 3.3 Stamformasi rangkaian kereta penumpang.....	37
Tabel 3.4 Stamformasi rangkaian gerbong barang	37
Tabel 3.5 Beban gerbong sesuai kelasnya.....	38
Tabel 3.6 Beban lintas harian KA Penumpang Medan-Tebing Tinggi.....	38
Tabel 3.7 Beban lintas harian KA Barang Medan-Tebing Tinggi.....	39
Tabel 4. 1 Frekuensi Lalu Lintas KA hari Tahun 2015-2019	54
Tabel 4. 2 Daftar kereta yang melintas lintas SGU – MJ Th 2017	67
Tabel 4. 3 Stamformasi KA Penumpang Dipo Induk Jakarta Kota Th 2017.....	70
Tabel 4. 4 Beban kereta/gerbong berdasarkan kelas pelayanannya	71
Tabel 4. 5 Beban Lokomotif	72

Tabel 4. 6 Rekapitulasi beban lintas SGU – MJ Th 2017	73
Tabel 4. 7 Beban Lalu Lintas Tahunan pada Lintas Studi Tahun 2015 s.d 2019..	75
Tabel 4. 8 Stasiun pada lintas Bangil-Jember.....	80
Tabel 4. 9 Stasiun pada lintas Bangil-Jember.....	80
Tabel 4. 10 Rekapitulasi nilai TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas	82
Tabel 4. 11 Rekapitulasi data frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI.....	102
Tabel 4. 12 Rekapitulasi data frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI.....	103
Tabel 4. 13 Hubungan nilai frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai TQI.....	104

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala karunia, rahmat, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “*Prediksi Nilai TQI berdasarkan Data Frekuensi dan Beban Lalu Lintas Untuk Lebar Sepur 1067*”.

Dalam proses penyusunan tesis, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu. Untuk itu, dengan penuh rasa hormat penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas semua bantuan dan kerjasamanya yang telah diberikan baik secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tesis ini hingga selesai. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada yang terhormat:

1. Orang tua yang telah memberi dukungan, baik secara moril materil yang tak terhingga sehingga penulis bisa menyelesaikan tesis
2. Ibu Ir. Hera Widyastuti, MT.,Ph.D selaku dosen pembimbing serta wali kelas TMJR 2018 yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan tesis
3. Bapak Dr. Catur Arif P, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi dalam penyusunan tesis
4. Bapak Data Iranata, S.T. M.T. Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan demi kesempurnaan tesis ini.
5. Bapak Dr. Arie Dipareza Syafei, S.T. MEPM selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan demi kesempurnaan tesis ini.
6. Bapak Dr.techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc selaku Kepala Departemen Teknik Sipil dan Bapak Ir. I Putu Artama Wiguna, M.T., Ph.D selaku Ketua Program Pasca Sarjana Departemen Teknik Sipil FTSPK – ITS yang telah banyak membantu selama menjalani Pendidikan jenjang S2 dan dalam penyelesaian tesis ini.

7. Bapak Djunarko, Bapak Fauzi, Bapak Robin, Bapak Pras dan seluruh staf administrasi Departemen Teknik Sipil ITS yang telah membantu kelancaran penyelesaian tesis ini.
8. Bapak Bambang Setiyo Prayitno selaku Manager Administrasi and Facility PT. Kereta Api Indonesia (Persero) yang memberikan ijin survey dan peminjaman data pengukuran kualitas jalan rel.
9. Bapak Taufik selaku Junior Manager Geometri Track and Bridge PT. Kereta Api Indonesia (Persero) yang membantu peminjaman data serta memberikan wawasan tentang teori pengukuran Track Quality Indeks (TQI).
10. Teman-teman S-2 Prodi Teknik Manajemen Jalan Rel Departemen Teknik Sipil ITS 2018 lainnya, terima kasih atas semangat perjuangan yang telah diberikan
11. Kementerian Perhubungan melalui BPSDM Perhubungan yang telah mendukung dan membiayai program beasiswa S2 tahun anggaran 2018
12. Yang sangat saya cintai, istri saya Sylvia Meita Anggraini , anak-anak saya Varo dan Dipa beserta seluruh keluarga besar saya dan istri yang telah memberi dukungan, semangat dan doa yang tinggi dalam penyelesaian tesis ini.
13. Semua pihak yang tidak bias saya sebutkan namanya satu-persatu, yang telah membantu, memberi dukungan dan semangat dalam penyelesaian tesis ini.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan, dukungan, dan kesabaran yang telah diberikan. Selanjutnya penulis menyadari bahwa dalam penyusunan masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi sempurnanya penyusunan tesis ini. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan semua pihak.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kereta api merupakan alat transportasi massal yang umumnya terdiri dari lokomotif (kendaraan dengan tenaga gerak yang berjalan sendiri) dan rangkaian kereta atau gerbong yang bergerak di atas rel. Sebagai alat transportasi massal kereta api adalah angkutan yang efisien untuk jumlah penumpang yang tinggi sehingga sangat cocok diterapkan pada koridor suatu wilayah yang padat (Litmann, 2007).

Pulau Jawa dan Pulau Sumatera untuk sementara ini merupakan Pulau di Indonesia dengan jaringan konektivitas perkeretapiian yang sudah beroperasi. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 60 Tahun 2012 tentang Pesyaratan Teknis Jalur Kereta Api, lebar sepur yang ada di Indonesia adalah lebar sepur 1067 mm dan 1435 mm. Di Pulau Jawa, secara keseluruhan lintasan kereta api menggunakan lebar sepur 1067 mm. Di Pulau Sumatera, pada DIVRE I Sumatera Utara dan Aceh terdapat lintasan kereta api dengan lebar sepur 1435 mm, yakni pada lintas Krueng Mane – Krueng Geukeuh. Angkutan kereta api pada lintasan tersebut merupakan angkutan perintis dengan panjang lintasan 11,3 km. Untuk lintasan lain yang ada di Pulau Sumatera menggunakan lebar sepur 1067 mm.

Karakteristik lalu lintas kereta api di Pulau Jawa didominasi oleh jenis kereta penumpang, sedangkan di Pulau Sumatera kereta api lebih banyak digunakan sebagai angkutan barang dengan beban muatan yang tinggi. Aktivitas angkutan barang menggunakan moda kereta api sebagian besar terkonsentrasi di Sumatera Selatan yakni sebagai pengangkutan komoditas batu bara. Pada tahun 2017, jumlah batubara yang diangkut mencapai 26,5 juta ton, berkontribusi dominan sebesar 66% dari total volume angkutan barang tahun 2017 (KAI.PT, 2017).

Berikut disajikan data produksi barang dan penumpang di Pulau Jawa dan Pulau Sumatera.

Tabel 1.1 Produksi angkutan kereta api di Jawa dan Sumatera

No	Uraian	Satuan	2014	2015	2016	2017	2018
Pulau Jawa							
1	Penumpang	Orang	271.935.336	321.785.915	351.292.019	354.596.504	413.435.915
2	Barang	Ton	8.429	7.690	8.039	9.134	10.727
Pulau Sumatera							
1	Penumpang	Orang	5.747.825	6.038.053	6.783.423	5.580.254	8.896.372
2	Barang	Ton	22.256	22.028	24.455	30.927	34.536

Sumber: Dit Lalu Lintas dan Angkutan Kereta Api, Ditjen Perkeretaapian 2018

Indikator utama keberhasilan penyelenggaraan transportasi adalah aspek keselamatan dan keamanan (Ditjen Perkeretaapian, 2011). Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Perkeretaapian, jenis kecelakaan kereta api dari tahun 2014 sampai tahun 2018 didominasi oleh anjlogan. Pada Tabel 1.2 disajikan data jenis kecelakaan dan penyebab kecelakaan kereta api pada Tahun 2014 – 2018.

Tabel 1.2 Jenis kecelakaan dan penyebab kecelakaan

No	Uraian	Satuan	2014	2015	2016	2017	2018
Jenis Kecelakaan							
1	Tabrakan KA dengan KA	Kejadian	1	5	0	1	0
2	Anjlogan	Kejadian	33	68	15	14	14
3	Terguling	Kejadian	0	0	0	0	1
4	Banjir / Longsor	Kejadian	2	0	0	0	0
5	Lain - lain	Kejadian	3	0	0	0	1
Penyebab Kecelakaan							
1	Sarana	Kejadian	5	0	7	4	16
2	Prasarana	Kejadian	6	0	8	9	15
3	SDM Operator	Kejadian	16	0	0	2	0
4	Eksternal	Kejadian	18	0	0	0	0
5	Alam	Kejadian	2	0	0	0	0

Sumber: Direktorat Keselamatan Perkeretaapian, Ditjen Perkeretaapian 2018

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 berdasarkan hasil pengukuran TQI dari kereta ukur di Stasiun Lubuk Batang pada tanggal 10 Agustus 2016 berkontribusi terhadap anjlogan (KNKT, 2016). Data TQI pada lintas tersebut dapat dilihat pada Table 1.3.

Tabel 1.3 Nilai TQI di Stasiun Lubuk Batang

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
10	237,4	237,2	200	3	25,14
11	237,2	237	200	3	50,18
12	237	236,8	200	3	50,77

Sumber: Laporan investigasi kecelakaan, KNKT

Pada Tabel 1.3 dapat diketahui bahwa ada beberapa segmen jalan rel dengan nilai TQI lebih dari 50. Nilai TQI lebih dari 50 pada suatu lintasan kereta api termasuk pada jenis kategori jelek yang membutuhkan perbaikan mendesak (Rulhendri, 2015). Kelas pada Tabel 1.3 (lihat tanda *) menunjukkan kecepatan maksimal yang dapat dilalui sarana kereta api. Pada Permenhub 60 Tahun 2010, yang merupakan regulasi yang mengatur operasi kereta api secara umum, kelas jalan suatu lintas ditulis dengan angka romawi. Pada laporan investigasi kecelakaan ini, kelas jalan ditulis dengan angka Arabic dikarenakan Operator yang berada pada lintas tersebut adalah PT. KAI. Pada penelitian sebelumnya, telah ditentukan batasan nilai penyimpangan dan pengkategorian nilai Track

Quality Index (TQI). Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam menilai tingkat prioritas dan urgensi pemeliharaan jalan rel. Batasan nilai penyimpangan dan pengkategorian nilai TQI dapat dilihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Batasan nilai penyimpangan tiap parameter

Parameter	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
Angkatan (mm)	2	5	8	>8
Listringan (mm)	1.5	4	10	>10
Pertinggian (mm)	2	6	9	>9
Lebar spur (mm)	2	5	10	>10
Total TQI	15	25	40	>40
Kec. GAPEKA	100-120	80-100	60-80	<60

Sumber: PT. KAI, 2012

Guna mencapai sasaran yang tercantum dalam RIPNas 2030 terkait peningkatan keamanan dan keselamatan perkeretaapian, penurunan rasio gangguan keamanan dan keselamatan ditargetkan sebesar 50% dalam periode 2010 – 2030. Oleh sebab itu, Pemerintah melalui Direktorat Jenderal Perkeretaapian wajib menyusun strategi untuk mencapai sasaran tersebut. 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 (Perkeretaapian, 2018). Dengan panjang lintasan operasional yang mencapai 6.061.634 m pada tahun 2018 (Perkeretaapian, 2018), 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.

Output data dari kereta ukur adalah berupa data *Track Quality Index* (TQI). TQI dapat menggambarkan penurunan kualitas lintasan dan menjadi acuan bagi

urgensi pemeliharaan. TQI berkorelasi dengan standar keamanan dan nilai kualitas berkendara (Hamid & Gross, 1981). Penggunaan TQI memberikan kemungkinan untuk menilai indikator kinerja jalur kereta api, untuk merancang intervensi, dan untuk membandingkan kinerja lintasan sebelumnya dan setelah intervensi (Rohim & Berawi, 2010). Kualitas track didefinisikan sebagai nilai numerik yang mewakili kondisi relatif dari geometri permukaan track (Nadarajah & Widyastuti, 2017). Dalam mengukur kondisi lintasan, angka-angka yang dihasilkan dari setiap parameter memberikan ukuran kualitas segmen secara keseluruhan yang biasa disebut *Track Quality Index* (TQI).

Untuk memprediksi nilai TQI suatu segmen jalan rel, digunakan metode pendekatan untuk melacak penurunan kualitas jalan rel yang terdiri dari metode *mechanistic*, metode *statistical (empirical)*, metode *mechanical-empirical* (perpaduan antara metode *mechanistic* dan metode *statistical*), dan metode *artificial intelligence* (Elkhoury & Hitihamillage, 2018). Metode pendekatan *mechanistic* mempunyai kelebihan pada ketelitian output dikarenakan data berbasis hasil penelitian laboratorium, namun memiliki kelemahan yaitu membutuhkan waktu yang lama. Metode *statistical (empirical)* mempunyai kelebihan hasil yang didapat akan maksimal apabila didukung dengan jumlah data yang besar.

Metode *mechanical-empirical* merupakan pendekatan yang paling maksimal dalam melacak penurunan jalan rel, namun demikian diperlukan data dukung berupa variabel-variabel yang berpengaruh dalam jumlah besar. Selain itu penggunaan metode ini juga membutuhkan waktu yang lama dikarenakan memerlukan hasil penelitian material dari laboratorium. Metode *artificial intelligence* mempunyai kelebihan dalam pengoptimalan model kalibrasi dengan algoritma, kekurangan dari metode ini adalah banyaknya kesalahan yang dijumpai terhadap faktor efektif yang mempengaruhi penurunan kualitas jalan rel. Selain itu, kekurangan metode ini adalah kompleksitas dari aplikasi *fuzzy rules*.

Agar lebih jelas dalam melihat kekurangan dan kelebihan pada masing – masing metode, dibuat table perbandingan yang menerangkan kekurangan dan kelebihan tersebut. Perbandingan metode pendekatan penurunan jalan rel dapat dilihat pada Tabel 1.5.

Tabel 1.5 Perbandingan metode pendekatan penurunan kualitas jalan rel

No	Metode	Variabel	Kelebihan	Kekurangan
1	<i>Mechanistic</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Track settlement</i> • <i>Track deformation</i> • <i>Track geometry (gauge)</i> • <i>Track quality index (TQI)</i> 	Berdasarkan sumber data hasil penelitian laboratorium	<ul style="list-style-type: none"> • Membutuhkan waktu yang lama • Material struktur jalan rel merupakan bahan yang tidak sejenis (<i>homogenous</i>)
2	<i>Statistical</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Traffic volume</i> • <i>Accumulated tonnage</i> • <i>Standard deviation of longitudinal level defects (SDLL) and horizontal alignment defects (SDHA)</i> • <i>Track Quality Index (TQI)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Work well for large data sets</i> • <i>Reasonable procedure and realistic findings</i> • <i>Ability to deal with large numbers of datasets to achieve more accurate results</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Not common due to lack of historical data</i>
3	<i>Mechanical-Statistical</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Track Quality Index (TQI),</i> • <i>Traffic parameters</i> • <i>etc</i> 	Hasil yang maksimal terhadap permodelan penurunan kualitas jalan rel	<ul style="list-style-type: none"> • Membutuhkan waktu yang lama • Kebutuhan data (variable) yang banyak
4	<i>Artificial Intelligence</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Number of layers</i> • <i>Nodes</i> • <i>Type of the network and functions.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Calibrating model with an optimization algorithm</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Presence of many effective factors resulting in more errors</i> • <i>Complexity in abstracting fuzzy rules</i>

Sumber: (Elkhoury & Hitihamillage, 2018)

Berdasarkan perbandingan metode pendekatan penurunan kualitas jalan rel tersebut, metode *statistical* dianggap sebagai metode yang paling tepat untuk menilai penurunan kualitas jalan rel. Namun demikian, untuk mendukung penggunaan metode ini diperlukan data historis dalam jumlah yang besar dari nilai variabel-variabel yang berpengaruh.

Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini adalah didapatkan suatu model persamaan yang menggambarkan hubungan antara frekuensi lalu lintas kereta api dan beban lalu lintas tahunan untuk memprediksi nilai TQI jalan rel per segmen 200 meter. Dalam penelitian ini, diperlukan data TQI, data frekuensi lalu lintas kereta api dan beban lalu lintas tahunan selama 5 tahun terakhir pada 4 lokasi studi yang memiliki karakteristik lalu lintas yang berbeda.

Dalam penelitian ini, lokasi studi yang digunakan ada di Pulau Jawa yakni: Lintas Surabaya – Mojokerto (SGU – MJ), Lintas Surabaya – Semarang (SBI – SMT), Lintas Bangil - Jember (BG – JR) dan lintasan kereta api di DIVRE III Palembang yakni Kertapati-Prabumulih (KPT – PBM) yang dilalui oleh kereta api batu bara rangkaian panjang (BABARANJANG). Jalur kereta api Surabaya-Mojokerto mewakili lintasan track di pulau jawa yang memiliki frekuensi lalu lintas yang tinggi, dimana jalur Surabaya-Mojokerto masih termasuk jalur tunggal. Jalur kereta api lintas Surabaya-Semarang mewakili jalur utara di Pulau Jawa yang merupakan jalur double track dari Surabaya sampai Jakarta. Sedangkan lintas Bangil – Jember yang berada dalam wilayah DAOP IX Jember mewakili karakteristik lalu lintas kereta api dengan frekuensi yang relatif rendah. Jalur kereta api pada DIVRE III Palembang lintasan Kertapati - Prabumulih mewakili jalur kereta api yang memiliki karakteristik beban angkutan yang besar ditunjukkan dengan adanya kereta api batu bara rangkaian panjang yang melalui jalur lintasan tersebut.

Di Pulau Jawa, jalur kereta api dibagi menjadi dua lintas utama yaitu Lintas Utara dan Lintas Selatan. Lintas Selatan yang memiliki frekuensi operasional padat adalah lintas Surabaya-Mojokerto. Berdasarkan Grafik Perjalanan Kereta Api Tahun 2017, frekuensi lalu lintas kereta api pada lintas ini selama 24 jam operasi sebanyak 50 rangkaian kereta api (8 rangkaian gerbong barang dan 42 rangkaian kereta penumpang). Dengan beroperasinya jalur *double track* Jombang

– Madiun maka frekuensi angkutan kereta api rute Surabaya – Jakarta lewat Lintas Selatan juga turut meningkat. Lintas Surabaya – Mojokerto karakteristik lintasannya masih merupakan jalur tunggal (*single track*).

Karakteristik lalu lintas kereta api di Pulau Jawa yang berbeda juga dijumpai pada DAOP IX Jember. Berdasarkan grafik perjalanan kereta api tahun 2017 diketahui jumlah lalu lintas dalam waktu operasi 24 jam sebanyak 18 kereta api. Sebanyak 4 rangkaian kereta api merupakan kereta barang dan 14 rangkaian kereta api adalah kereta penumpang. Jalur kereta api yang beroperasi pada lokasi ini diketahui masih merupakan jalur tunggal atau *single track*.

Untuk jalur kereta api Lintas Utara Pulau Jawa telah terbangun *double track* dari Surabaya melalui Semarang sampai ke Jakarta. Pada jalur *double track* ini, pola operasi kereta api berbeda dengan jalur *single track*. Perbedaan yang paling mendasar adalah dimana tidak jumpai adanya persilangan pada jalur *double track*, namun tetap dimungkinkan adanya penyusulan. Peningkatan jumlah jalur ini juga dapat meningkatkan kapasitas lintas serta mengurangi jumlah kecelakaan (Malkhamah et al., 2014).

Sedangkan di Pulau Sumatera lalu lintas terpadat ada pada lintas Kertapati – Prabumulih (KAI.PT, 2017) dengan karakteristik angkutan bermuatan batu bara. Lintas Kertapati – Prabumulih ini masuk dalam Divisi Regional III Palembang. Berdasarkan Grafik Perjalanan Kereta Api tahun 2017 diketahui jumlah rangkaian kereta api pada lintas Kertapati – Prabumulih sebanyak 56 rangkaian kereta (10 rangkaian kereta penumpang dan 46 rangkaian gerbong barang) dalam waktu 24 jam operasi. Berikut disajikan contoh data pada Tabel 1.7 – Tabel 1.10 berupa nilai *Track Quality Index* (TQI) eksisting pada seluruh lokasi studi:

Tabel 1.6 Data TQI Lintas Surabaya – Mojokerto (SGU-MJ) Eksisting

STA	Standar Deviasi				TQI
	Pert	Angk	List	L. Sepur	
13.0	3.0	3.8	4.4	2.5	13.68
13.2	3.9	3.4	4.8	2.2	14.25
13.4	5.7	4.6	4.8	1.5	16.53
13.6	5.2	4.1	3.2	2.2	14.71

Sumber: PT KAI, 2019

Tabel 1.7 Data TQI Lintas Bangil – Jember (BG-JR) Eksisting

STA	Standar Deviasi				TQI
	Pert	Angk	List	L. Sepur	
47.0	3.1	4.8	3.7	1.0	12.58
47.2	4.0	4.1	3.9	1.3	13.33
47.4	3.5	2.9	3.7	1.6	11.63
47.6	3.8	5.1	4.5	1.6	15.03
47.8	6.1	5.0	7.0	1.8	19.86
48.0	4.2	3.7	4.6	1.8	14.35
48.2	3.9	3.9	4.0	1.8	13.67
48.4	4.3	5.4	5.2	1.8	16.73
48.6	3.5	4.4	4.7	1.8	14.35
48.8	3.5	4.8	4.8	1.8	14.89
49.0	3.7	3.7	4.0	1.4	12.78
49.2	3.1	2.7	4.3	1.6	11.63
49.4	4.1	3.9	4.3	1.6	13.94
49.6	3.3	3.9	3.9	1.4	12.44
49.8	2.8	2.8	3.4	1.2	10.20
50.0	3.7	5.6	4.7	1.6	15.71
50.2	4.8	4.9	3.3	1.6	14.62
50.4	5.7	5.5	5.0	1.5	17.75
50.6	3.3	4.1	3.9	1.4	12.65
50.8	4.6	6.3	5.8	1.8	18.36

Sumber: PT KAI, 2019

Tabel 1.8 Data TQI Lintas Surabaya - Semarang (SBI-SMT) Eksisting

STA	Standar Deviasi				TQI
	Pert	Angk	List	L. Sepur	
10.2	4.0	8.8	4.3	1.1	18.22
10.4	4.4	8.1	6.3	1.4	20.23
10.6	7.4	7.4	4.7	1.7	21.20
10.8	6.4	10.6	8.7	2.2	27.97
11.0	4.9	9.6	2.7	1.5	18.62
11.2	4.7	7.7	5.8	1.3	19.51
11.4	3.8	7.5	5.8	2.1	19.18
11.6	3.9	7.3	6.9	2.4	20.47
11.8	5.2	9.5	5.3	2.0	22.00
12.0	4.5	6.7	5.9	1.9	18.94

Sumber: PT KAI, 2019

Tabel 1.9 Data TQI Lintas Kertapati - Prabumulih (KPT-PBM) Eksisting

STA	Standar Deviasi				TQI
	Pert	Angk	List	L. Sepur	
332.0	8.6	6.2	5.7	0.3	20.80
332.2	12.9	8.3	7.9	1.1	30.26
332.4	16.5	26.6	22.9	4.0	70.11
332.6	16.1	19.8	16.1	3.7	55.68
332.8	18.1	13.6	12.2	3.9	47.84
333.0	9.2	11.3	7.7	3.9	32.20
333.2	11.4	10.4	8.5	4.2	34.55

Sumber: PT KAI, 2019

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang penelitian, maka permasalahan yang akan dikaji mengarah pada beberapa permasalahan yang harus diselesaikan. Adapun rumusan masalah tersebut adalah:

1. Bagaimana model persamaan untuk memprediksi nilai masing-masing parameter TQI (Y) berdasarkan frekuensi (X1) dan beban lalu lintas kereta api (X2)?
2. Bagaimana hubungan frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai *Track Quality Index* (TQI) untuk lebar sepur 1067?

1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan dia atas, maka tujuan yang akan dicapai dalam mengerjakan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui model persamaan untuk memprediksi nilai masing-masing parameter TQI (Y) berdasarkan data frekuensi (X1) dan beban lalu lintas kereta api (X2)
2. Mengetahui hubungan frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap nilai *Track Quality Index* (TQI) untuk lebar sepur 1067 mm

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Tidak membahas jenis prasarana jalur kereta api (bantalan, penambat, dsb) yang ada pada lokasi studi
2. Tidak menghitung kondisi struktural dari jalan rel

3. Tidak menganalisa kegiatan pemeliharaan jalan rel

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dalam penulisan penelitian ini adalah:

1. Memberikan dan menambahkan wawasan mengenai indeks kualitas jalan rel atau *Track Quality Index (TQI)* antara lintasan yang memiliki karakteristik lalu lintas angkutan yang berbeda.
2. Sebagai alternatif memprediksi nilai *TQI* suatu lintas apabila dibutuhkan data nilai *TQI* secara mendesak, mengingat kereta ukur hanya dioperasikan secara berkala.
3. Sebagai antisipasi untuk bahan memprediksi nilai *TQI* apabila terjadi gangguan pada kereta ukur dikarenakan jumlah sarana kereta ukur yang terbatas.
4. Untuk mengetahui hubungan frekuensi dan beban lalu lintas terhadap nilai *Track Quality Index (TQI)*.
5. 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.
6. Informasi nilai *TQI* juga dapat digunakan sebagai bahan untuk menentukan urgensi terhadap kegiatan pemeliharaan jalan rel suatu lintas.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

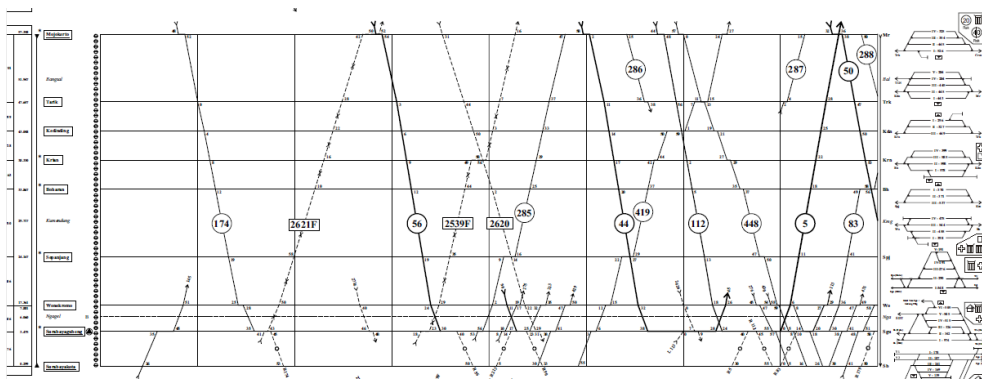
Jalur kereta api merupakan prasarana kereta api yang terdiri atas rangkaian petak jalan rel yang meliputi ruang manfaat jalur kereta api, ruang milik jalur kereta api, dan ruang pengawasan jalur kereta api termasuk bagian atas dan bawahnya yang diperuntukkan bagi lalu lintas kereta api (Kementerian Perhubungan, 2012). Karakteristik jalan rel yang ada di Indonesia saat ini menggunakan lebar sepur 1067 mm dan 1435 mm. Lebar sepur 1067 mm berada di seluruh lintas kereta api di Pulau Jawa dan seluruh lintas kereta api di Pulau Sumatera terkecuali pada lintas Krueng Mane – Krueng Geukeuh yang menggunakan lebar sepur 1435 mm. Lebar sepur 1435 mm juga digunakan di Pulau Sulawesi yang pada saat ini masih pada tahap konstruksi.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 32 Tahun 2011 Tentang Standar dan Tata Cara Pemeliharaan Prasarana Perkeretaapian disebutkan bahwa setiap penyelenggara prasarana perkeretaapian wajib melakukan perawatan terhadap prasarana yang dioperasikan untuk mempertahankan keandalan prasarana perkeretaapian agar tetap laik operasi. Perawatan jalan rel dilakukan untuk menjaga kondisi jalan rel sesuai dengan standar pengoperasian jalan rel untuk melayani sarana perkeretaapian sesuai nilai Indeks Kualitas Jalan Rel (*Track Quality Index*) yang telah ditetapkan.

2.2 Grafik Perjalanan Kereta Api

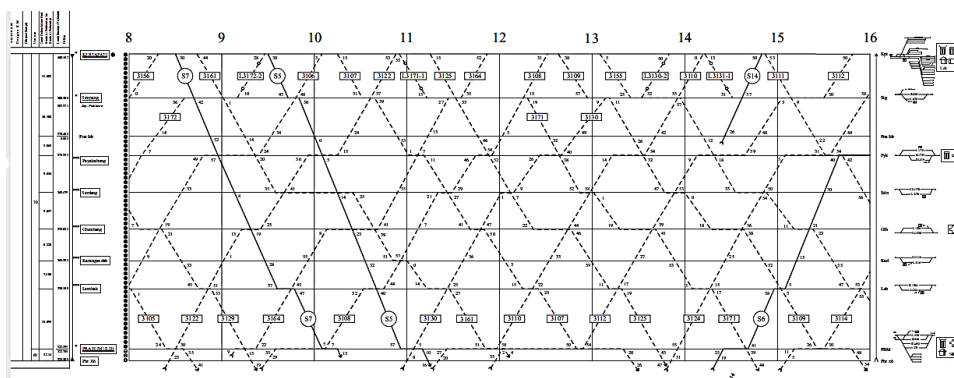
Grafik Perjalanan Kereta Api yang selanjutnya disebut Gapeka adalah pedoman pengaturan pelaksanaan perjalanan kereta api yang digambarkan dalam bentuk garis yang menunjukkan stasiun, waktu, jarak, kecepatan, dan posisi perjalanan kereta api mulai dari berangkat, bersilang, bersusulan, dan berhenti yang digambarkan secara grafis untuk pengendalian perjalanan kereta api (Perhubungan, 2017). Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 110

Tahun 2017 Tentang Tata Cara Dan Standar Pembuatan Grafik Perjalanan Kereta Api, Perjalanan Kereta Api diluar Grafik Perjalanan Kereta Api, dan Perjalanan Kereta Api Luar Biasa, Frekuensi Perjalanan Kereta Api diartikan sebagai jumlah perjalanan kereta api pada suatu jalur kereta api dalam waktu 24 (dua puluh empat) jam atau dalam periode waktu tertentu. Contoh Grafik Perjalanan Kereta Api dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2



Gambar 2.1 Gapeka Surabaya-Mojokerto

Tanda lingkaran dengan angka di dalamnya menunjukkan jenis kereta penumpang dan nomor kereta. Sedangkan tanda persegi panjang dengan angka yang ada di dalamnya menunjukkan jenis kereta barang beserta nomor rangkaian gerbong barang tersebut (Supriadi, 2006). Pada Gambar 2.1 di atas, diketahui bahwa karakteristik lalu lintas kereta api lintas Surabaya – Mojokerto didominasi oleh kereta penumpang. Di bawah ini ditampilkan gambar Gapeka lintas Kertapati – Prabumulih yang didominasi oleh rangkaian gerbong barang.



Gambar 2.2 Gapeka Prabumulih – Kertapati

Pada Gambar 2.2 di atas, diketahui karakteristik lalu lintas kereta api pada lintas Prabumulih – Keratapati didominasi oleh rangkaian kereta barang dengan frekuensi yang cukup padat.

2.3 Perhitungan Beban Lintas

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api, kelas jalan rel 1067 mm di Indonesia terbagi menjadi 5 kelas dengan karakteristik sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 2.1 Spesifikasi Lebar Jalan Rel 1067 mm

Kls Jalan	Daya Angkut Lintas (ton/tahun)	V maks (km/jam)	P maks ganda r (ton)	Tipe rel	Jenis Bantalan		Jenis Penambat	Tbl Balas Atas (cm)	Lbr Bahu Balas (cm)
					Jarak sumbu (cm)	antar bantalan			
I	> 20.10 ⁶	120	18	R.60/R.54	Beton (60)		Elastis Ganda	30	60
II	10.10 ⁶ - 20.10 ⁶	110	18	R.54/R.50	Beton/Kayu (60)		Elastis Ganda	30	50
III	5.10 ⁶ - 10.10 ⁶	100	18	R.54/R.50/R. 42	Beton/Kayu/Baja (60)		Elastis Ganda	30	40
IV	2,5 ⁶ -5.10 ⁶	90	18	R.54/R.50/R. 42	Beton/Kayu/Baja (60)		Elastis Ganda/Tunggal	25	40
V	< 2,5.10 ⁶	80	18	R.42	Kayu/Baja (60)		Elastis Tunggal	25	35

Sumber: Permenhub No 60 Tahun 2012

Perhitungan beban lalu lintas tahunan pada suatu lintas menggunakan rumus:

$$\text{Beban Lintas (Pd)} = (\text{Tp}) + (\text{Tb}) \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

Pd = Beban Lintas Harian Kereta Api (ton)

Tb = Tonase barang dan gerbong harian (ton)

Tp = Tonase penumpang dan kereta harian (ton)

Untuk menghitung daya angkut lintas (Panjaitan & Sembiring, 2011), PT Kereta Api Indonesia (Persero) menggunakan persamaan:

$$T = 360 \times S \times TE \dots\dots\dots(2.2)$$

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_1 \times T_1) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

T = Kapasitas angkut lintas (ton/tahun),

TE = Tonase ekivalen (ton/hari),

T_p = Tonase penumpang dan kereta harian,

T_b = Tonase barang dan gerbong harian,

T₁ = Tonase Lokomotif harian,

S = Koefisien yang besarnya bergantung pada kualitas lintas, yaitu:

S = 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km/jam

S = 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang

K_b = Koefisien yang besarnya bergantung pada beban gandar, yaitu:

K_b = 1,5 untuk beban gandar <18 ton; K_b = 1,3 untuk beban gandar > 18 ton

K₁ = Koefisien yang besarnya ditentukan sebesar 1,4

2.4 Track Quality Index (TQI)

Track Quality Index (TQI) merupakan nilai atau output berupa angka dari hasil pengukuran kereta ukur. Dalam hal ini, kereta ukur digunakan untuk memberikan informasi kondisi kualitas jalan rel yang dilewati pada wilayah Daerah Operasional (DAOP) yang dilakukan inspeksi. PT. KAI memiliki dua tipe kereta ukur geometri yang digunakan, yaitu kereta ukur EM-120 dan kereta ukur HKPW (U-76501). Kereta ukur EM-120 beroperasi di lintas Pulau Jawa, sedangkan kereta ukur HKPW dioperasikan di lintas Pulau Sumatera.

Lalu lintas kereta api akan terus meningkat sesuai dengan perkembangan ekonomi. Hal tersebut dapat mempengaruhi kondisi geometri lintasan yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas lintasan sehingga perlu suatu pemeliharaan untuk mengukur suatu kondisi dan kualitas lintasan. Perawatan rel

kereta api mahal dan sulit untuk dikelola secara efektif (Sadeghi & Askarinejad, 2017). Beberapa pendekatan dan metodologi untuk mengevaluasi degradasi track untuk optimasi pemeliharaan track, telah dikembangkan selama beberapa tahun terakhir, dari model sederhana yang hanya terkonsentrasi pada satu komponen track individu hingga yang paling komprehensif yang mempertimbangkan semua faktor utama dalam penurunan kualitas lintasan. Menurut Sadeghi & Askarinejad, model prediktif ini dapat dipertimbangkan berdasarkan dua aspek yaitu:

- Melacak Degradasi yang dipertimbangkan dari aspek struktural
- Melacak Degradasi yang dipertimbangkan dari aspek geometri

Pada aspek pertama, melacak model degradasi didasarkan pada perkembangan kondisi struktur fisik. Parameter yang mempengaruhi degradasi track, termasuk tonase passage, kecepatan kereta api, karakteristik balas, jenis rel, dll. Sebaliknya, melacak model degradasi dalam aspek kedua menggunakan parameter geometri sebagai kriteria degradasi utama.

Nilai TQI dapat menggambarkan penurunan kualitas lintasan dan menjadi acuan bagi urgensi pemeliharaan. TQI berkorelasi dengan standar keamanan dan nilai kualitas berkendara (Hamid & Gross, 1981). Penggunaan TQI memberikan kemungkinan untuk menilai indikator kinerja jalur kereta api, untuk merancang intervensi, dan untuk membandingkan kinerja lintasan sebelumnya dan setelah intervensi (Rohim & Berawi, 2010).

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. Selain itu, Informasi nilai TQI juga dapat digunakan sebagai bahan untuk menentukan urgensi terhadap kegiatan pemeliharaan jalan rel suatu lintas.

2.4.1 Parameter Pengukuran

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 (Rulhendri, 2015). 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. Namun demikian, tanda negatif ini tidak berpengaruh dalam perhitungan nilai TQI karena nilai parameter ini bersifat absolut. Tanda negatif dan positif hanya menunjukkan arah dari penyimpangan rel. Nilai listringan rel kanan dan kiri dihitung standard deviasinya untuk setiap jarak 40 meter. Nilai TQI listringan dihitung berdasar rata-rata setiap interval 200 meter dengan memperhitungkan deviasi pengukuran yang terjadi. Agar lebih jelas, pada Gambar 2.3 ditunjukkan adanya listringan pada suatu lintasan kereta api.



Gambar 2. 3 Parameter Listringan pada lintasan kereta api

Nilai lebar spur yang ditampilkan dalam grafik adalah nilai langsung yang diperoleh oleh transducer lebar spur. Dalam perhitungan TQI, parameter lebar sepur dihitung berdasarkan nilai standar deviasi lebar spur yang diperoleh dari kereta ukur dalam jarak 20 meter. Nilai akhir TQI untuk parameter lebar sepur dihitung berdasarkan rata-rata per 200 meter dengan memperhitungkan deviasi pengukuran yang terjadi. Gambar 2.4 menunjukkan contoh parameter lebar sepur pada lintasan kereta api

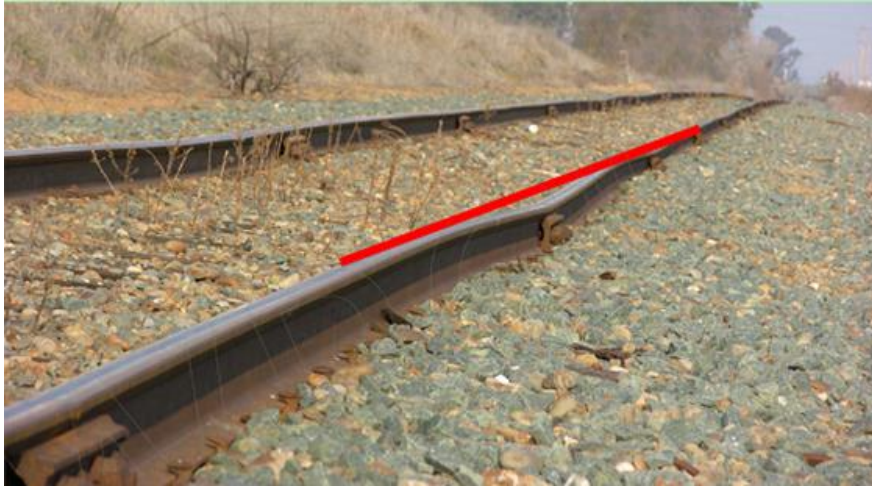


Gambar 2. 4 Parameter Lebar Sepur pada lintasan kereta api

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. Namun demikian, tanda negatif ini tidak berpengaruh dalam perhitungan nilai TQI karena nilai parameter ini bersifat absolut. Tanda negatif dan positif hanya menunjukkan arah dari penyimpangan rel. Nilai angkatan rel kanan dan kiri dihitung standard deviasinya untuk setiap jarak 40 meter. Nilai TQI angkatan dihitung berdasar rata-rata setiap interval 200 meter. Parameter angkatan ditunjukkan pada Gambar 2.5 dan 2.6 di bawah ini.

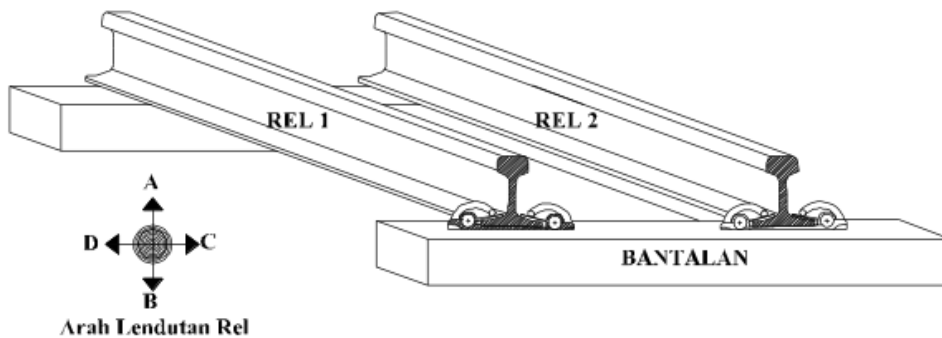


Gambar 2. 5 Ketidakrataan rel pada alinyemen vertical



Gambar 2. 6 Parameter Angkatan (Profil) pada lintasan kereta api

Agar lebih jelas, diilustrasikan pada Gambar 2.7 yang menjelaskan arah letak penyimpangan dan dicontohkan pada Gambar 2.8.



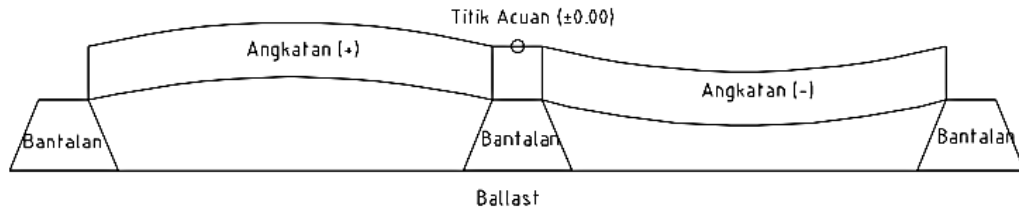
Gambar 2. 7 Arah lendutan rel pada parameter listringan dan angkatan

Pada Gambar 2.7 ditunjukkan struktur atas jalan rel. Arah lendutan menunjukkan kode penyimpangan geometri yaitu sebagai berikut:

1. Rel 1 melendut kearah B adalah penyimpangan parameter angkatan (-)
2. Rel 2 melendut kearah B adalah penyimpangan parameter angkatan (-)
3. Rel 1 melendut kearah A adalah penyimpangan parameter angkatan (+)
4. Rel 2 melendut kearah A adalah penyimpangan parameter angkatan (+)
5. Rel 1 melendut kearah C adalah penyimpangan parameter listringan (-)
6. Rel 2 melendut kearah C adalah penyimpangan parameter listringan (+)
7. Rel 1 melendut kearah D adalah penyimpangan parameter listringan (+)

8. Rel 2 melendut kearah D adalah penyimpangan parameter listringan (-)

Gambar 2.8 memberikan penjelasan pada poin 1 dan poin 2 bisa dilihat sebagai berikut:

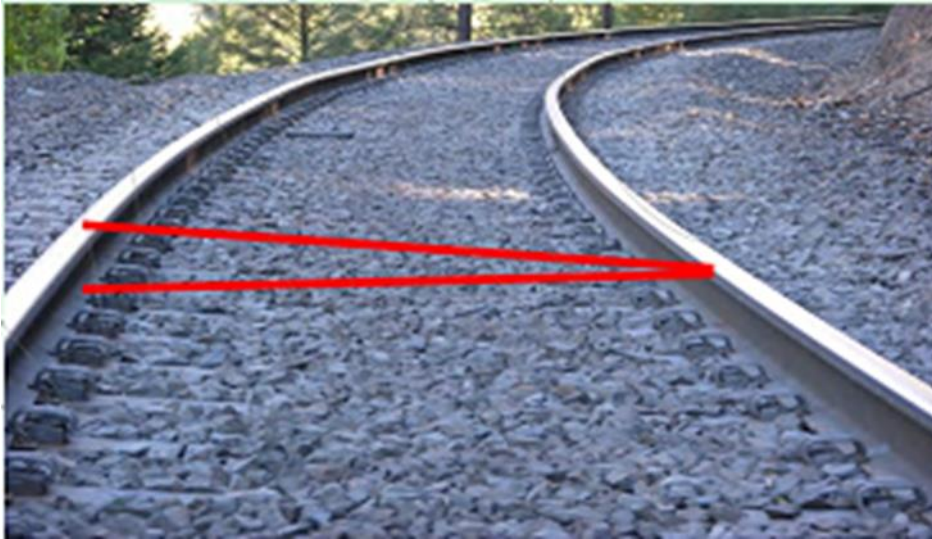


Gambar 2. 8 Arah lendutan rel pada parameter angkatan (+) dan angkatan (-)

Pengukuran pertinggian dilakukan dengan memakai alat yang disebut rate gyro dan inclinometer (pengukur kemiringan) yang dipasang badan rangka bawah diatas bogie tengah. Alat ini mengukur perbedaan tinggi antara rel kiri dan rel kanan per setiap bantalan. Pada parameter lebar sepur dan pertinggian input ke kereta ukur adalah per bantalan. Namun dalam penelitian ini menggunakan data output kereta ukur per 3 meter atau setiap 5 bantalan. Parameter pertinggian dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10



Gambar 2. 9 Parameter Pertinggian pada lintasan kereta api



Gambar 2. 10 Contoh Parameter Peninggian pada lengkung

Contoh data TQI hasil dari kereta ukur dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Contoh Data Track Quality Index

Lintas	Km + Hm		Panjang	TQI	Parameter			
	Dari	Sampai			Pertinggian	Angkatan	Listrangan	Lebar Sp
JNG - MRI	23 + 915	24 + 000	48	28	7.3	10.6	6.6	1.4
JNG - MRI	24 + 000	24 + 200	200	38.8	7.1	10.1	11.2	2.2
JNG - MRI	24 + 200	24 + 400	200	33.6	6.8	11	12.4	2.1
JNG - MRI	24 + 400	24 + 435	36	37.2	9.1	14	15.3	2.4
JNG - MRI	24 + 435	24 + 487	52	24.2	5.1	11	9.9	2.6
JNG - MRI	24 + 487	24 + 600	113	31.2	7.1	12	13.2	3.1
JNG - MRI	24 + 600	24 + 669	70	34	6.3	13.3	13.3	4
JNG - MRI	24 + 669	24 + 676	7	31.7	6.7	12.1	8.6	2.5
JNG - MRI	24 + 676	24 + 800	124	32.4	10.1	10.6	11.9	3
JNG - MRI	24 + 800	25 + 000	200	28.2	6.1	10.1	11.5	1.4
JNG - MRI	25 + 000	25 + 200	200	38	7.3	11	6.6	2.2
JNG - MRI	25 + 200	25 + 400	200	37	7.1	14	11.2	2.1

Sumber: Rulhendri, 2015

2.4.2 Klasifikasi Kondisi Jalan Rel

Berdasarkan klasifikasi kondisi jalan rel PT. KAI dapat dikelompokkan dengan mempertimbangkan faktor:

1. Kecepatan Lintas (*Permissible Track Speed*)

EM-120 mengelompokkan jalan rel yang akan diukur kecepatan maksimum yang diijinkan di lintas tersebut.

- Kelas 1 (new) untuk jalan rel yang dapat dilewati kecepatan > 90 km/jam
- Kelas 2 untuk kecepatan antara 75 s.d. 90 km/jam
- Kelas 3 untuk kecepatan antara 50 s.d. 75 km/Jam
- Kelas 4 untuk kecepatan dibawah 50 km/jam
- Diluar ke empat kelas tersebut ada tanda yang menunjukkan parahnya tingkat kerusakan, yaitu tanda silang (x) mulai dari satu (x) yang berarti kerusakan parah, sampai silang empat yang berarti sangat parah/berbahaya.

Tabel 2.3 Kategori kelas berdasarkan kecepatan maksimum

Kategori	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4
Kecepatan (km/jam)	>90	75-90	50-75	<50

(Sumber: PT. KAI Indonesia, 2013)

2. Toleransi

Toleransi merupakan ambang batas dalam rangka penentuan kecepatan lintas sebagaimana dijelaskan pada subbab 2.4.2 poin 1. Jika nilai toleransi ini terlampaui maka kecepatan lintas masuk pada kelas yang lebih rendah. Toleransi yang diprogramkan pada kereta ukur adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 Nilai toleransi berdasarkan kelas jalan

	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3	Kelas 4	x	xx	xxx	xxx
Toleransi (mm)	2,0	5,1	7,1	10,1	15,1	20,1	25,1	40,1

(Sumber: PT. KAI Indonesia, 2013)

Nilai toleransi yang umum dipakai dalam penentuan kondisi jalan rel sebagai acuan pemeliharaan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5 Nilai toleransi yang diizinkan dan jenis perbaikan rel

Parameter	Jenis Perbaikan			
	Non-sensitive (mm)	Renewal (mm)	Maintenance (mm)	Immediate repair (mm)
Angkatan dan pertinggian	-2 s.d +2	-10 s.d + 10	-15 s.d + 15	-20 s.d + 20
Listrangan	-2 s.d +2	-10 s.d + 10	-15 s.d + 15	-20 s.d + 20
Twist	-2 s.d +2	-10 s.d + 10	-15 s.d + 15	-20 s.d + 20
Lebar jalur	-2 s.d +2	-2 s.d +5	-5 s.d +10	-5 s.d + 20

(Sumber: PT. KAI Indonesia, 2013)

2.4.3 Batasan Kerusakan Berdasarkan Nilai TQI

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 32 Tahun 2011, nilai TQI dapat dijadikan sebagai acuan pemeliharaan jalan rel. Batasan kerusakan tiap parameter TQI ditentukan sesuai dengan kecepatan yang diizinkan agar aspek keselamatan tetap terjamin (Rulhendri, 2015). Pada Tabel 2.6 disajikan standar nilai *Track Quality Index* terhadap kecepatan yang diizinkan dan batasan kerusakan tiap parameter TQI.

Tabel 2.6 Standar nilai *Track Quality Index*

Kategori	Total TQI	Kecepatan(km/jam)	Jenis Kategori
I	$TQI \leq 15$	100-120	Baik Sekali
II	$15 < TQI \leq 25$	80-100	Baik
III	$25 < TQI \leq 40$	60-80	Sedang
IV	>40	<60	Jelek

(Sumber: Rulhendri, 2015)

Batasan nilai kerusakan per kategori kerusakan pada nilai TQI ditunjukkan pada Tabel 2.7 di bawah ini:

Tabel 2.7 Batasan (*thresholds*) nilai kerusakan per kategori

Parameter	New	Kat. 1	Kat.2	Kat.3	Kat.4
Angkatan (mm)	1	2	5	8	>8
Listringan (mm)	1	1.5	4	10	>10
Pertinggian (mm)	1	2	6	9	>9
Lebar spur (mm)	0	2	5	10	>10
TQI (max)	8	15	25	40	>40
Kec. GAPEKA		100-120	80-100	60-80	<60

(Sumber: Rulhendri, 2015)

2.5 Analisis Regresi

Regresi merupakan suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya korelasi antar variable. Analisis regresi lebih akurat dalam analisis korelasi karena tingkat perubahan suatu variabel terhadap variabel lainnya dapat ditentukan. 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 (Prastyanto, 2018). Hasil regresi dikatakan linier apabila hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat mempunyai bentuk mendekati garis lurus. Sedangkan regresi dikatakan non linier apabila hasil regresi tidak menunjukkan pola mendekati garis lurus.

Regresi linier terdiri dari regresi linier sederhana dan regresi linier berganda. Regresi linier sederhana adalah hubungan antara satu variabel bebas (X) dengan variabel terikat (Y). Sedangkan regresi linear berganda adalah hubungan antara dua atau lebih variabel bebas (X) dengan variabel terikat (Y). Berikut ditampilkan model persamaan kedua regresi linier tersebut:

- Regresi linier sederhana » $Y = a + bX$ (2.1)

- Regresi linear berganda » $Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \dots + b_nX_n$ (2.2)

Keterangan:

Y : variabel terikat

X : variabel bebas

a, b : koefisien regresi

Regresi non linier pada umumnya disajikan dalam model regresi parabolic(kuadratik), kubik, polinomial, eksponensial, pangkat (power), logaritmik dan model lainnya. Model persamaan regresi non linier tersebut adalah:

- Regresi parabolik » $Y = a + bX + cX^2$(2.3)

- Regresi kubik » $Y = a + bX + cX^2 + dX^3$ (2.4)

- Regresi polinomial » $Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + \dots$ (2.5)

- Regresi eksponensial » $Y = a e^{bX}$ (2.6)

- Regresi pangkat » $Y = a X^b$ (2.7)

- Regresi logaritmik » $Y = a + b \ln (X)$ (2.8)

Keterangan:

Y : variabel terikat

X : variabel bebas

a, b : koefisien regresi

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.

2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian mengenai Track Quality Index telah dilakukan di beberapa negara. Pada tahun 2015, dilakukan penelitian mengenai tinjauan volume pemeliharaan tahunan jalan rel berdasarkan nilai *Track Quality Index* (TQI). Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah mengidentifikasi kerusakan pada lintas jalan rel dengan nilai terburuk. Dari hasil identifikasi ini, selanjutnya dilakukan perhitungan volume pemeliharaan tahunan pada lokasi studi. Dengan demikian, nilai TQI dapat dijadikan acuan sebagai perhitungan volume pemeliharaan tahunan lintas jalan rel.

Penelitian selanjutnya dilakukan untuk membuat pemeliharaan jalur kereta api lebih efektif dan hemat biaya. Penurunan kualitas lintasan jalan rel dipengaruhi oleh track structural yaitu *ballast index*, *rail type*, *rail age*, *pad stiffness*, dan *subgrade condition*. Parameter lain yang berpengaruh adalah *track geometrical* dan parameter lalu lintas (Sadeghi & Askarinejad, 2017). Pada tahun yang sama, *Institut Technology of Railway* di Monash University Australia mengembangkan alat yang dapat mengetahui kondisi jalan rel yang disebut *Instrumented Revenue Vehicle* (IRV). Alat ini dipasang pada kereta yang beroperasi pada suatu lintasan jalan rel dan mengirimkan sensor yang menggambarkan kondisi profil jalan rel (*alignment vertical*). Pada tahun 2017, alat ini digunakan di lintas kereta api yang ada di Indonesia yaitu Lintas Surabaya – Lamongan. Hasil yang disajikan menunjukkan kemampuan sistem IRV untuk menilai kondisi lintasan, mengidentifikasi degradasi dan mengukur keparahan respon dinamis dari operasional sarana kereta api (Nadarajah & Widyastuti, 2017).

Penelitian mengenai Track Quality Index juga dilakukan di Thailand pada saat pelaksanaan pembangunan double track di Lintas Tenggara dari Thanon Chira Junction sampai Khon Kaen Station. Data TQI didapat dari kereta inspeksi E120N sebelum dilakukan pembangunan jalur double track dan sesudah pekerjaan pembangunan double track. Hasil dari penelitian ini adalah ditemukannya penurunan kondisi lintasan dengan ditandai nilai TQI yang berubah secara signifikan (Phanyakit & Satiennam, 2018). Prediksi mengenai degradasi lintasan kereta api dilakukan pada tahun 2018 dengan metode mereview literature yang ada. Dari penelitian ini, diketahui metode statistik adalah metode yang paling ideal dalam rangka memprediksi nilai degradasi pada lintasan jalan rel.

Berikut disajikan ringkasan penelitian mengenai Track Quality Index yang dilakukan beberapa tahun terakhir:

Tabel 2.8 Tabulasi penelitian terdahulu

No	Penulis	Tahun	Variabel*										Metode**				Lokasi Penelitian		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	a	b	c	d			
1	Lyngby	2009	√	√														√	India
2	Lei Bai, Rengkui Liu	2013	√	√	√	√										√			China
3	Wahyu Kurniawan Rulhendri	2015					√									√			Indonesia
4	Askarinejad	2017		√	√		√	√								√			Iran
5	R. Ravitharan, H. Widyastuti	2017						√	√								√		Indonesia
6	Phanyakit, Satiennam	2018									√						√		Thailand
7	Sara Moridpour and Dilan Robert	2018										√				√			Australia
8	Arisma H, Hera W, Catur Arif P.	2019		√									√			√			Indonesia

Keterangan*:

1. Lingkungan 3. Kecepatan 5. Struktur 7. Alat Ukur 9. Metode
 2. Muatan 4. Sarana 6. Geometri 8. Konstruksi 10. Frekuensi

Keterangan**:

- a. Mechanical c. Mechanical Statistical
 b. Statistical d. Artificial Intelligence

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan mengenai prediksi nilai TQI menggunakan metode statistica dengan mempertimbangkan pengaruh dari karakteristik lalu lintas kereta api. Variabel bebas yang digunakan adalah frekuensi lalu lintas kereta api (X1) dan beban lalu lintas tahunan (X2). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penggunaan metode statistika untuk melakukan prediksi, bekerja dengan baik ketika data input yang digunakan jumlahnya besar. Maka dalam penelitian ini digunakan data historis TQI (Y) serta frekuensi lalu lintas kereta api (X1) dan beban lalu lintas tahunan (X2) selama 5 tahun terakhir. Jumlah lokasi lintas yang digunakan sebanyak 4 lokasi yang mewakili gambaran karakteristik lalu lintas kereta api yang ada di Indonesia.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini dilakukan untuk memprediksi nilai TQI terhadap pengaruh frekuensi dan beban lalu lintas kereta api. Besarnya pengaruh frekuensi dan lalu lintas terhadap nilai parameter TQI diukur melalui analisa regresi linear. Data dukung pada penelitian ini berupa data lalu lintas kereta api dan data TQI dari kereta ukur lintasan studi selama lima tahun terakhir.

Disamping itu, manfaat dari penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan alternatif apabila dibutuhkan data TQI suatu segmen jalan rel dalam keadaan mendesak. Hal ini dikarenakan jumlah kereta ukur yang dimiliki oleh Pemerintah maupun PT. KAI terbatas.

3.2 Tahap Pengerjaan

Tahapan pengerjaan yang digunakan pada Proposal ini terdiri dari beberapa tahap antara lain adalah:

1. Persiapan
2. Identifikasi masalah
3. Studi pustaka
4. Analisis data
5. Hasil penelitian

3.2.1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan tahap awal sebelum memulai pelaksanaan dari ide Proposal Thesis. Pengambilan data terkait dilakukan di PT. KA Indonesia dan Direktorat Jenderal Perkeretaapian Kementerian Perhubungan. Pada tahap persiapan ini didapatkan data sekunder berupa:

1. Grafik Perjalanan Kereta Api

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 110 Tahun 2017, Grafik Perjalanan Kereta Api yang selanjutnya disebut Gapeka adalah pedoman pengaturan pelaksanaan perjalanan kereta api yang digambarkan dalam

bentuk garis yang menunjukkan stasiun, waktu, jarak, kecepatan, dan posisi perjalanan kereta api mulai dari berangkat, bersilang, bersusulan, dan berhenti yang digambarkan secara grafis untuk pengendalian perjalanan kereta api. Dalam penelitian ini dibutuhkan Grafik Perjalanan Kereta Api selama 5 tahun terakhir untuk mengetahui frekuensi lalu lintas kereta api pada lokasi studi.

2. Data sekunder perhitungan beban lalu lintas tahunan

Dalam menghitung data lalu lintas tahunan diperlukan data sekunder berupa:

- a. Daftar kereta api yang melintas
- b. Daftar susunan rangkaian
- c. Data berat lokomotif dan gerbong

Data sekunder yang tersebut dibutuhkan untuk menghitung beban lalu lintas tahunan pada masing-masing lokasi studi. Data yang dibutuhkan meliputi data sekunder dalam 5 tahun terakhir

3. Data *Track Quality Index*

Data track quality index didapatkan dari hasil pengukuran kereta ukur. Pada penelitian ini, dibutuhkan data TQI pada keempat lokasi studi dengan rentang waktu 5 tahun terakhir.

3.2.2. Tahap Identifikasi Permasalahan

Tahap identifikasi masalah menjadi suatu langkah awal dalam suatu pengerjaan Penelitian. Di dalam identifikasi ini dilakukan suatu proses penentuan gap analysis, dimana pada gap analisis ini ditentukan kondisi eksisting (current state) dan kondisi ideal (ideal state).

- Kondisi eksisting: Jumlah sarana kereta ukur Direktorat Jenderal Perkeretaapian dan PT. KAI yang jumlahnya terbatas. Pengoperasian kereta ukur dilaksanakan terjadwal dan berkala.
- Kondisi ideal: Diperlukan langkah alternatif dalam menentukan nilai TQI suatu segmen jalan rel dalam kondisi mendesak, contohnya apabila terjadi gangguan terhadap kereta ukur.

3.2.3. Tahap Studi Pustaka

Tahap studi pustaka yang dilakukan yaitu pengumpulan berbagai teori yang mendukung dan berkaitan dengan kondisi serta permasalahan yang ada. Literatur yang digunakan disesuaikan dengan parameter-parameter yang akan ditinjau di dalam Penelitian ini.

Maka dari itu, diperlukan tinjauan referensi untuk membantu dalam mencapai tujuan penulisan. Pada tahap ini dilakukan tinjauan referensi yang akan menjadi acuan dalam penyusunan tugas akhir.

3.2.4. Tahap Analisis Data

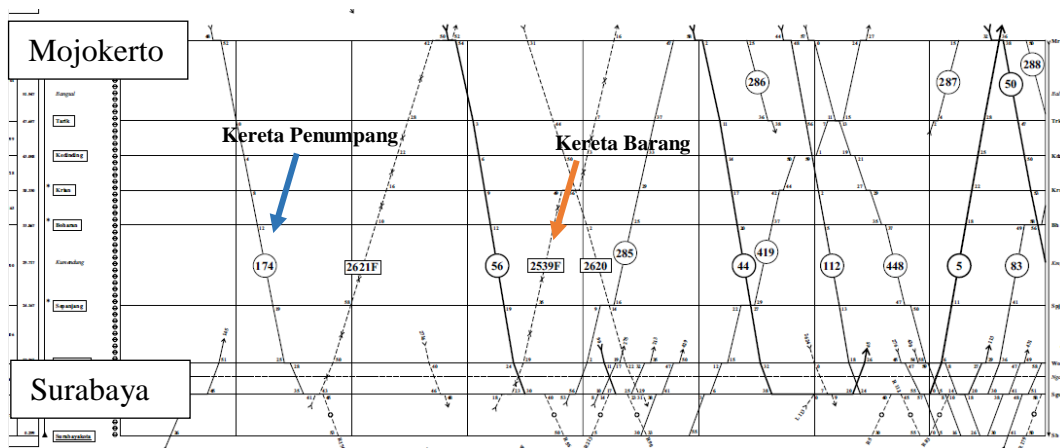
Dalam tahap ini, dilakukan proses analisis data untuk menjawab rumusan masalah dalam penelitian. Analisis yang dilakukan untuk menjawab rumusan masalah yaitu:

1. Perhitungan frekuensi lalu lintas kereta api yang didapatkan dari Grafik Perjalanan Kereta Api (GAPEKA). Dalam GAPEKA, diketahui jumlah rangkaian kereta api yang melintas selama 24 jam operasi dan dapat diketahui perbandingan prosentase kereta penumpang dan kereta barang. Perhitungan frekuensi lalu lintas kereta api dijelaskan pada sub bab 3.2.4.1
2. Menentukan passing tonnage lintas studi sesuai dengan:
 - Grafik Perjalanan Kereta Api
 - Perhitungan daya angkut tahunan (passing tonnage) berdasarkan Permenhub No. 60 tahun 2012Yang akan dijelaskan pada sub bab 3.2.4.2
3. Analisis nilai *Track Quality Index* dengan standar perkeretaapian Indonesia. Pada tahap ini, dilakukan perhitungan nilai rata-rata *Track Quality Index* (TQI) per stasiun pada masing-masing lokasi studi dan akan dibahas pada sub bab 3.2.4.3.
4. Menentukan persamaan untuk memprediksi nilai TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas menggunakan metode statistic yang dijelaskan pada sub bab 3.2.4.4
5. Menentukan hubungan frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai TQI yang akan dibahas pada sub bab 3.2.4.5

3.2.4.1 Perhitungan Frekuensi Kereta Api

Untuk mencari nilai variabel bebas Frekuensi Kereta Api, diperlukan data dukung berupa Grafik Perjalanan Kereta Api. Grafik perjalanan kereta api menggambarkan pola operasi lalu lintas kereta api berupa jumlah kereta api yang melewati lintas tersebut dalam waktu operasi yang sudah ditentukan. Data yang diperlukan pada penelitian ini adalah data historis Grafik Perjalanan Kereta Api selama 5 tahun terakhir pada setiap lokasi penelitian.

Pada Gambar 3.1 dapat dilihat contoh grafik perjalanan kereta api pada Lintas Surabaya – Mojokerto:



Gambar 3.1 Gapeka Lintas Surabaya-Mojokerto 00.00 – 08.00

Pada Gambar 3.1 terlihat Gapeka lintas Surabaya – Mojokerto pada waktu operasi 00.00 – 08.00. Dalam waktu operasi tersebut diketahui Lintas Surabaya – Mojokerto dilewati oleh Kereta Penumpang dan Kereta Barang. Kereta Penumpang disimbolkan dengan bentuk lingkaran, angka di dalam lingkaran menunjukkan nomor rangkaian KA. Kereta Barang disimbolkan dengan bentuk persegi panjang, angka di dalam persegi panjang menunjukkan nomor rangkaian KA.

Berdasarkan Grafik Perjalanan Kereta api Lintas Surabaya – Mojokerto pada waktu operasi 00.00 – 08.00 ini (lihat Gambar 3.1), diketahui sebanyak **13 rangkaian kereta penumpang (notasi lingkaran)** dan **3 rangkaian gerbong barang (notasi persegi panjang)** melewati lintas tersebut. Sehingga frekuensi

lalu lintas kereta api pada Lintas Surabaya – Mojokerto di jam operasi 00.00 – 08.00 sebanyak **16 rangkaian kereta api**.

Dengan cara yang sama akan diketahui jumlah frekuensi lalu lintas kereta api pada lokasi studi lain menggunakan data sekunder Grafik Perjalanan Kereta Api setempat. Dalam penelitian ini dibutuhkan data sekunder berupa Grafik Perjalanan Kereta Api pada masing-masing lokasi studi untuk rentang waktu 5 tahun terakhir. Dari data sekunder tersebut dapat diketahui frekuensi lalu lintas kereta api tiap tahun.

3.2.4.2 Perhitungan Daya Angkut Tahunan (Passing Tonnage)

Pada penentuan daya angkut tahunan dibutuhkan data sekunder yang di dapatkan dari PT. Kereta Api Indonesia dan Direktorat Jenderal Perkeretaapian, yaitu: Grafik Perjalanan Kereta Api / daftar kereta api yang melintas pada lintas studi, susunan kereta serta berat gerbong yang melintas contoh data disajikan pada Tabel 3.1 – Tabel 3.7. Tabel – tabel yang disajikan adalah dari penelitian Panjaitan tahun 2011 pada lokasi studi Medan – Tebing Tinggi, Tabel 3.1 adalah data kereta yang melintas pada lokasi penelitian, Tabel 3.2 susunan gerbong dalam satu rangkaian dan jenis gerbong yang ditarik dan Tabel 3.3 adalah beban gerbong yang melintas sesuai dengan jenis gerbong pada tabel rangkaian kereta.

Tabel 3.1 Daftar kereta penumpang yang melintas

NO. KA	NAMA KERETA API	LINTAS	JARAK (Km)	JENIS LOKOMOTIF
U.27	SRI BILLAH	R. PRAPAT-MEDAN	267.611	BB 301
U.28	SRI BILLAH	MEDAN-R.PRAPAT	267.611	BB 301
U.29	SRI BILLAH	R. PRAPAT-MEDAN	267.611	BB 301
U.30	SRI BILLAH	MEDAN-R.PRAPAT	267.611	BB 301
U.31	SRI BILLAH	R. PRAPAT-MEDAN	267.611	BB 301
U.32	SRI BILLAH	MEDAN-R.PRAPAT	267.611	BB 301
U.33	SRI BILLAH	R. PRAPAT-MEDAN	267.611	BB 301
U.35	SRI LELAWANGSA	TEBING-MEDAN	80.542	KRD
U.36	SRI LELAWANGSA	MEDAN-TEBING	80.542	KRD

Sumber: (Panjaitan, 2011)

Tabel 3.2 Daftar kereta barang yang melintas

No KA	NAMA KA	LINTAS	JARAK (Km)	JENIS LOKO
Pertamina 1900	Kereta isi BBM	L. Batu - Siantar	145.7	BB 303
Pertamina 1901	Kereta Kosong BBM	Siantar – L. Batu	145.7	BB 303
Pertamina 1902	Kereta isi BBM	L. Batu – Kisaran	170,476	BB 303
Pertamina 1903	Kereta Kosong BBM	Kisaran – L. Batu	170,476	BB 303
CPO 1904	Kosong CPO	Perbaungan – R. Prapat	267.611	BB 303
CPO 1905	Isi CPO	R. Prapat - Perbaungan	267.611	BB 303
CPO 1906	Kosong CPO	Perbaungan – R. Prapat	267.611	BB 303
CPO 1907	Isi CPO	R. Prapat - Perbaungan	267.611	BB 303
CPO 1908	Kosong CPO	Perbaungan – R. Prapat	267.611	BB 303
CPO 1909	Isi CPO	R. Prapat - Perbaungan	267.611	BB 303
CPO 1910	Kosong CPO	Perbaungan – R. Prapat	267.611	BB 303
CPO 1911	Isi CPO	R. Prapat - Perbaungan	267.611	BB 303
CPO 1912	Kosong CPO	Perbaungan – R. Prapat	267.611	BB 303
CPO 1913	Isi CPO	R. Prapat – Medan	267.611	BB 303
CPO 1914	Kosong CPO	Medan – R. Prapat	267.611	BB 303
CPO 1915	Isi CPO	R. Prapat – Medan	267.611	BB 303
CPO 1916	Kosong CPO	Medan – Kisaran	153.739	BB 303
CPO 1917	Isi CPO	Kisaran – Medan	153.739	BB 303
CPO 1918	Kosong CPO	Medan – D. Merangir	109.084	BB 303
CPO 1919	Isi CPO	D. Merangir – Medan	109.084	BB 303
CPO 1920	Kosong CPO	Medan – Tebing	80.542	BB 303
CPO 1921	Isi CPO	Tebing - Medan	80.542	BB 303

Sumber: (Panjaitan, 2011)

Tabel 3. 3 Stamformasi rangkaian kereta penumpang

NO KA	NAMA KA	JENIS LOKO	LINTAS	GERBONG YANG DITARIK							
				K1	K1	K2	K2	K2	K2	KMP	BP
U.27, U28, U29, U32, U33, U34	SRI BILLAH	BB 301	MEDAN-R.PRAPAT	K1	K1	K2	K2	K2	K2	KMP	BP
U30, U31	SRI BILLAH	BB 301	MEDAN-R.PRAPAT	K1	K2	K2	K2	K2	K2	KMP	BP
U35 & U36	KA SRI LELAWANGSA	-	MEDAN-TEBING TINGGI	4 KR D (KEPALA DAN BADAN KERETA MENYATU)							
U 39, U 40	KA. PUTRI DELI	BB 301	MEDAN-T.BALAI	K3		K3			K3		
U41,U42,U43	KA. PUTRI DELI	BB 301	MEDAN-T.BALAI	K3	K3	K3	K3	K3	KMP	BP	-
U37 & U38	KA SIANTAR EKSPRES	BB 301	MEDAN-SIANTAR	K3	K3	K3	K3	K3	KMP	BP	-

Sumber: (Panjaitan, 2011)

Tabel 3.4 Stamformasi rangkaian gerbong barang

NAMA KA	JENIS LOKO	GERBONG YANG DITARIK
KA isi BBM	BB 301	12 gerbong KKW isi BBM
KA kosong BBM	BB 301	12 gerbong KKW kosng BBM
KA isi CPO	BB 301	12 gerbong isi CPO
KA kosong CPO	BB 301	12 gerbong kosong CPO

Sumber: (Panjaitan, 2011)

Tabel 3.5 Beban gerbong sesuai kelasnya

SARANA	BERAT KOSONG (Ton)	BERAT ISI (Ton)	BEBAN GANDAR (Ton)	BEBAN TIAP AS (Ton)
K1 = Kereta Kelas 1	35.5	40	18	9
K2 = Kereta Kelas 2	35.5	40	18	9
K3 = Kereta Kelas 3	35.5	40	18	9
KMP = Kereta Restorasi	32	39	18	9
KKW = Gerbong Tangki	18	47	18	9
BP = Kereta Bagasi	28	37	18	9
KRD = Kepala dan Badan Menyatu	35	40	18	9

Sumber: (Panjaitan, 2011)

Daya angkut lintas jalan rel dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{Beban Lintas (Pd)} = (\text{Tp}) + (\text{Tb}) \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana;

Pd = Beban Lintas Harian Kereta Api (ton)

Tb = Tonase barang dan gerbong harian (ton)

Tp = Tonase penumpang dan kereta harian (ton)

Untuk menghitung daya angkut lintas tahunan, PT Kereta Api Indonesia (Persero) menggunakan persamaan:

$$T = 360 \times S \times TE \dots\dots\dots(3.2)$$

$$TE = Tp + (Kb \times Tb) + (K1 \times T1) \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana:

T = Kapasitas angkut lintas (ton/tahun),

TE = Tonase ekivalen (ton/hari),

Tp = Tonase penumpang dan kereta harian,

Tb = Tonase barang dan gerbong harian,

T1 = Tonase Lokomotif harian,

S = Koefisien yang besarnya bergantung pada kualitas lintas, yaitu:

- S = 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km/jam
- S = 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang K_b = Koefisien yang besarnya bergantung pada beban gandar, yaitu:
- K_b = 1,5 untuk beban gandar < 18 ton K_b = 1,3 untuk beban gandar > 18 ton
- K_l = Koefisien yang besarnya ditentukan sebesar 1,4

Berdasarkan hasil perhitungan pada persamaan 3.2 maka didapatkan nilai kapasitas angkut lintas dalam satuan (ton/tahun). Dengan menggunakan persamaan 3.1 – 3.3, maka beban lalu lintas tahunan Medan – Tebing Tinggi dapat diketahui. Pada Tabel 3.2 didapatkan hasil perhitungan beban lalu lintas tahunan pada lintas tersebut.

Tabel 3.6 Beban lintas harian KA Penumpang Medan-Tebing Tinggi

NO.	NAMA KERETA API	LINTAS	JARAK	STAMFORMASI RANGKAIAN GERBONG	TONNAGE GERBONG (TON)	TONNAGE LOKOMOTIF (TON)	TONNAGE TOTAL (TON/HARI)
U.27	SRI BILLAH	RAP-MDN	267.611	2K1 + 4K2 + 1KMP + 1BP	316	52	368
U.28	SRI BILLAH	MDN-RAP	267.611	2K1 + 4K2 + 1KMP + 1BP	316	52	368
U.29	SRI BILLAH	RAP-MDN	267.611	2K1 + 4K2 + 1KMP + 1BP	316	52	368
U.30	SRI BILLAH	MDN-RAP	267.611	1K1 + 5K2 + 1KMP + 1BP	316	52	368
U.31	SRI BILLAH	RAP-MDN	267.611	1K1 + 5K2 + 1KMP + 1BP	316	52	368
U.32	SRI BILLAH	MDN-RAP	267.611	2K1 + 4K2 + 1KMP + 1BP	316	52	368
U.33	SRI BILLAH	RAP-MDN	267.611	2K1 + 4K2 + 1KMP + 1BP	316	52	368
U.34	SRI BILLAH	MDN-RAP	267.611	2K1 + 4K2 + 1KMP + 1BP	316	52	368
U.35	SRI LELAWANGSA	TBI-MDN	80.542	4KRD	160	48	208
U.36	SRI LELAWANGSA	MDN-TBI	80.542	4KRD	160	48	208
U.37	SIANTAR EKSPRES	SIR-MDN	129.009	5K3 + 1KMP + 1BP	276	52	328
U.38	SIANTAR EKSPRES	MDN-SIR	129.009	5K3 + 1KMP + 1BP	276	52	328
U.39	PUTRI DELI	TNB-MDN	174.442	3K3	120	52	172
U.40	PUTRI DELI	MDN-TNB	174.442	3K3	120	52	172
U.41	PUTRI DELI	TNB-MDN	174.442	5K3 + 1KMP + 1BP	276	52	328
U.42	PUTRI DELI	TNB-MDN	174.442	5K3 + 1KMP + 1BP	276	52	328
U.43	PUTRI DELI	TNB-MDN	174.442	5K3 + 1KMP + 1BP	276	52	328
BEBAN LINTAS HARIAN KERETA API PENUMPANG (TON/HARI)							5016

Tabel 3.7 Beban lintas harian KA Barang Medan-Tebing Tinggi

NO. KA	NAMA KERETA API	STAMFORMASI RANGKAIAN GERBONG	JUMLAH GERBONG DITARIK	TONNAGE GERBONG (TON)	TONNAGE LOKOMOTIF (TON)	TONNAGE TOTAL (TON/HARI)
1900	KA ISI BBM	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
1901	KA KOSONG BBM	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1902	KA ISI BBM	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
1903	KA KOSONG BBM	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1904	KA KOSONG CPO	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1905	KA ISI CPO	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
1906	KA KOSONG CPO	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1907	KA ISI CPO	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
1908	KA KOSONG CPO	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1909	KA ISI CPO	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
1910	KA KOSONG CPO	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1911	KA ISI CPO	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
1912	KA KOSONG CPO	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1913	KA ISI CPO	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
1914	KA KOSONG CPO	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1915	KA ISI CPO	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
1916	KA KOSONG CPO	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1917	KA ISI CPO	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5

Tabel 3.7 Beban lintas harian KA Barang Medan-Tebing Tinggi (lanjutan)

NO. KA	NAMA KERETA API	STAMFORMASI RANGKAIAN GERBONG	JUMLAH GERBONG DITARIK	TONNAGE GERBONG (TON)	TONNAGE LOKOMOTIF (TON)	TONNAGE TOTAL (TON/HARI)
1918	KA KOSONG CPO	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1919	KA ISI CPO	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
1920	KA KOSONG CPO	12 KK KOSONG + 1 LOKOMOTIF	12	17	42.5	246.5
1921	KA ISI CPO	12 KK ISI + 1 LOKOMOTIF	12	47	42.5	606.5
BEBAN LINTAS HARIAN KERETA API BARANG (TON/HARI)						9383

Sumber: (Panjaitan, 2011)

Setelah daya angkut lintas dari masing-masing rangkaian kereta diperoleh, kemudian dihitung daya angkut lintas tahunan jalan rel. Berdasarkan perhitungan, total beban lintas harian kereta api penumpang lintas Medan – Tebing Tinggi sebesar 5016 ton/hari dan untuk kereta barang sebesar 9383 ton/hari. Maka daya angkut lintas jalan rel Medan – Tebing Tinggi adalah:

$$T = 360 \times S \times TE \text{ dengan } TE = T_p + K_b \cdot T_b + K_1 \cdot T_1$$

Dimana:

$$TE = 5016 + (1.3 \times 9383) + (1.4 (52+42.5))$$

$$TE = 17.346,2 \text{ ton/hari}$$

Maka beban lintas tahunan adalah:

$$T = 360 \times SE \times TE$$

$$T = 360 \times 1.1 \times 17.346,2$$

$$T = \mathbf{6.869.095,2 \text{ ton/tahun}}$$

Pada contoh perhitungan beban lintas tahunan tersebut diperoleh beban lalu lintas tahunan sebesar **6.869.095,2 ton/tahun**. Dengan demikian, dengan cara yang sama akan dihitung dan diperoleh beban lalu lintas tahunan pada masing-masing lokasi studi. Pada penelitian ini akan diperoleh beban lalu lintas tahunan dalam rentang waktu 5 tahun terakhir untuk masing-masing lokasi studi.

3.2.4.3 Analisis Nilai Track Quality Index (TQI)

Analisis nilai *Track Quality Index* (TQI) dilakukan dengan cara mencari nilai rata-rata nilai TQI pada setiap 200 m. Perhitungan nilai rata-rata TQI ini dilakukan pada jarak antar stasiun pada setiap lokasi studi. Data nilai TQI yang didapatkan dalam penelitian ini adalah dari PT. KAI Kantor Pusat Bandung.

Nilai rata-rata (average) adalah nilai yang mewakili himpunan atau sekelompok data (a set of data). Nilai rata-rata umumnya cenderung terletak di tengah suatu kelompok data yang disusun menurut besar/kecilnya nilai. Dengan perkataan lain, nilai rata-rata mempunyai kecenderungan memusat, sehingga sering disebut ukuran kecenderungan memusat (measures of central tendency)

(Supranto, 2008). Apabila terdapat nilai variabel X, sebagai hasil pengamatan atau observasi sebanyak n kali, yaitu X1, X2, ..., Xi, ..., Xn, maka :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Dimana \bar{x} adalah nilai rata-rata, n adalah jumlah data, x_i adalah data yang berjalan dari urutan ke-1 sampai ke-n.

Contoh data nilai TQI dapat dilihat pada Gambar 3.2. Pada Gambar 3.2 ditampilkan contoh nilai TQI lintas Surabaya-Mojokerto pada Tahun 2015.

TRACK	QUALITY BY	DEVICE	HALAMAN	1					
PT. LINTAS DARI ANTARA KELAS	KERETA SB-SLO SGU KE SGU-MR 2	API DAOP KODE SGU-MR KE MR KECEPATAN TANGGAL	8	SURABAYA					
			90	26.04.2015					
ANTARA	---DARI--- KM	---KE--- KM	KELAS	TQI	Perting	Angk.r	Lestr.r	Lb.	Sp
SGU-MR	13.000	13.200	2	19,7	6,4	6	5,1	2,2	
SGU-MR	13.200	13.400	2	6,95	2,9	1	1,45	1,6	
SGU-MR	13.400	13.600	2	12,4	2,4	3,3	4,1	2,6	
SGU-MR	13.600	13.800	2	10,55	1,8	2,5	2,45	3,8	
SGU-MR	13.800	14.000	2	15,55	4,7	3,7	5,05	2,1	
SGU-MR	14.000	14.200	2	10,95	5,1	1,8	1,85	2,2	
SGU-MR	14.200	14.400	2	30,75	3,5	19,7	5,25	2,3	
SGU-MR	14.400	14.600	2	12,4	2,9	3	3,3	3,2	
SGU-MR	14.600	14.800	2	13,65	2,1	3,4	5,85	2,3	
SGU-MR	14.800	15.000	2	11,75	3,2	2,9	3,15	2,5	
SGU-MR	15.000	15.200	2	7,3	1,4	2	1,5	2,4	
SGU-MR	15.200	15.400	2	12,15	5,1	2,3	1,65	3,1	
SGU-MR	15.400	15.600	2	10,35	2,6	2,5	2,55	2,7	
SGU-MR	15.600	15.800	2	14,25	4,1	3,3	4,25	2,6	
SGU-MR	15.800	16.000	2	14,85	2,4	7,9	1,75	2,8	
SGU-MR	16.000	16.200	2	13,55	3,8	3,5	3,75	2,5	
SGU-MR	16.200	16.400	2	16,2	4,1	4,2	5,1	2,8	
SGU-MR	16.400	16.600	2	14	4	6,4	0,8	2,8	
SGU-MR	16.600	16.800	2	10,95	5	3,2	1,15	1,6	
SGU-MR	16.800	17.000	2	27,2	7,5	15	2,9	1,8	
SGU-MR	17.000	17.200	2	21	5,9	7,3	4,8	3	
SGU-MR	17.200	17.400	2	12,35	2,1	3,2	4,15	2,9	
SGU-MR	17.400	17.600	2	13,2	5,8	1,6	2,6	3,2	
SGU-MR	17.600	17.800	2	18,1	6,2	4,6	4,5	2,8	
SGU-MR	17.800	18.000	2	39,25	13,4	16,1	6,25	3,5	

Gambar 3. 2 Nilai TQI SGU-MJK Thn 2015

3.2.4.4 Menentukan persamaan untuk memprediksi nilai TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas kereta api

Pada penelitian ini, digunakan dua variabel untuk memprediksi nilai satu variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah frekuensi (X1) dan beban lalu lintas (X2). Sebelum melakukan analisis regresi, maka dilakukan uji homogenitas dan uji multikolinearitas terlebih dahulu. Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah variasi beberapa data dari

populasi memiliki varians yang sama atau tidak. Dasar pengambilan keputusan uji homogenitas adalah:

1. Jika nilai signifikansi atau Sig. $< 0,05$, maka dikatakan bahwa varians dari dua atau lebih kelompok populasi data adalah tidak sama (tidak homogen)
2. Jika nilai signifikansi atau Sig. $> 0,05$, maka dikatakan bahwa varians dari dua atau lebih kelompok populasi data adalah sama (homogen)

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). Dasar pengambilan keputusan pada uji multikolinearitas berdasarkan nilai tolerance adalah:

1. Jika nilai tolerance lebih besar dari 0,10 maka tidak terjadi multikolinearitas dalam model regresi
2. Jika nilai tolerance lebih kecil dari 0,10 maka terjadi multikolinearitas dalam model regresi.

Dasar pengambilan keputusan pada uji multikolinearitas berdasarkan nilai VIF (variance inflation factor) adalah:

1. Jika nilai VIF $< 10,00$ maka tidak terjadi gejala multikolinearitas
2. Jika nilai VIF $> 10,00$ maka terjadi gejala multikolinearitas

Langkah selanjutnya untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap variabel terikat, digunakan uji t dan uji F. Setelah diketahui hubungan pada masing-masing variabel bebas terhadap variabel terikat, maka dilakukan pengolahan data menggunakan metode analisa regresi berganda (multivariat).

Uji t digunakan analisa data sampel dengan ukuran kecil, yaitu kurang dari 30. Pada analisis regresi, uji t digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh yang diberikan variabel bebas (X) terhadap variabel terikat (Y). Dasar pengambilan keputusan pada uji t adalah:

1. Jika nilai sig < 0,05 atau t hitung > t tabel, maka terdapat pengaruh variabel X terhadap variabel Y
2. Jika nilai sig > 0,05 atau t hitung < t tabel, maka tidak terdapat pengaruh variabel X terhadap variabel Y

Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh yang diberikan variabel bebas (X1 dan X2) terhadap variabel terikat (Y) maka digunakan uji F. Dasar pengambilan keputusan pada uji F adalah:

1. Jika nilai sig < 0,05 atau F hitung > F tabel, maka terdapat pengaruh variabel X secara simultan terhadap variabel Y
2. Jika nilai sig > 0,05 atau F hitung < F tabel, maka tidak terdapat pengaruh variabel X secara simultan terhadap variabel Y

Langkah selanjutnya untuk memprediksi nilai TQI, digunakan metode analisis statistic regresi berganda. Pada penelitian ini digunakan dua variabel bebas yaitu frekuensi lalu lintas kereta api (X1) dan beban lalu lintas kereta api (X2). Model persamaan regresi pada penelitian ini adalah:

$$Y = aX1 + bX2 + C$$

Keterangan:

Y	=	Nilai parameter TQI
a	=	Koefisien estimate
b	=	Koefisien estimate
X1	=	Frekuensi lalu lintas kereta api
X2	=	Beban lalu lintas kereta api
C	=	Konstanta

Agar persamaan yang didapat dapat mewakili kondisi yang sesungguhnya maka dibutuhkan data dukung dalam jumlah yang besar. Untuk itu, masing-masing variabel direncanakan di dukung dengan data selama 5 tahun terakhir dari 4 lokasi penelitian yang berbeda.

Dalam penelitian ini digunakan program bantu untuk menentukan persamaan yang terbentuk dari data – data yang telah dikumpulkan. Selanjutnya pengolahan data akan dilakukan menggunakan program bantu yang meliputi tahap:

1. Tahap inputing data

Tahap inputing data dilakukan untuk memasukkan data – data sekunder yang telah dikumpulkan ke dalam program bantu. Pada tahap ini dilakukan inputing data berupa nilai variabel terikat (Y) dan variabel bebas (X1) serta (X2).

2. Tahap analisa data

Tahap analisa data dilakukan untuk menganalisa hasil output dari proses *running* aplikasi terhadap data – data yang telah diinputkan.

Dengan cara yang sama, akan dilakukan pengolahan data terhadap data nilai parameter TQI selama 5 tahun terakhir pada 4 lokasi studi menggunakan variabel frekuensi dan beban lalu lintas kereta api sehingga didapatkan suatu bentuk persamaan.

3.2.4.5 Menentukan hubungan frekuensi dan beban lalu lintas terhadap nilai Track Quality Index (TQI)

Setelah diketahui bentuk persamaan untuk memprediksi nilai TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas, untuk memudahkan dalam penggunaannya, maka data akan disajikan dalam bentuk grafik. Penyajian data merupakan cara yang digunakan untuk meringkas, menata, mengatur atau mengorganisir data sehingga data lebih mudah untuk dimengerti oleh pihak-pihak yang berkepentingan dengan data tersebut.

Secara umum data dapat disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Kedua cara ini saling berkaitan, karena pada dasarnya sebelum dibuat grafik, terlebih dahulu harus dibuat tabelnya. Dari dua macam cara penyajian data ini, penyajian data dengan grafik merupakan penyajian data yang lebih komunikatif karena dalam waktu singkat pengguna data akan dengan mudah memperoleh gambaran dan kesimpulan suatu keadaan.

Pada penelitian ini, akan didapatkan suatu grafik yang dapat menggambarkan prediksi nilai TQI pada setiap kategori berdasarkan frekuensi dan beban lalu lintas yang ada. Dengan adanya grafik ini, akan diketahui dalam frekuensi yang sama, maka beban lalu lintasnya bisa jadi berbeda sehingga dapat

diketahui pada kategori mana nilai TQI suatu jalan rel berada. Nilai TQI pada setiap kategori dapat dilihat pada Tabel 3.8

Tabel 3. 8 Nilai TQI pada setiap kategori

Parameter	New	Kat. 1	Kat.2	Kat.3	Kat.4
Angkatan (mm)	1	2	5	8	>8
Listringan (mm)	1	1.5	4	10	>10
Pertinggian (mm)	1	2	6	9	>9
Lebar spur (mm)	0	2	5	10	>10
TQI (max)	8	15	25	40	>40
Kec. GAPEKA		100-120	80-100	60-80	<60

(Sumber: Rulhendri, 2015)

3. 3 Hasil penelitian

Setelah pengolahan data-data dilakukan, maka akan didapatkan hasil yang terdiri dari:

1. Model persamaan untuk memprediksi nilai masing-masing parameter TQI (Y) berdasarkan frekuensi (X1) dan beban lalu lintas kereta api (X2)
2. Hubungan frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai *Track Quality Index* (TQI) untuk lebar sepur 1067 mm

3. 4 Diagram Alir Metodologi

Untuk memperjelas alur pada penelitian ini, maka disusun suatu diagram alir metodologi penelitian. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.

	Working Stages	Input	Working Detail	Output
Start	<p>Pendahuluan dan Pengumpulan Data Sekunder Lalu Lintas Kereta Api</p> <p><u>Identifikasi Masalah:</u> Mengidentifikasi jumlah sarana kereta ukur yang dimiliki oleh Pemerintah (Direktorat Jenderal Perkeretaapian)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Data sarana kereta ukur yang dimiliki oleh Pemerintah Laporan investigasi kecelakaan kereta api yang disebabkan buruknya nilai <i>Track Quality Index</i> (TQI) 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Identifikasi masalah</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Studi literatur</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Pengumpulan data sekunder</div>	<ul style="list-style-type: none"> Rumusan masalah Adanya urgensi data nilai TQI terhadap terjaminnya aspek keselamatan moda transportasi kereta api Jumlah sarana kereta ukur yang dimiliki Pemerintah
	<p><u>Analisis Tahap 1</u></p> <ol style="list-style-type: none"> Perhitungan frekuensi KA pada tiap lokasi studi berdasarkan GAPEKA Perhitungan beban lalu lintas tahunan pada tiap lintas studi 	<ul style="list-style-type: none"> Grafik Perjalanan Kereta Api selama 5 tahun terakhir Daftar rangkaian KA Berat kereta, gerbong dan lokomotif 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ol style="list-style-type: none"> Perhitungan frekuensi KA berdasarkan GAPEKA Perhitungan beban angkutan tahunan pada tiap lokasi studi </div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> Frekuensi lalu lintas KA Beban lalu lintas tahunan (passing tonnage)
Process	<p><u>Analisis Tahap 2</u></p> <p>Perhitungan nilai rata-rata TQI per stasiun pada masing-masing lintas.</p>	<p><u>Data Sekunder:</u></p> <p>Nilai TQI per 200 m hasil pengukuran dari kereta ukur.</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Perhitungan Rata-rata nilai TQI per stasiun pada masing-masing lintas</div>	<ul style="list-style-type: none"> Nilai TQI per stasiun pada masing-masing lintas studi selama 5 tahun

Gambar 3. 3 Diagram alir metodologi penelitian

	Working Stages	Input	Working Detail	Output
Process	<u>Analisis Tahap 3</u> 1. Melakukan uji homogenitas dan uji multikolinearitas 2. Menentukan persamaan yang terbentuk untuk memprediksi nilai TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas pada lokasi studi 3. Menentukan pengaruh variabel bebas terhadap variable mengikat	<u>Data Sekunder:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Data frekuensi KA 5 tahun terakhir • Data beban lalu lintas KA 5 tahun terakhir • Data TQI pada lokasi studi 5 tahun terakhir 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Inputing variable bebas dan terikat</div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> 1. Uji Homogenitas 2. Uji Multikolinearitas 3. Uji t 4. Uji F </div> <div style="text-align: center;">↓</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Analisis regresi berganda</div>	<ul style="list-style-type: none"> • Mengetahui variasi data dari populasi memiliki varians yang sama • Mengetahui gejala multikolinearitas antar variabel bebas • Persamaan untuk memprediksi nilai setiap parameter pada TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas
	<u>Analisis Tahap 4</u> Menentukan hubungan frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai <i>Track Quality Index</i> (TQI)	<u>Data Sekunder:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Rekapitulasi data frekuensi KA • Rekapitulasi data beban lalu lintas KA • Rekapitulasi data TQI pada lokasi studi 	<ul style="list-style-type: none"> • Penyajian data hubungan frekuensi dan beban lalu lintas terhadap nilai TQI menggunakan grafik • Diketahui pada frekuensi yang sama, dimungkinkan adanya perbedaan beban lalu lintas yang berpengaruh terhadap besarnya nilai TQI 	<ul style="list-style-type: none"> • Grafik hubungan frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai TQI
Finish	<u>Hasil Penelitian</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Persamaan untuk memprediksi nilai setiap parameter TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas kereta api • Grafik hubungan frekuensi dan beban lalu lintas terhadap nilai TQI 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Kesimpulan dan saran</div>	<ul style="list-style-type: none"> • Rumusan masalah • Jawaban • Saran

Gambar 3. 4 Diagram alir metodologi penelitian (lanjutan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Dalam penelitian ini diharapkan akan didapatkan suatu bentuk persamaan untuk memprediksi nilai *Track Quality Index (TQI)* suatu lintas jalan rel dengan menggunakan data frekuensi lalu lintas dan beban lalu lintas tahunan kereta api. Data – data yang dibutuhkan berupa data grafik perjalanan kereta api (Gapeka) selama 5 tahun terakhir, data stamformasi kereta api selama 5 tahun terakhir dan data *Track Quality Index (TQI)* hasil pengukuran dari kereta ukur selama 5 tahun terakhir. Adapun lokasi penelitian ini adalah pada Lintas Selatan Pulau Jawa, yakni Surabaya – Mojokerto (SGU – MJ), Lintas Utara Pulau Jawa Surabaya – Semarang (SBI – SMT), Lintas Bangil – Jember (BG – JR) dan jalur kereta api pada Lintas Sumatera yakni Kertapati – Prabumulih (KPT – PBM).

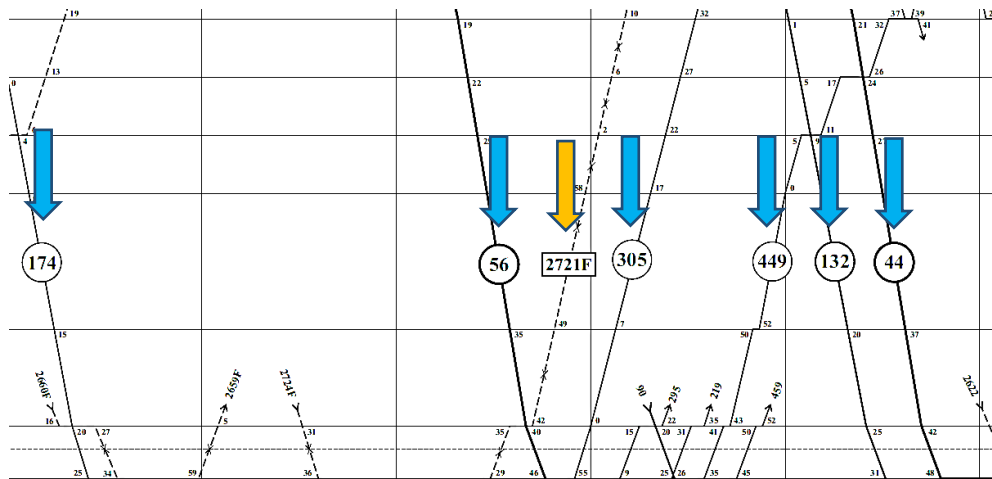
Dengan didapatkannya suatu bentuk persamaan, maka dapat dijawab rumusan masalah sebagaimana tertera pada Bab 1. Penelitian ini penting dilakukan karena kereta ukur yang digunakan untuk menilai indeks kualitas lintasan jumlahnya terbatas. Disisi lain besarnya nilai suatu *Track Quality Index (TQI)* dapat menggambarkan besarnya kerusakan atau ketidakrataan suatu lintas jalan rel. Dengan kata lain, nilai *Track Quality Index (TQI)* berpengaruh kuat terhadap faktor keselamatan perjalanan kereta api.

Pada tahap pengumpulan data, diketahui bahwa terdapat tiga kali perubahan Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) dalam waktu 5 tahun terakhir, yaitu Gapeka Tahun 2015, Gapeka Tahun 2017 dan Gapeka Tahun 2019. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No. 110 Tahun 2017, Gapeka merupakan pedoman pengaturan pelaksanaan perjalanan kereta api yang digambarkan dalam bentuk garis yang menunjukkan stasiun, waktu, jarak, kecepatan, dan posisi perjalanan kereta api mulai dari berangkat, bersilang, bersusulan dan berhenti yang digambarkan secara grafis untuk pengendalian perjalanan kereta api. Adanya perubahan Gapeka, menunjukkan adanya perubahan pola operasi perjalanan kereta api. Dengan demikian, pada penelitian

ini, untuk satu lokasi studi, paling tidak terdapat 3 variasi nilai untuk nilai parameter frekuensi lalu lintas (X1), beban lalu lintas (X2), dan nilai TQI (Y).

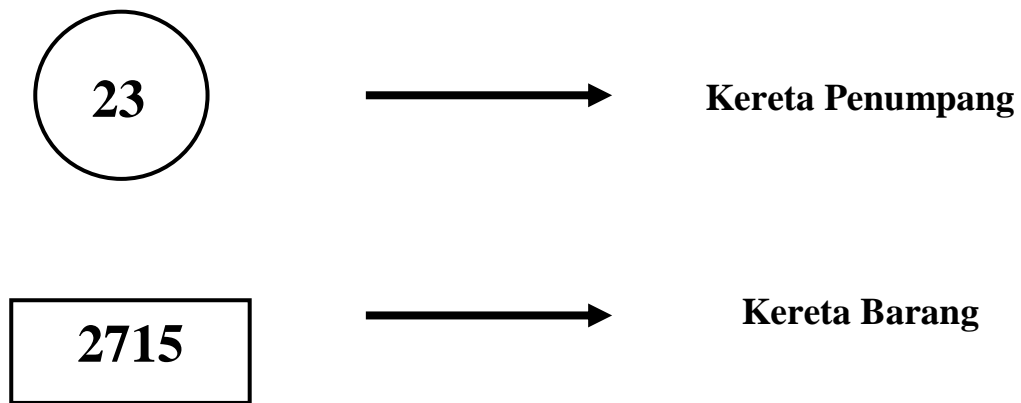
4.2 Perhitungan Nilai Frekuensi Lalu Lintas Kereta Api

Perhitungan frekuensi lalu lintas kereta api, didapatkan dari Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka). Dalam Gapeka, diketahui jumlah rangkaian kereta api yang melintas selama 24 jam operasi dan dapat diketahui perbandingan antara jumlah kereta penumpang dan kereta barang. Perhitungan frekuensi dan identifikasi jenis kereta pada Gapeka dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Gapeka Th 2015 Lintas SGU-MJ pukul 00.00-08.00

Gambar 4.1 menunjukkan Grafik Perjalanan Kereta Api lintas Surabaya – Mojokerto pada pukul 00.00 – 08.00 dimana terdapat total 7 rangkaian kereta yang melintas. Jenis kereta penumpang ditandai dengan notasi lingkaran, sedangkan jenis kereta barang ditandai dengan notasi persegi panjang. Angka yang terdapat pada notasi lingkaran dan persegi panjang menunjukkan Nomor Rangkaian kereta api. Contoh notasi kereta penumpang dan kereta barang pada Grafik Perjalanan Kereta Api dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Contoh notasi kereta penumpang dan kereta barang pada Gapeka

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat contoh notasi kereta penumpang dan kereta barang pada Gapeka. Rangkaian kereta penumpang ditunjukkan oleh notasi lingkaran, yaitu rangkaian kereta penumpang nomor 23. Rangkaian kereta barang ditunjukkan oleh notasi persegi panjang yaitu rangkaian kereta barang nomor 2715. Dengan demikian, dari Gambar 4.1 diketahui jumlah rangkaian kereta penumpang yang melintas sebanyak 6 rangkaian kereta dengan nomor rangkaian 174, 56, 305, 449, 132 dan 44. Sedangkan terdapat satu rangkaian kereta barang dengan nomor rangkaian 2721F. Apabila dibuat perbandingan persentase kereta penumpang dan kereta barang ialah sebagai berikut:

$$\% \text{ kereta penumpang} = (\text{jml KA pnp} : \text{jml total KA}) \times 100\%$$

$$\% \text{ kereta penumpang} = (6 : 7) \times 100\%$$

$$\% \text{ kereta penumpang} = 85,71 \%$$

Persentase kereta penumpang pada lintas Surabaya – Mojokerto (SGU – MJ) pada pukul 00.00 – 08.00 adalah sebesar 85,71 %. Sedangkan sisanya sebesar 14,29% adalah kereta barang. Dengan cara yang sama akan diketahui frekuensi kereta api per hari pada masing- masing lintas studi.

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 tiap lokasi studi sesuai dengan Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka).

Frekuensi kereta api yang melintas pada lokasi studi dalam waktu 5 tahun terakhir dapat dilihat pada Tabel 4.1

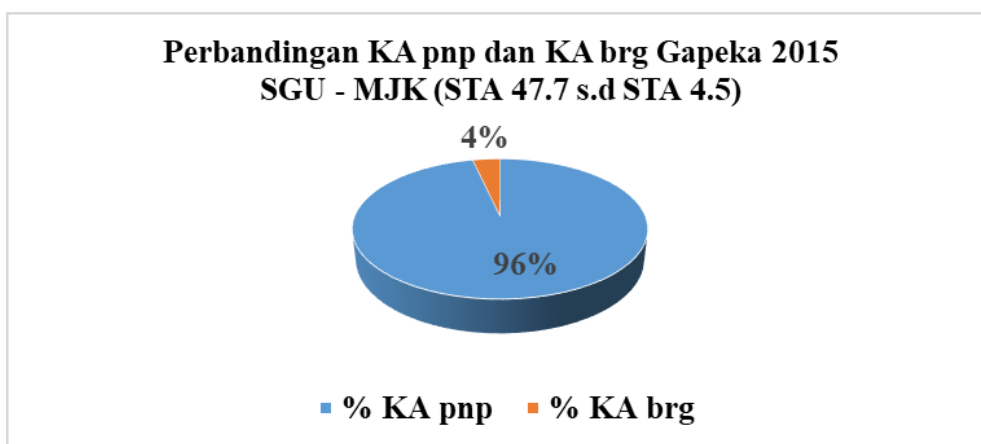
Tabel 4. 1 Frekuensi Lalu Lintas KA hari Tahun 2015-2019

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-JBR (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 : Grafik Perjalanan Kereta Api Th 2015 – 2019

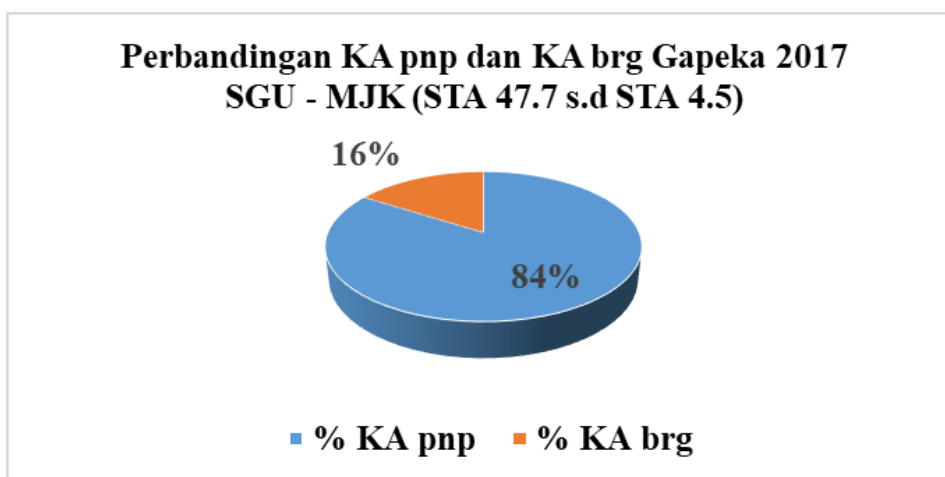
Pada Tabel 4.1 ditampilkan data frekuensi lalu lintas kereta api per perubahan Gapeka pada masing-masing lokasi studi dalam waktu 5 tahun terakhir. Dari Tabel 4.1 diketahui bahwa dari keempat lokasi lintas studi terdapat perbedaan prosentase jenis kereta yang melintas. Kereta penumpang yang melintas terbanyak berdasarkan perbandingan jenis kereta api adalah pada lintas Bangil – Jember pada tahun 2015 dan 2016. Sedangkan kereta barang yang melintas terbanyak berdasarkan perbandingan jenis kereta api adalah pada lintas

Kertapati – Prabumulih pada tahun 2019. Perbandingan lalu lintas kereta penumpang dan kereta barang dapat dilihat pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.17



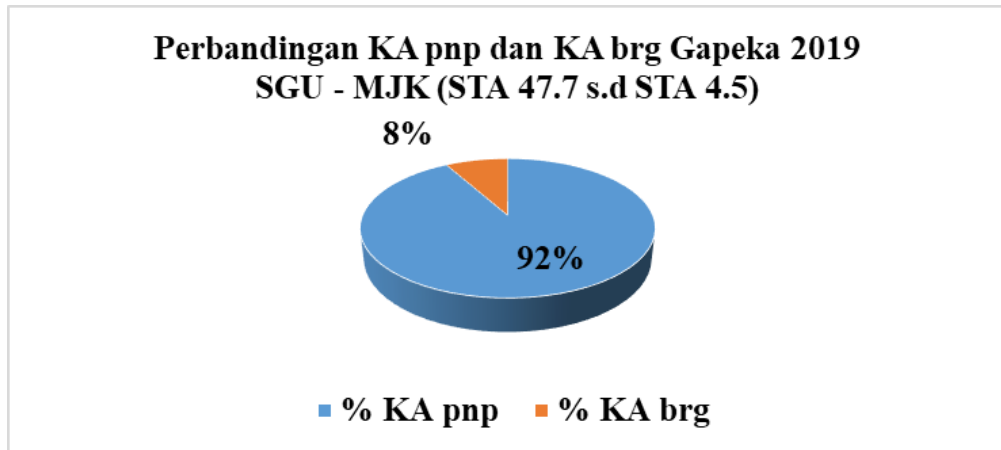
Gambar 4. 3 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 SGU - MJK (STA 47.7 s.d STA 4.5)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas SGU – MJK berdasarkan Gapeka Tahun 2015 adalah 96 % : 4 %



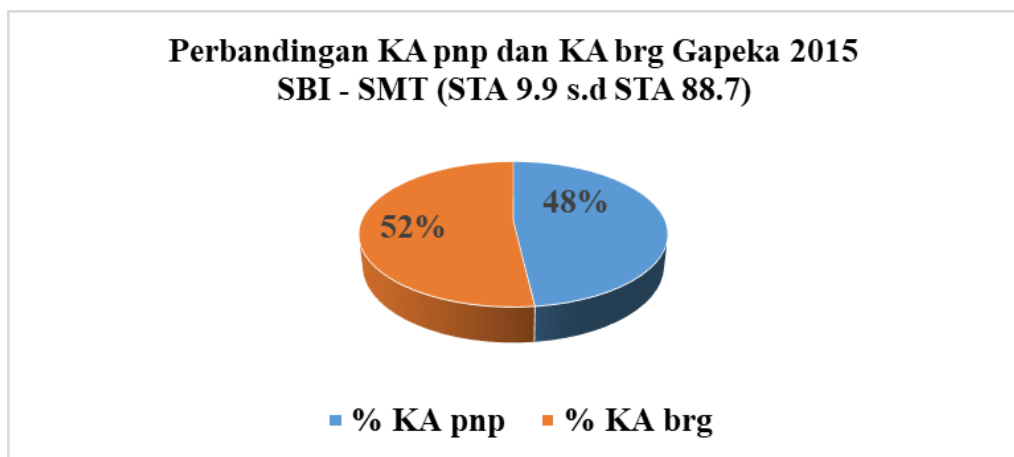
Gambar 4. 4 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 SGU - MJK (STA 47.7 s.d STA 4.5)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas SGU – MJK berdasarkan Gapeka Tahun 2017 adalah 84% : 16%



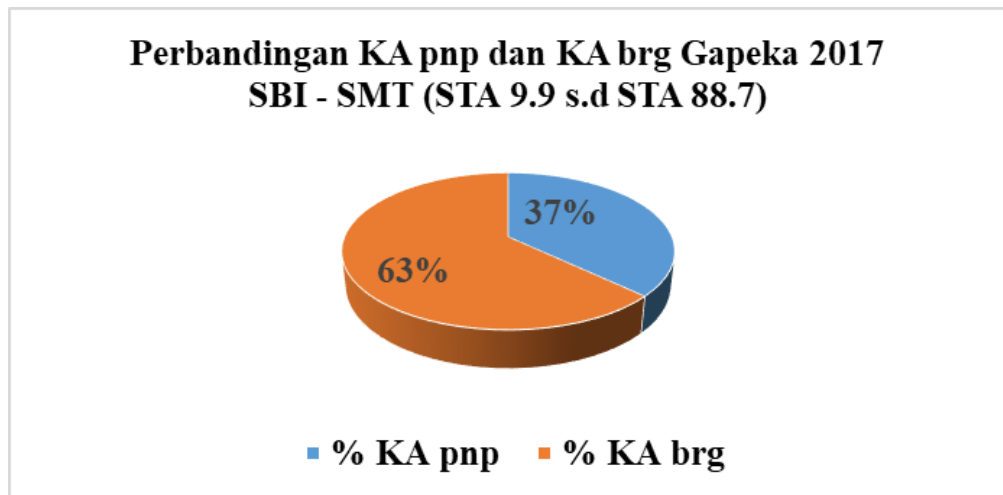
Gambar 4. 5 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 SGU - MJK (STA 47.7 s.d STA 4.5)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas SGU – MJK berdasarkan Gapeka Tahun 2019 adalah 92% : 8%



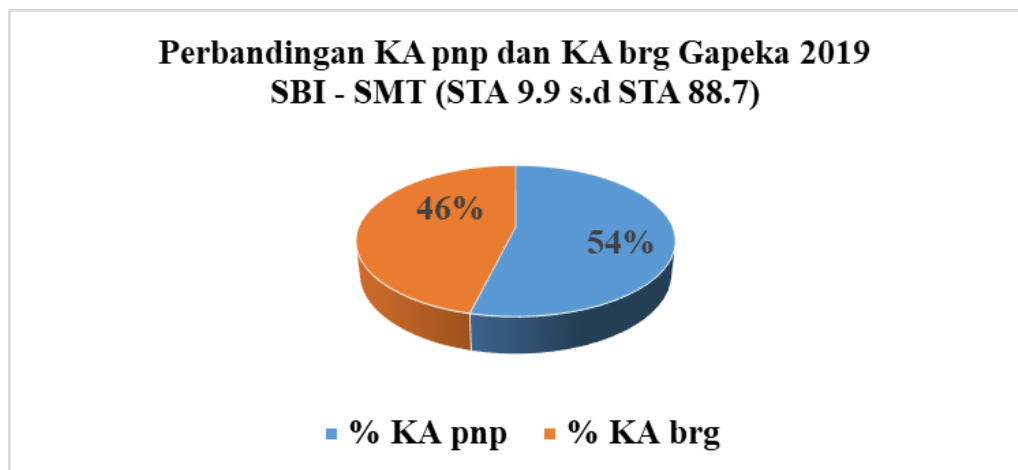
Gambar 4. 6 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 SBI - SMT (STA 9.9 s.d STA 88.7)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas SBI - SMT (STA 9.9 s.d STA 88.7) berdasarkan Gapeka Tahun 2015 adalah 48% : 52%



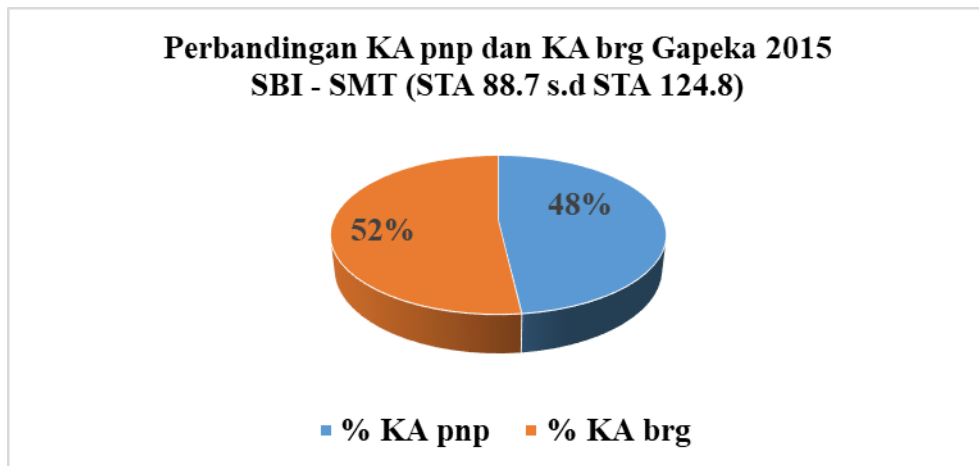
Gambar 4. 7 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 SBI - SMT (STA 9.9 s.d STA 88.7)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas SBI - SMT (STA 9.9 s.d STA 88.7) berdasarkan Gapeka Tahun 2017 adalah 37% : 63%



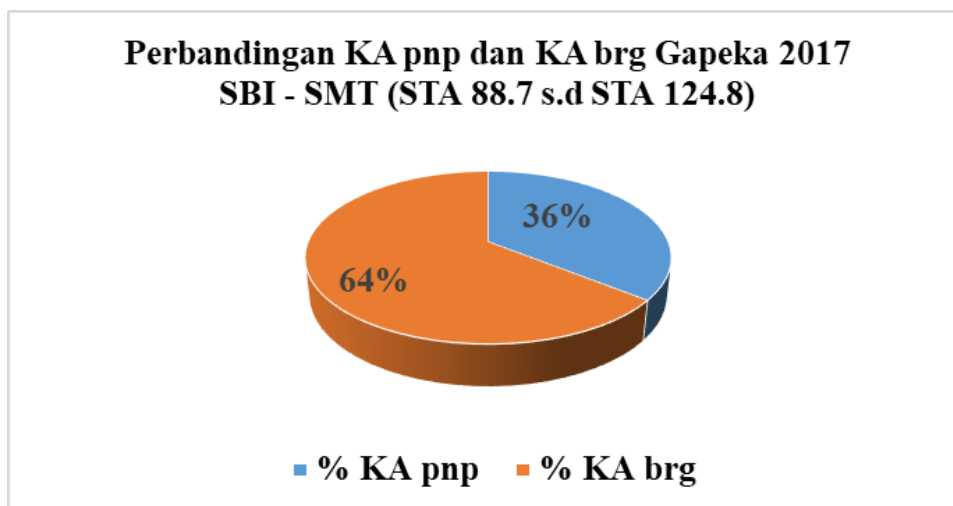
Gambar 4. 8 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 SBI - SMT (STA 9.9 s.d STA 88.7)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas SBI - SMT (STA 9.9 s.d STA 88.7) berdasarkan Gapeka Tahun 2019 adalah 54% : 46%



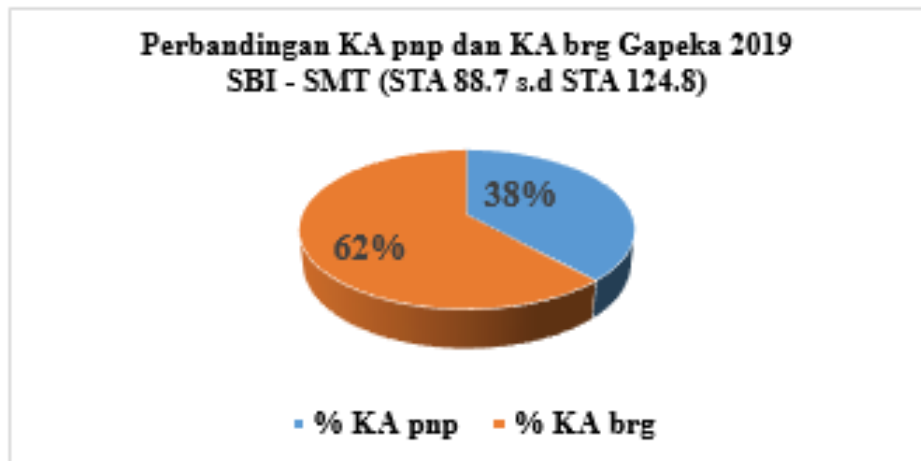
Gambar 4. 9 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8) berdasarkan Gapeka Tahun 2015 adalah 48% : 52%



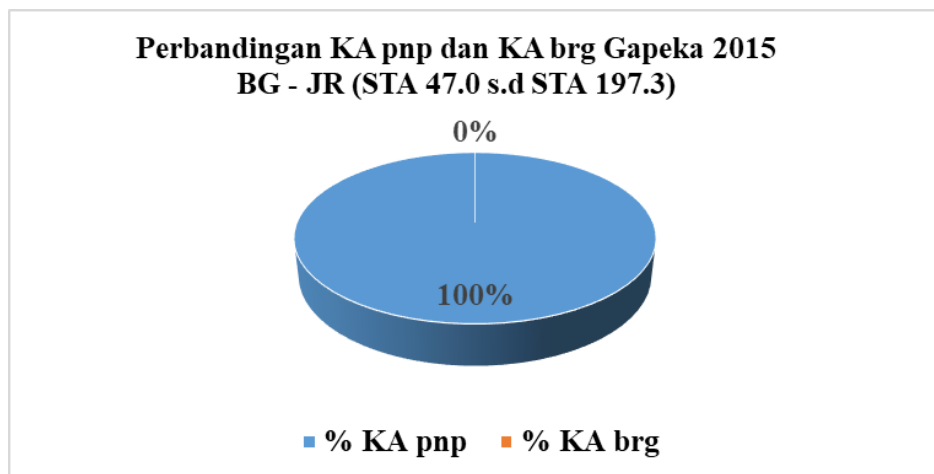
Gambar 4. 10 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8) berdasarkan Gapeka Tahun 2017 adalah 36% : 64%



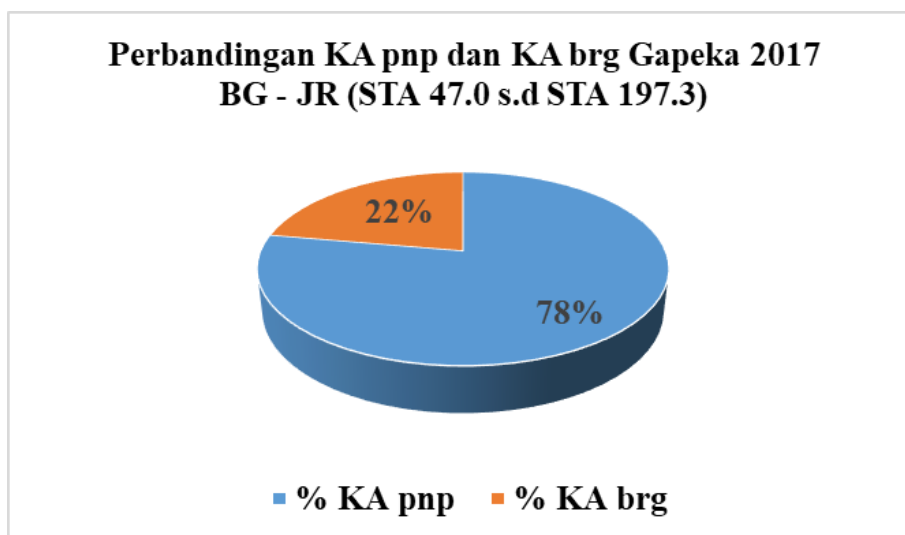
Gambar 4. 11 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8) berdasarkan Gapeka Tahun 2019 adalah 38% : 62%



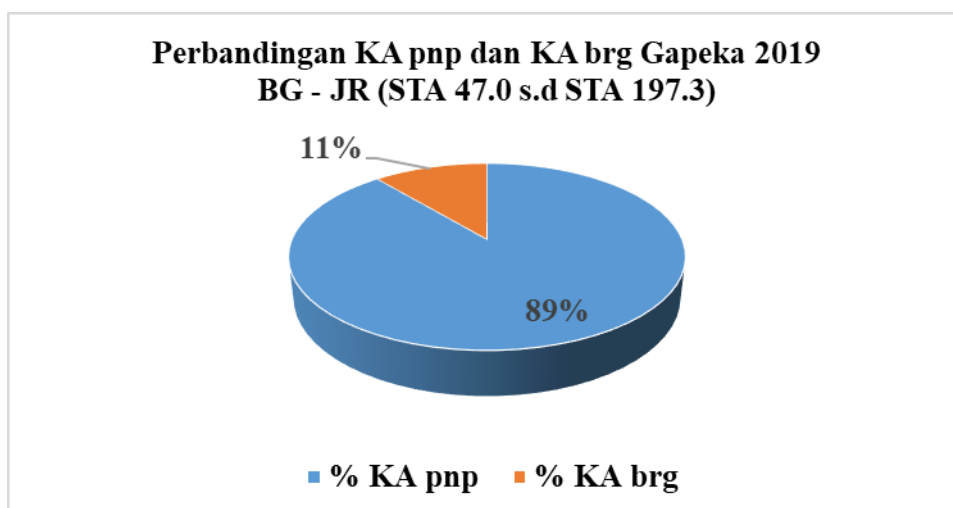
Gambar 4. 12 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3) berdasarkan Gapeka Tahun 2015 adalah 100% : 0%



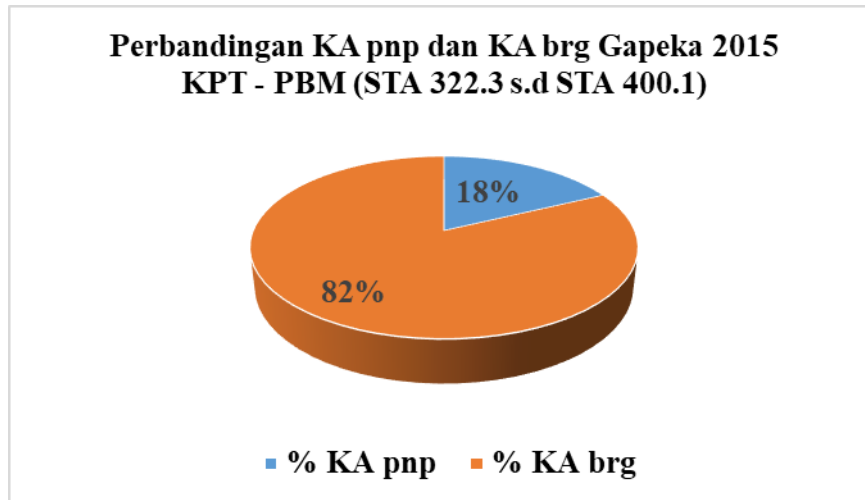
Gambar 4. 13 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3) berdasarkan Gapeka Tahun 2017 adalah 78% : 22%



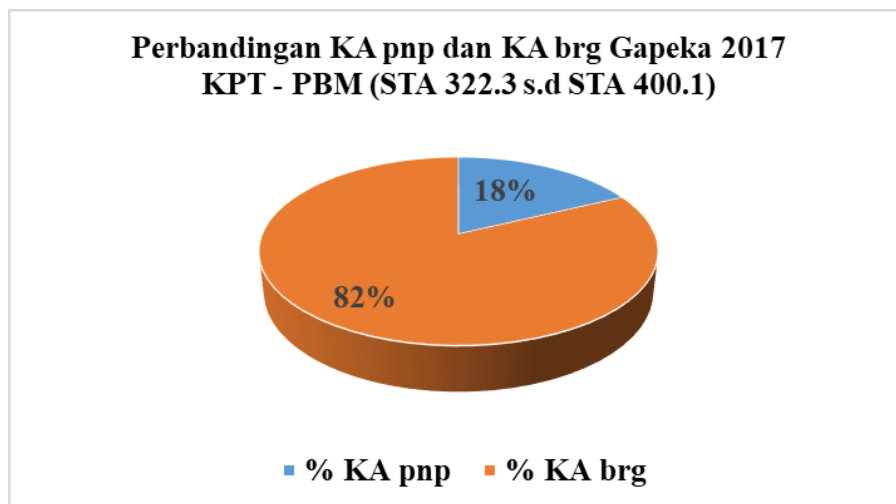
Gambar 4. 14 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3) berdasarkan Gapeka Tahun 2019 adalah 89% : 11%



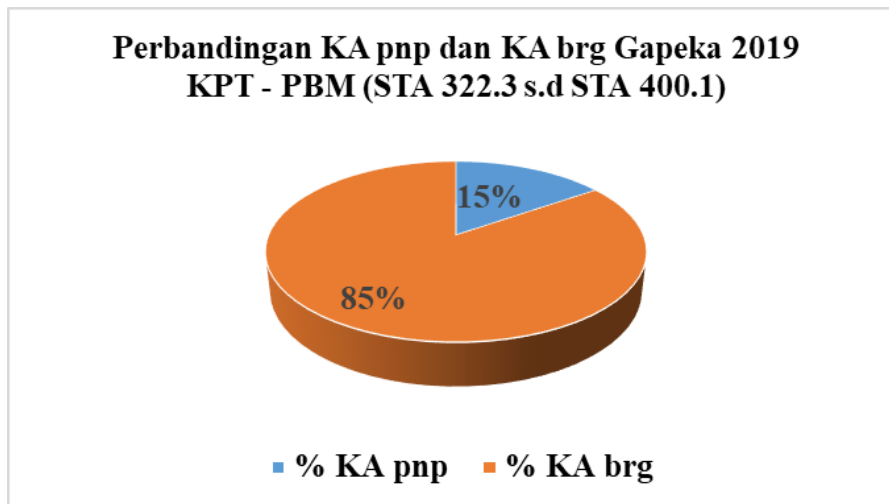
Gambar 4. 15 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2015 KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1) berdasarkan Gapeka Tahun 2015 adalah 18% : 82%



Gambar 4. 16 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2017 KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1) berdasarkan Gapeka Tahun 2017 adalah 18% : 82%

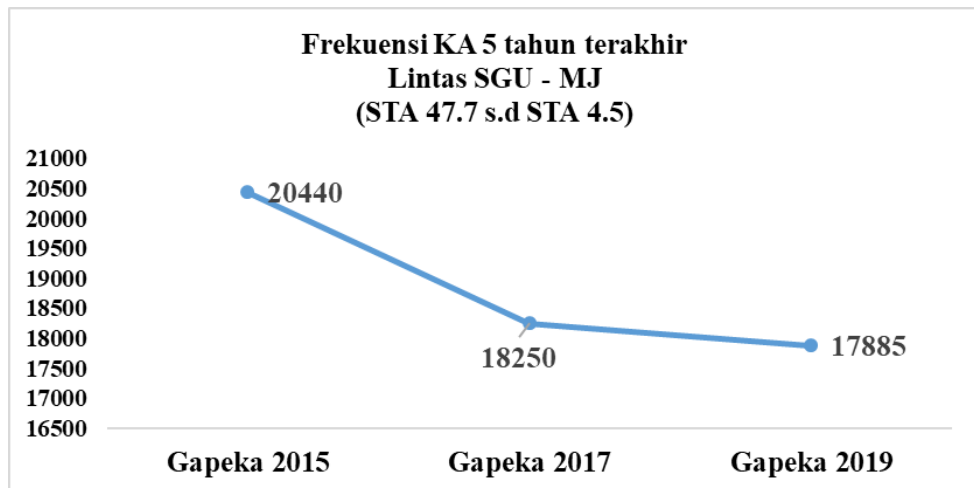


Gambar 4. 17 Perbandingan KA pnp dan KA brg Gapeka 2019 KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1)

Perbandingan lalu lintas jenis kereta penumpang dengan kereta barang pada lintas KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1) berdasarkan Gapeka Tahun 2019 adalah 15% : 85%

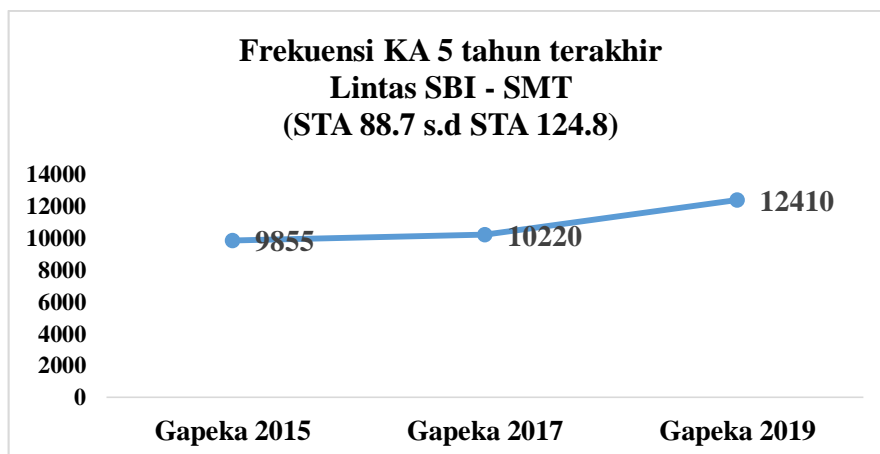
Dari Gambar 4.3 sampai Gambar 4.17, diketahui jenis kereta penumpang terbanyak berdasarkan perbandingan jenis kereta api yang melintas adalah pada lintas Bangil – Jember (STA 47.0 – STA 197.3) tahun 2015 dan 2016 dengan perbandingan lalu lintas 100% KA penumpang dan 0% KA barang. Sedangkan jenis kereta barang terbanyak berdasarkan perbandingan jenis kereta api yang melintas ada pada lintas Kertapati – Prabumulih (STA 322.3 –STA 400.1) dengan perbandingan lalu lintas 85% KA barang dan 15% KA penumpang.

Berikutnya pada Gambar 4.18 sampai Gambar 4.21 ditampilkan perubahan frekuensi lalu lintas kereta api dari tahun 2015 sampai tahun 2019 dimana terdapat 3 kali perubahan Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka). Perubahan tersebut adalah pada tahun 2015, tahun 2017 dan 2019. Dengan adanya perubahan ini, maka pola operasi kereta api juga berubah. Pola operasi yang berubah ini juga mengakibatkan jumlah frekuensi pada suatu lintas berubah.



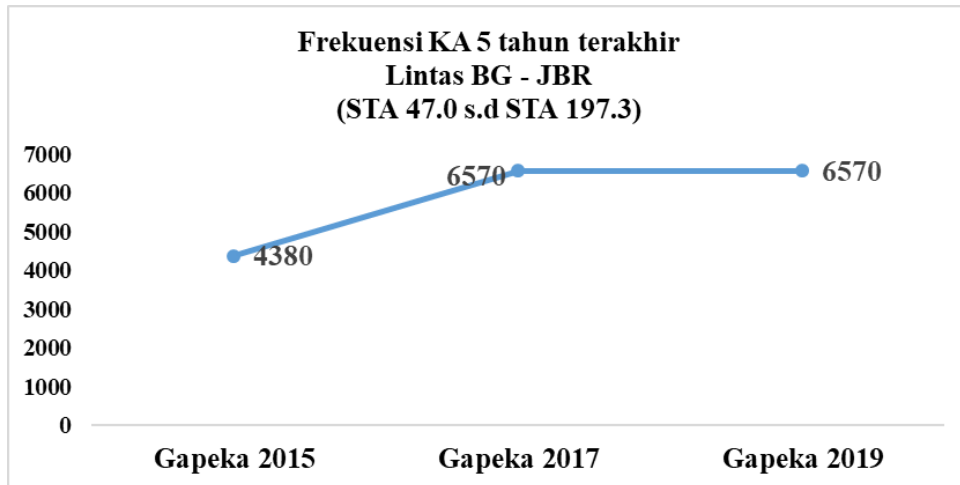
Gambar 4. 18 Frekuensi kereta api 2015 s.d 2019 Lintas SGU - MJK (STA 47.7 s.d STA 4.5)

Pada lintas Surabaya – Mojokerto (SGU – MJ) terdapat kecenderungan penurunan jumlah fekuensi kereta api. Frekuensi tertinggi pada lintas ini terjadi pada Gapeka 2015 yakni pada tahun operasional 2015 dan 2016. Sedangkan frekuensi terendah terjadi pada Gapeka tahun 2019 atau pada tahun operasional 2019 sampai dengan saat ini. Penurunan frekuensi KA dapat terjadi dikarenakan adanya perubahan pola operasi KA. Contohnya perubahan pola operasi sarana KA ke Jalur Utara dan ke lintas timur (Jember, Banyuwangi, Malang) yang meningkat. Selain itu, penyebab penurunan frekuensi lalu lintas kereta api dapat dikarenakan adanya pembagian jalur kereta api pada masing-masing arahnya



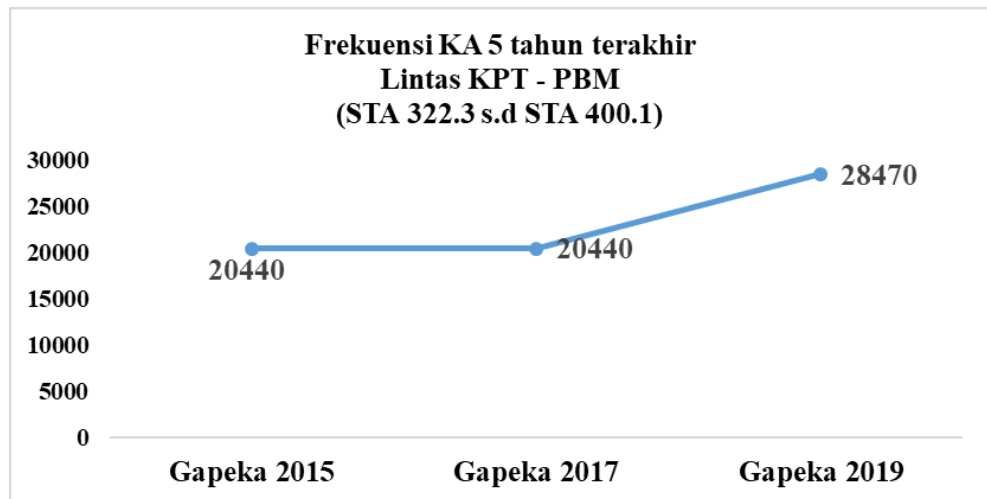
Gambar 4. 19 Frekuensi kereta api 2015 s.d 2019 Lintas SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8)

Pada lintas Surabaya – Semarang (SBI - SMT) STA 88.7 s.d STA 124.8 terjadi kenaikan jumlah fekuensi kereta api. Frekuensi tertinggi pada lintas ini terjadi pada Gapeka 2019 yakni pada tahun operasional 2019 sampai dengan saat ini. Sedangkan frekuensi terendah terjadi pada Gapeka tahun 2019 atau pada tahun operasional 2019 sampai dengan saat ini.



Gambar 4. 20 Frekuensi kereta api 2015 s.d 2019 Lintas BG - JBR (STA 47.0 s.d STA 197.3)

Pada lintas Bangil - Jember (BG - JR) STA 47.0 s.d STA 197.3 terjadi trend kenaikan jumlah fekuensi kereta api. Frekuensi tertinggi pada lintas ini terjadi pada Gapeka 2017 dan Gapeka 2019 yakni pada tahun operasional 2017, 2018 dan tahun operasional 2019 sampai dengan saat ini. Sedangkan frekuensi terendah terjadi pada Gapeka tahun 2015 atau pada tahun operasional 2015, 2016.



Gambar 4. 21 Frekuensi kereta api 2015 s.d 2019 Lintas KPT - PBM (STA 322.3 s.d STA 400.1)

Pada lintas Kertapati – Prabumulih (KPT - PBM) STA 322.4 s.d STA 400.1 terjadi trend kenaikan jumlah fekuensi kereta api. Frekuensi tertinggi pada lintas ini terjadi pada Gapeka 2019 yakni pada tahun operasional 2019 sampai dengan saat ini. Sedangkan frekuensi terendah terjadi pada Gapeka 2015 dan Gapeka 2017 atau pada tahun operasional 2015, 2016 dan tahun operasional 2017, 2018.

Dari Gambar 4.18 sampai Gambar 4.21 diketahui bahwa terdapat perbedaan frekuensi kereta api per masing – masing Gapeka. Pada Lintas Surabaya – Mojokerto (SGU – MJ) dan Lintas Surabaya – Semarang (SBI – SMT) dengan adanya perubahan Gapeka, maka frekuensi kereta api yang melintas cenderung menurun. Salah satu penyebab penurunan frekuensi lalu lintas kereta api ini dikarenakan adanya pembagian jalur kereta api pada masing-masing arahnya. Contohnya pada saat terjadi peningkatan jalan rel dari *single track* menjadi *double track*, lalu lintas kereta api semula akan dibebankan pada satu jalur track. Dengan adanya peningkatan jalur dari *single track* menjadi *double track* maka frekuensi kereta api akan dibagi menjadi dua atau berdasarkan arah perjalanan kereta api tersebut. Dengan demikian frekuensi kereta api per arah akan menurun, namun secara total (dua arah) frekuensi kereta api meningkat.

Pada Lintas BG – JBR dan KPT – PBM di Sumatera Selatan, frekuensi kereta api dari tahun 2015 sampai 2019 semakin meningkat. Hal ini dapat

dikarenakan adanya peningkatan *demand* yang ada di lintas tersebut. Permintaan layanan jasa kereta api pada lintas Sumatera didominasi oleh kereta barang khususnya yang bermuatan batubara. Peningkatan demand di Pulau Jawa khususnya di Lintas BG – JBR didominasi oleh jenis kereta penumpang.

4.3 Perhitungan Beban Lalu Lintas Tahunan Kereta Api

Pada Sub bab 4.2 telah diketahui adanya perbedaan frekuensi lalu lintas kereta api pada masing-masing lokasi studi. Pada lintasan kereta api di Pulau Jawa, jenis kereta api yang digunakan adalah jenis kereta penumpang. Sedangkan di Pulau Sumatera, moda angkutan kereta api lebih banyak digunakan sebagai angkutan barang. Pada lintas Kertapati – Prabumulih (Sumatera Selatan) Tahun 2019, perbandingan kereta barang dan kereta penumpang sebesar 85% : 15%. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan karakteristik lalu lintas kereta api yang berpengaruh terhadap beban lalu lintas tahunan.

Pada Subbab 4.3 ini akan dihitung beban lalu lintas tahunan kereta api menggunakan rumus:

$$\text{Beban Lintas (Pd)} = (\text{Tp}) + (\text{Tb}) \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana;

Pd = Beban Lintas Harian Kereta Api (ton)

Tb = Tonase barang dan gerbong harian (ton)

Tp = Tonase penumpang dan kereta harian (ton)

Untuk menghitung daya angkut lintas tahunan, PT Kereta Api Indonesia (Persero) menggunakan persamaan:

$$T = 360 \times S \times TE \dots\dots\dots(4.2)$$

$$TE = Tp + (Kb \times Tb) + (K1 \times T1) \dots\dots\dots(4.3)$$

Dimana:

T = Kapasitas angkut lintas (ton/tahun),

TE = Tonase ekivalen (ton/hari),

Tp = Tonase penumpang dan kereta harian,

Tb = Tonase barang dan gerbong harian,

T1 = Tonase Lokomotif harian,

S = Koefisien yang besarnya bergantung pada kualitas lintas, yaitu:

S = 1,1 untuk lintas dengan kereta penumpang dengan kecepatan maksimum 120 km/jam

S = 1,0 untuk lintas tanpa kereta penumpang K_b = Koefisien yang besarnya bergantung pada beban gandar, yaitu:

K_b = 1,5 untuk beban gandar < 18 ton K_b = 1,3 untuk beban gandar > 18 ton

K_l = Koefisien yang besarnya ditentukan sebesar 1,4

Data – data yang diperlukan pada perhitungan beban lalu lintas meliputi:

- Daftar kereta yang melintas
- Stamformasi (susunan rangkaian) kereta api
- Beban sarana

Berikut diberikan contoh perhitungan beban lalu lintas tahunan kereta api pada lintas studi Surabaya – Mojokerto (SGU – MJ) Tahun 2017. Data –data yang diperlukan untuk perhitungan beban lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4. 6.

Tabel 4. 2 Daftar kereta yang melintas lintas SGU – MJ Th 2017

No urut	Nomor KA	Jenis KA	Nama KA
1	174	pnp	GBM Selatan
2	56	pnp	Bangunkarta
3	285	pnp	Jenggala
4	44	pnp	Bima
5	419	pnp	Rapi Dhoho
6	112	pnp	Mutiara Selatan
7	448	pnp	KRD
8	5	pnp	Argo Wilis
9	83	pnp	Sancaka
10	50	pnp	Turangga
11	288	pnp	Jenggala
12	83	pnp	Sancaka
13	179	pnp	Pasundan
14	421	pnp	Penataran
15	101	pnp	Rangga Jati
16	420	pnp	Penataran
17	447	pnp	KRD

Tabel 4. 2 Daftar kereta yang melintas lintas SGU – MJ Th 2017 (Lanjutan)

No urut	Nomor KA	Jenis KA	Nama KA
18	187	pnp	Logawa
19	84	pnp	Sancaka
20	173	pnp	GBM Selatan
21	423	pnp	Penataran
22	194	pnp	Sri Tanjung
23	292	pnp	Jenggala
24	193	pnp	Sri Tanjung
25	293	pnp	Jenggala
26	188	pnp	Logawa
27	422	pnp	Penataran
28	102	pnp	Rangga Jati
29	450	pnp	KRD
30	55	pnp	Bangunkarta
31	49	pnp	Turangga
32	43	pnp	Bima
33	85	pnp	Sancaka
34	424	pnp	Penataran
35	425	pnp	Penataran
36	111	pnp	Mutiara Selatan
37	6	pnp	Argo Wilis
38	449	pnp	KRD
39	298	pnp	Jenggala
40	426	pnp	Penataran
41	180	pnp	Pasundan
42	86	pnp	Sancaka
43	2635	brg	BBM
44	2621	brg	BBM
45	2539	brg	Petikemas
46	2620	brg	BBM
47	2636	brg	BBM
48	2540	brg	Petikemas
49	2622	brg	BBM
50	2619	brg	BBM

Sumber: Grafik Perjalanan Kereta Api Th 2017

Pada Tabel 4.2 ditampilkan rangkaian kereta api yang melintas pada lintas Surabaya – Mojokerto (SGU – MJK) tahun 2017. Diketahui sebanyak 50 rangkaian melintasi jalur ini dalam waktu 24 jam operasi. Sebagai contoh perhitungan beban lalu lintas, akan dihitung beban dari rangkaian kereta api Bima dengan Nomor KA 44 (lihat tanda panah Tabel 4.2). Dengan cara yang sama akan diketahui beban pada masing-masing rangkaian kereta api.

Selanjutnya data yang dibutuhkan untuk menghitung beban lalu lintas adalah data stamformasi kereta api. Data stamformasi kereta api berisi informasi susunan rangkaian kereta api berdasarkan kelas pelayanannya (ekonomi, bisnis dan eksekutif). Contoh data stamformasi untuk rangkaian kereta api Bima (lihat tanda panah Tabel 4.2) ditampilkan pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 Stamformasi KA Penumpang Dipo Induk Jakarta Kota Th 2017

NO	NOMOR KA	NAMA KA	RELASI	JENIS LOK	RANGKAIAN POKOK																			
					S I	W is	K 1(K)	K1k	K 1	K M 1	M 1	M P1	K 2	K M 2	K M P2	M P2	K3 Split	K 3	K 3 NI	K P3	K M P3	M P3	B	P
1	132 / 131	Parcel Utara	Kpb-Sbi	CC 203																			20	2
2	134 / 133	Parcel Selatan	Kpb-Pwt-Pws	CC 206																			16	2
3	46-43 / 44-45	Bima	Gmr-Cn-Yk-Sgu ml	CC 206				16			2													2
4	48 / 47	Sembrani	Gmr-Sbi	CC 203				16			2												2	2
	40F / 39F	Argo Jati Fak	Gmr-Cn	CC 203				8			1													1
5	78 / 77	Gumarang	Pse-Smt-Sbi	CC 203				4	2	2			6				4						2	2
6	389/390/391	Pangrango	Si-Boo-Si	CC 206					1								4				1			
7	456/455/458	Siliwangi	Si-Cj-Si	CC 206													4				1			
8	144-145	Jayabaya	Pse-Sbi-MI	CC 206													8				1			
9	174 / 173	GBM Selatan	Jak-Sgu	CC 203													16				2		2	
10	321 / 322	Walaha Eksp	Pwk-Jak-Pwk	CC 201													8				1			
11	Weselstel	KA Eksekutif						8			1													1

Sumber: PT KAI, 2017

Pada Tabel 4.3 diketahui rangkaian kereta api Bima (lihat tanda panah Tabel 4.3) ditarik oleh lokomotif CC 2016 dan memiliki rangkaian 16 K1k + 2 M1 + 2P atau 16 rangkaian Kereta Kls Eks utk Argo + 2 Kereta Makan Eks + 2 Kereta dgn R. Pembangkit. Setelah diketahui jenis kereta apa saja yang ada pada rangkaian ini, langkah selanjutnya adalah dengan menjumlahkan seluruh beban masing-masing kereta/gerbong. Untuk mengetahui beban pada tiap kereta/gerbong, data beban kereta/gerbong berdasarkan kelas pelayanannya dapat dilihat pada Tabel 4.4. Untuk mengetahui beban masing-masing lokomotif dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4. 4 Beban kereta/gerbong berdasarkan kelas pelayanannya

Jenis Kereta	Nama Kereta	Berat (Ton)	Beban Gandar (Ton)
K1k	Kereta Kls Eks utk Argo	40	18
K1	Kereta Kls Eks biasa	40	18
KM1	Kereta Makan Eks	39	18
M1	Kereta Makan Eks	39	18
K2	Kereta Kls Bisnis	40	18
KMP2	Krt Makan + Pembangkit Kls Bisnis	39	18
MP2	Krt Makan + Pembangkit Kls Bisnis	39	18
K3 Split	Kereta Kls Eko dgn AC	40	18
K3 NI	Kereta Kls Eko New Image	40	18
KMP3	Kereta Mkan + Pembangkit Kls Eko	39	18
B	Kereta dgn R. Bagasi	37	18
P	Kereta dgn R. Pembangkit	37	18

Sumber: PT KAI, 2017

Tabel 4. 5 Beban Lokomotif

No	Jenis Lokomotif	Beban (Ton)
1	CC201	48
2	CC202	50
3	CC203	50
4	CC204	52
5	CC205	52
6	CC206	52

Sumber: PT KAI, 2017

Contoh perhitungan beban rangkaian kereta Nomor KA 44 (Bima):

1. Dari Tabel 4.3 diketahui susunan rangkaian (stamformasi) kereta api Bima adalah: 16K1k + 2M1 + 2P.
2. Rangkaian kereta api ini ditarik oleh lokomotif CC 206 (lihat tanda panah Tabel 4.3)
3. Langkah berikutnya adalah mengalikan stamformasi kereta ini dengan beban sarana sebagaimana tertera pada Tabel 4.4. Sehingga beban dari rangkaian kereta api Bima adalah:

$$16(40) + 2(39) + 2(37) = 792 \text{ Ton.}$$
4. Beban rangkaian ini selanjutnya ditambahkan dengan beban lokomotif. Pada Tabel 4.5 diketahui berat dari lokomotif CC 206 adalah 52 Ton. Jadi total beban dari rangkaian kereta api Bima adalah:

$$792 + 52 = 844 \text{ Ton.}$$

Dengan cara yang sama, maka dapat diketahui beban masing-masing kereta yang melintas pada lintas Surabaya – Mojokerto (SGU – MJ). Pada Tabel 4.6 ditampilkan rekapitulasi beban rangkaian kereta yang melewati lintas tersebut.

Tabel 4. 6 Rekapitulasi beban lintas SGU – MJ Th 2017

no urut	no ka	jenis ka	nama ka	berat rangkaian	berat lokomotif
1	174	pnp	GBM Selatan	842	50
2	56	pnp	Bangunkarta	918	52
3	285	pnp	Jenggala	287	48
4	44	pnp	Bima	844	52
5	419	pnp	Rapi Dhoho	287	48
6	112	pnp	Mutiara Selatan	838	52
7	448	pnp	KRD	287	48
8	5	pnp	Argo Wilis	844	52
9	83	pnp	Sancaka	445	52
10	50	pnp	Turangga	838	52
11	288	pnp	Jenggala	287	48
12	83	pnp	Sancaka	445	52
13	179	pnp	Pasundan	682	50
14	421	pnp	Penataran	287	48
15	101	pnp	Rangga Jati	844	52
16	420	pnp	Penataran	287	48
17	447	pnp	KRD	287	48
18	187	pnp	Logawa	404	48
19	84	pnp	Sancaka	445	52
20	173	pnp	GBM Selatan	842	50
21	423	pnp	Penataran	287	48
22	194	pnp	Sri Tanjung	364	48
23	292	pnp	Jenggala	287	48
24	193	pnp	Sri Tanjung	364	48
25	293	pnp	Jenggala	287	48
26	188	pnp	Logawa	404	48
27	422	pnp	Penataran	287	48
28	102	pnp	Rangga Jati	844	52
29	450	pnp	KRD	287	48
30	55	pnp	Bangunkarta	918	52
31	49	pnp	Turangga	838	52
32	43	pnp	Bima	844	52
33	85	pnp	Sancaka	445	52
34	424	pnp	Penataran	287	48
35	425	pnp	Penataran	287	48
36	111	pnp	Mutiara Selatan	838	52

Tabel 4. 6 Rekapitulasi beban lintas SGU – MJ Th 2017 (Lanjutan)

no urut	no ka	jenis ka	nama ka	berat rangkaian	berat lokomotif
37	6	pnp	Argo Wilis	844	52
38	449	pnp	KRD	287	48
39	298	pnp	Jenggala	287	48
40	426	pnp	Penataran	287	48
41	180	pnp	Pasundan	682	50
42	86	pnp	Sancaka	445	52
Passing Tonnage KA Pnp				21940	
Rata-rata Beban Lokomotif KA Pnp					49.81
43	2635	brg	BBM	704	104
44	2621	brg	BBM	704	104
45	2539	brg	Petikemas	2624	104
46	2620	brg	BBM	704	704
47	2636	brg	BBM	704	704
48	2540	brg	Petikemas	704	104
49	2622	brg	BBM	704	704
50	2619	brg	BBM	2624	704
Passing Tonnage KA Brg				9472	
Rata-rata Beban Lokomotif KA Brg					404

Dari data tersebut Tonase Ekuivalen dapat dicari menggunakan rumus:

$$TE = T_p + (K_b \times T_b) + (K_1 \times T_1)$$

$$TE = 21.940 + (1,5 \times 9.472) + (1,4 \times (404+49,81))$$

$$TE = 21.940 + 14.208 + 635,334$$

$$TE = 36.783,33 \text{ Ton}$$

Setelah Tonase Ekuivalen diketahui, maka beban lalu lintas tahunan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$T = 360 \times S \times TE$$

$$T = 360 \times 1,1 \times 36.783,33$$

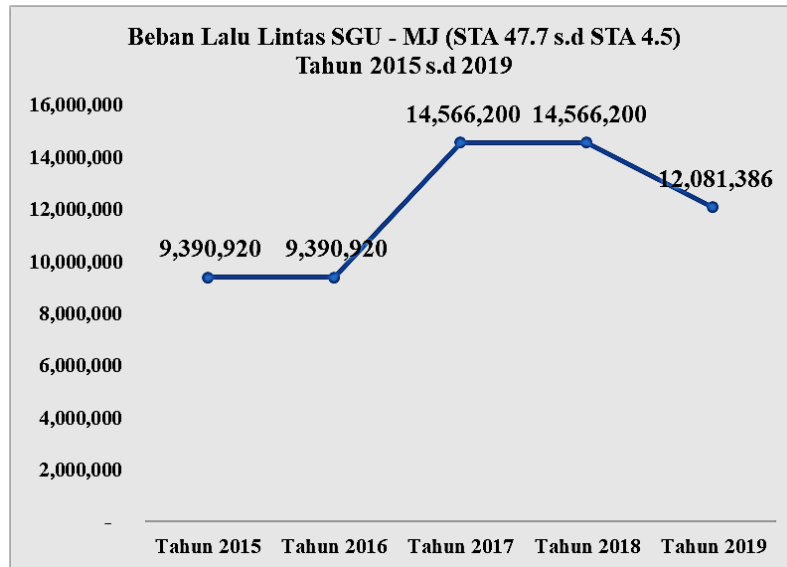
$$T = 14.566.200 \text{ Ton/Tahun}$$

Dari perhitungan tersebut, diketahui beban lalu lintas tahunan Surabaya – Mojokerto (SGU – MJ) tahun 2017 sebesar 14.566.200 ton/tahun. Dengan demikian, dengan cara yang sama akan dapat diketahui beban lalu lintas tahunan pada masing-masing lokasi studi. Beban lalu lintas tahunan pada lintas studi tahun 2015 s.d tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4. 7 Beban Lalu Lintas Tahunan pada Lintas Studi Tahun 2015 s.d 2019

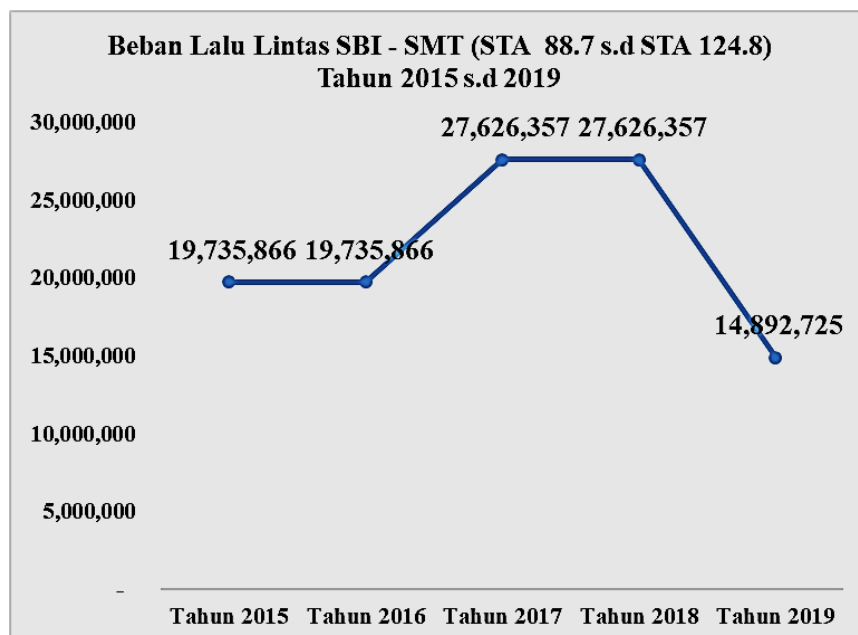
LOKASI	GAPEKA	BEBAN LALU LINTAS TAHUNAN (TON/TAHUN)
SGU-MJK (47.7 - 4.5)	GAPEKA 2015	9,390,920
	GAPEKA 2017	14,566,200
	GAPEKA 2019	12,081,386
SBI-SMT (88.7-124.8)	GAPEKA 2015	19,735,866
	GAPEKA 2017	27,626,357
	GAPEKA 2019	14,892,725
BG-JBR (47.0 - 197.3)	GAPEKA 2015	2,024,405
	GAPEKA 2017	4,929,487
	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

Adanya peningkatan dan penurunan beban lalu lintas tahunan dikarenakan adanya perubahan Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) pada tahun 2015, 2017 dan 2019. Perubahan Gapeka menyebabkan adanya perubahan pola operasi dan berpengaruh terhadap perubahan beban lalu lintas suatu lintasan kereta api. Perubahan beban lalu lintas tahunan pada tahun 2015 sampai dengan tahun 2019 dapat dilihat pada Gambar 4.22 sampai Gambar 4.25.



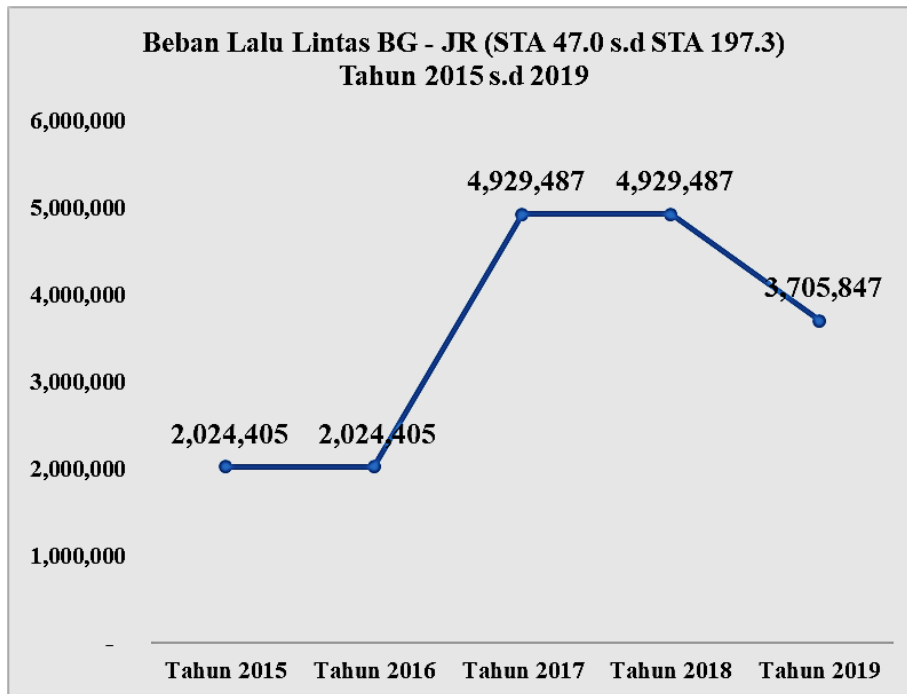
Gambar 4. 22 Beban lalu lintas SGU - MJ (STA 47.7 s.d STA 4.5) Tahun 2015 s.d 2019

Beban lalu lintas kereta api pada lintas Surabaya – Mojokerto (SGU – MJ) STA 47.7 s.d STA 4.5 yang tertinggi terjadi pada tahun 2017 dan 2018. Pada tahun operasional tersebut berlaku Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) tahun 2017.



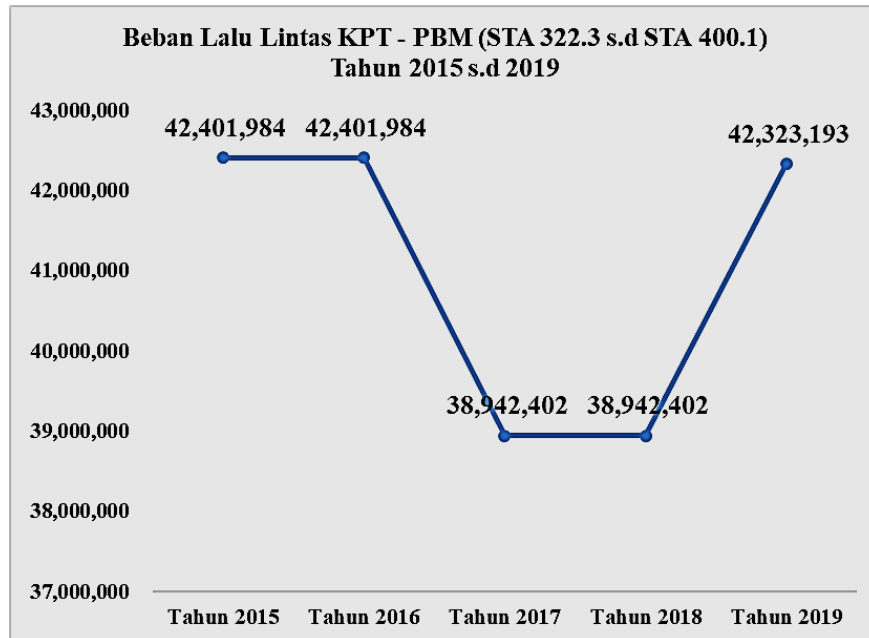
Gambar 4. 23 Beban lalu lintas SBI - SMT (STA 88.7 s.d STA 124.8) Tahun 2015 s.d 2019

Beban lalu lintas kereta api pada lintas Surabaya – Semarang (SBI – SMT) STA 88.7 s.d STA 124.8 yang tertinggi terjadi pada tahun 2017 dan 2018. Pada tahun operasional tersebut berlaku Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) tahun 2017.



Gambar 4. 24 Beban lalu lintas BG - JR (STA 47.0 s.d STA 197.3) Tahun 2015 s.d 2019

Beban lalu lintas kereta api pada lintas Bangil – Jember (BG - JR) STA 47.0 s.d STA 197.3 yang tertinggi terjadi pada tahun 2017 dan 2018. Pada tahun operasional tersebut berlaku Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) tahun 2017.



Gambar 4. 25 Beban lalu lintas Kertapati–Prabumulih (KPT-PBM) Th 2015-2019

Beban lalu lintas kereta api pada lintas Kertapati - Prabumulih (KPT-PBM) STA 322.3 s.d STA 400.1 yang tertinggi terjadi pada tahun 2019. Pada tahun operasional tersebut berlaku Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka) tahun 2019.

4. 4 Nilai Parameter Track Quality Index tiap Lokasi Studi

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.

Pada penelitian ini, digunakan data TQI dari PT KAI selama 5 tahun pada lokasi studi. Data yang didapatkan berupa data TQI per 200 m pada setiap lintas. Contoh data TQI pada lintas studi dapat dilihat pada Gambar 4.26 dan Gambar 4.27

TRACK		QUALITY BY		DEVICE	HALAMAN 1			
PT. LINTAS DARI ANTARA KELAS	KERETA SB-SLO SGU-MR 2	API KODE KE KECEPATAN TANGGAL	DAOP SGU-MR MR 90 26.04.2015	8	SURABAYA			
ANTARA	---DARI---	---KE---	KELAS	TQI	Perting	Angk.rt	Lestr.r	Lb. Sp
	KM	KM						
SGU-MR	13.000	13.200	2	19,7	6,4	6	5,1	2,2
SGU-MR	13.200	13.400	2	6,95	2,9	1	1,45	1,6
SGU-MR	13.400	13.600	2	12,4	2,4	3,3	4,1	2,6
SGU-MR	13.600	13.800	2	10,55	1,8	2,5	2,45	3,8
SGU-MR	13.800	14.000	2	15,55	4,7	3,7	5,05	2,1
SGU-MR	14.000	14.200	2	10,95	5,1	1,8	1,85	2,2
SGU-MR	14.200	14.400	2	30,75	3,5	19,7	5,25	2,3
SGU-MR	14.400	14.600	2	12,4	2,9	3	3,3	3,2
SGU-MR	14.600	14.800	2	13,65	2,1	3,4	5,85	2,3
SGU-MR	14.800	15.000	2	11,75	3,2	2,9	3,15	2,5
SGU-MR	15.000	15.200	2	7,3	1,4	2	1,5	2,4
SGU-MR	15.200	15.400	2	12,15	5,1	2,3	1,65	3,1
SGU-MR	15.400	15.600	2	10,35	2,6	2,5	2,55	2,7
SGU-MR	15.600	15.800	2	14,25	4,1	3,3	4,25	2,6
SGU-MR	15.800	16.000	2	14,85	2,4	7,9	1,75	2,8
SGU-MR	16.000	16.200	2	13,55	3,8	3,5	3,75	2,5
SGU-MR	16.200	16.400	2	16,2	4,1	4,2	5,1	2,8
SGU-MR	16.400	16.600	2	14	4	6,4	0,8	2,8
SGU-MR	16.600	16.800	2	10,95	5	3,2	1,15	1,6
SGU-MR	16.800	17.000	2	27,2	7,5	15	2,9	1,8
SGU-MR	17.000	17.200	2	21	5,9	7,3	4,8	3
SGU-MR	17.200	17.400	2	12,35	2,1	3,2	4,15	2,9
SGU-MR	17.400	17.600	2	13,2	5,8	1,6	2,6	3,2
SGU-MR	17.600	17.800	2	18,1	6,2	4,6	4,5	2,8
SGU-MR	17.800	18.000	2	39,25	13,4	16,1	6,25	3,5

Gambar 4. 26 Data Track Quality index Lintas SGU – MJK

Sumber : PT KAI

TRACK		QUALITY BY		DEVICE	HALAMAN 1			
PT. LINTAS DARI ANTARA KELAS	KERETA SGU-JR BG BG-JR 3	API KODE KE KECEPATAN TANGGAL	DAOP BG-JR JR 70 23.09.2015	9	JEMBER			
ANTARA	---DARI---	---KE---	KELAS	TQI	Perting	Angk.rt	Lestr.r	Lb. Sp
	KM	KM						
BG-JR	46.800	47.000	3	15,85	5,1	5,5	2,55	2,7
BG-JR	47.000	47.200	3	15,15	4,9	5,4	1,85	3
BG-JR	47.200	47.400	3	19,95	7,4	7,2	2,55	2,8
BG-JR	47.400	47.600	3	14,25	2,3	6	3,55	2,4
BG-JR	47.600	47.800	3	7,7	1,9	0,9	2,9	2
BG-JR	47.800	48.000	3	30,15	13,9	6,8	6,55	2,9
BG-JR	48.000	48.200	3	40,75	25	6,8	5,25	3,7
BG-JR	48.200	48.400	3	30,25	16,4	6,4	4,55	2,9
BG-JR	48.400	48.600	3	15,9	5,5	5	2,6	2,8
BG-JR	48.600	48.800	3	20,15	7,7	5,1	3,95	3,4
BG-JR	48.800	49.000	3	15	5,1	4,7	2,6	2,6
BG-JR	49.000	49.200	3	16,5	6,1	4,4	3,4	2,6
BG-JR	49.200	49.400	3	15,8	5,2	4,5	3,3	2,8
BG-JR	49.400	49.600	3	15,55	7,6	3,6	2,15	2,2
BG-JR	49.600	49.800	3	13,6	4,2	4,5	2,1	2,8
BG-JR	49.800	50.000	3	13,4	4	3,1	3,5	2,8
BG-JR	50.000	50.200	3	12,55	3,7	4,3	2,45	2,1
BG-JR	50.200	50.400	3	16,1	5,4	3,1	4,7	2,9

Gambar 4. 27 Data Track Quality index Lintas BG - JR

Sumber : PT KAI

Nilai Parameter Track Quality Index (TQI) diperoleh dari nilai rata-rata per 200 m pada lokasi studi. Untuk mendapatkan nilai Track Quality Index pada tiap lokasi studi dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9. Pada penjelasan tersebut ditampilkan cara memperoleh nilai rata-rata parameter TQI pada lintas Bangil-Jember (BG-JR) tahun 2015. Berikut cara untuk memperoleh nilai TQI tiap lokasi studi:

1. Pada lintas studi dibagi menjadi beberapa bagian (section) yaitu berdasarkan STA tiap stasiun pada suatu lintas, dalam contoh ini adalah lintas Bangil-Jember (BG-JR).

Tabel 4. 8 Stasiun pada lintas Bangil-Jember

NO	STASIUN AWAL	STASIUN AKHIR	AWAL KM	AKHIR KM
1	Stasiun Bangil	Pasuruan	47,0	63,0
2	Stasiun Pasuruan	Rejoso	63,0	71,9
3	Stasiun Rejoso	Grati	71,9	77,6
4	Stasiun Grati	Bayeman	77,6	89,9
5	Stasiun Bayeman	Probolinggo	89,9	101,5
6	Stasiun Bangil	Pasuruan	47,0	63,0

2. Mencari nilai rata –rata TQI pada setiap section berdasarkan data tiap section. Contoh pada lintas ini adalah section Stasiun Rejoso sampai Stasiun Grati STA 71.9 – STA 76.8

Tabel 4. 9 Stasiun pada lintas Bangil-Jember

STA	Pert	Angkt	Listr	Lb Sp	TQI
71,800	9,9	8,1	5,05	2,5	25,55
72,000	8,2	4,1	4	2,7	19,00
72,200	1,9	9,2	1,75	1,2	14,05
72,400	5,1	7,8	2,9	2,8	18,60
72,600	3,4	3	4,05	2,6	13,05
72,800	6,4	6,7	3,55	3,2	19,85

Tabel 4. 9 Stasiun pada lintas Bangil-Jember (Lanjutan)

STA	Pert	Angkt	Listr	Lb Sp	TQI*
73,000	6,5	13,9	1,6	2,9	24,90
73,200	7,5	11,3	4,1	2,5	25,40
73,400	4,9	18,2	5,35	3	31,45
73,600	7,6	8,9	3,1	3,2	22,80
73,800	5,9	2,4	4,85	2,8	15,95
74,000	5,8	7,4	5,65	2,6	21,45
74,200	4,1	3	4,25	2,3	13,65
74,400	2,8	1	1,7	2,7	8,20
74,600	6,6	9,6	4,4	2,1	22,70
74,800	5,7	2,1	4,15	2,3	14,25
75,000	5,2	3,7	4,3	2	15,20
75,200	0,8	1	1,5	1,2	4,50
75,400	3,5	5,3	4,1	2,7	15,60
75,600	7	4,6	4,05	2	17,65
75,800	2,6	4,5	1,75	2,1	10,95
76,000	3,1	2,1	3,45	2,5	11,15
76,200	2,1	2,4	5	2,4	11,90
76,400	3	2,4	2,8	2,9	11,10
76,600	0,9	0,9	1,8	3,8	7,40
76,800	1,3	1,6	1,4	3	7,30
total	121,8	145,2	90,6	66	423,6
Jml data	26	26	26	26	26
Rata-rata	4,68	5,58	3,48	2,53	16,29

Dari Tabel 4.9, diketahui nilai rata-rata parameter TQI pada STA 71.9 – STA 77.6 adalah pertinggian sebesar 4,68, angkatan sebesar 5,58, listringan sebesar 3,48 dan lebar sepur sebesar 16,29. Dengan cara yang sama, maka akan diketahui nilai parameter TQI per masing-masing lokasi studi selama 5 tahun terakhir.

4.5 Rekapitulasi nilai parameter TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas.

Untuk mencari nilai frekuensi dan beban lalu lintas telah dijelaskan secara berturut – turut pada subbab 4.2 dan subbab 4.3, sedangkan untuk mencari nilai TQI dijelaskan pada subbab 4.4. langkah selanjutnya adalah membuat

rekapitulasi nilai TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas. Pada Tabel 4.10 ditampilkan hasil rekapitulasi nilai parameter TQI berdasarkan frekuensi dan beban lalu lintas pada masing-masing lokasi studi.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi nilai TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas

LOK	X1	X2	INDEPENDENT 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

Dari Tabel 4.10 diketahui bahwa nilai frekuensi (jumlah rangkaian) akan bernilai sama pada tahun operasional yang berpedoman pada Gapeka yang sama. Misalkan pada tahun 2015 dan 2016, nilai frekuensi kereta api adalah sama karena berpedoman pada Gapeka tahun 2015. Hal ini juga berlaku pada nilai beban lalu lintas kereta api. Namun demikian, hal serupa tidak berlaku pada nilai parameter TQI yang ada pada lintas tersebut. Pada Tabel 4.10 diketahui nilai parameter TQI berubah – ubah dalam waktu 5 tahun terakhir. Dengan demikian, agar didapatkan nilai parameter TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas, maka nilai parameter TQI yang digunakan adalah nilai rata-rata pada setiap parameter TQI berdasarkan nilai frekuensi dan beban lalu lintas yang sama. Dengan cara yang sama, maka diketahui nilai masing-masing parameter TQI pada setiap nilai frekuensi dan beban lalu lintas untuk pada lintas studi.

4.6 Persamaan untuk Memprediksi Nilai Parameter TQI berdasarkan Data Frekuensi dan Beban Lalu Lintas Kereta Api

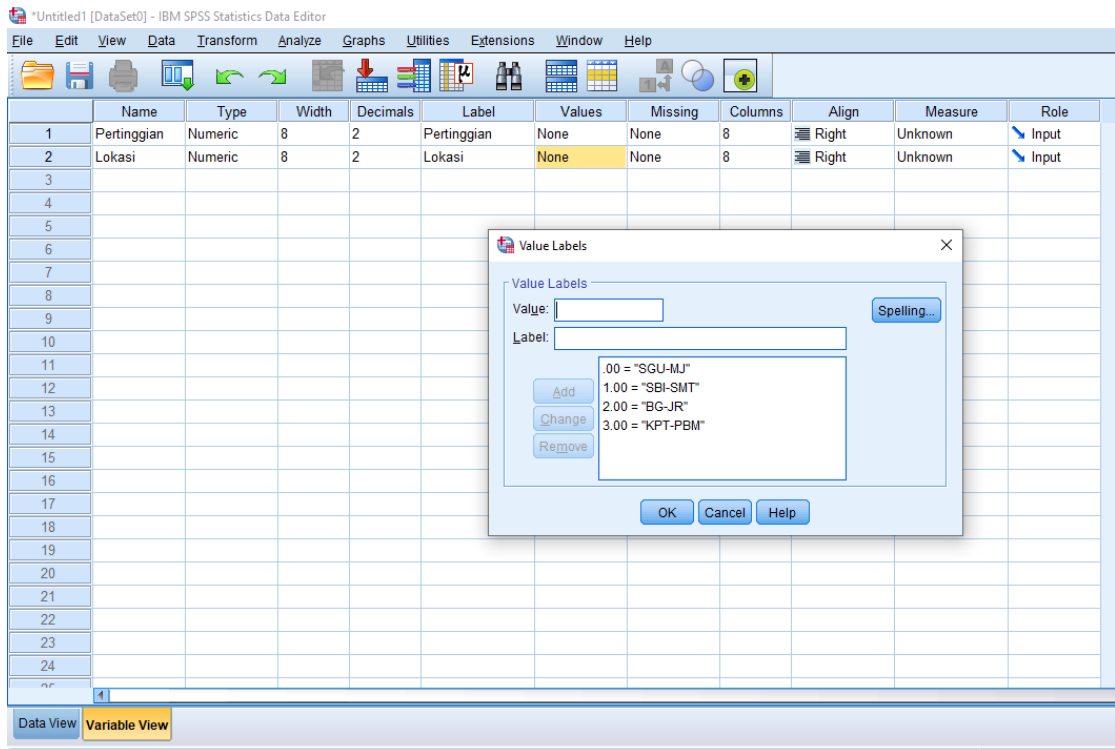
Pada penelitian ini, ada dua variabel bebas yang digunakan, yakni Frekuensi (X1) dan Beban (X2), serta 1 variabel terikat yaitu nilai TQI (Y). Sebelum melakukan analisis regresi berganda, maka dilakukan uji homogenitas dan uji multikolinearitas. Pada penelitian ini digunakan program bantu SPSS guna memudahkan dalam proses analisa data.

4.6.1 Uji Homogenitas

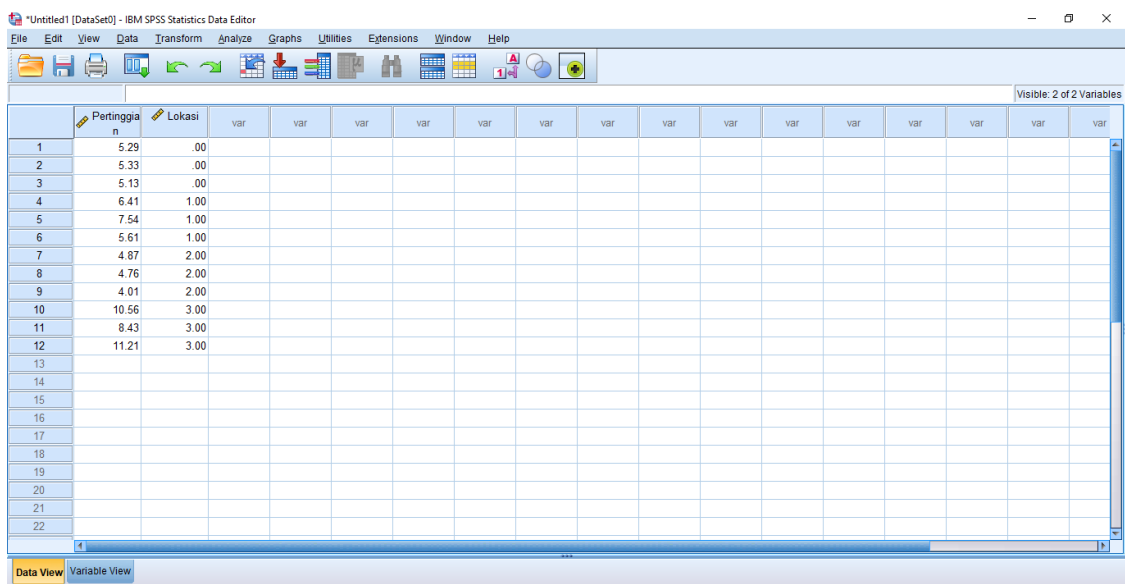
Uji homogenitas bertujuan untuk mengetahui apakah variasi beberapa data dari populasi memiliki varians yang sama atau tidak. Dasar pengambilan keputusan uji homogenitas adalah:

1. Jika nilai signifikansi atau Sig. < 0,05, maka dikatakan bahwa varians dari dua atau lebih kelompok populasi data adalah tidak sama (tidak homogen)
2. Jika nilai signifikansi atau Sig. > 0,05, maka dikatakan bahwa varians dari dua atau lebih kelompok populasi data adalah sama (homogen)

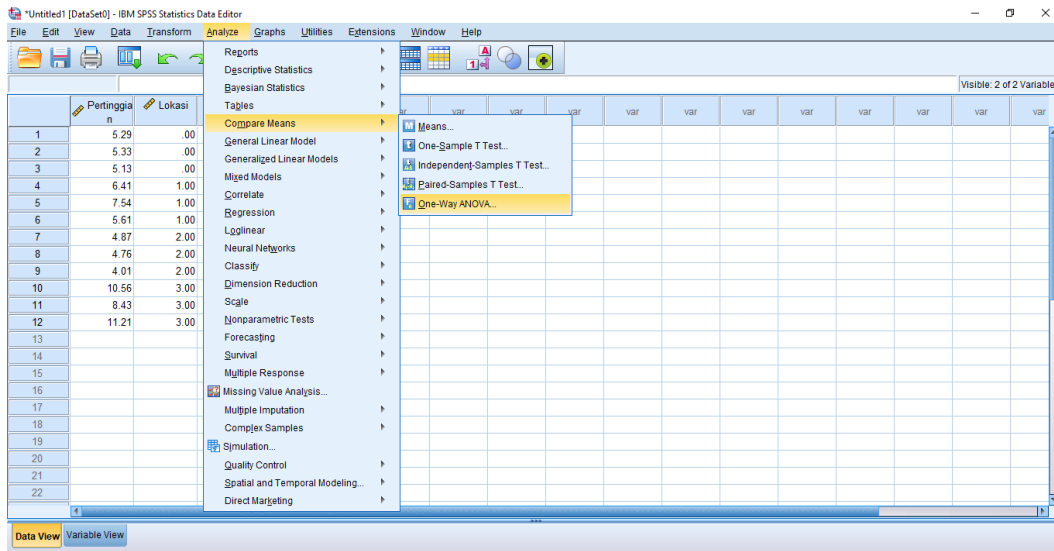
Langkah – langkah yang harus dilakukan dalam uji homogenitas dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.33. Pada Gambar tersebut, digunakan parameter pertinggian yang akan dilakukan uji homogenitas



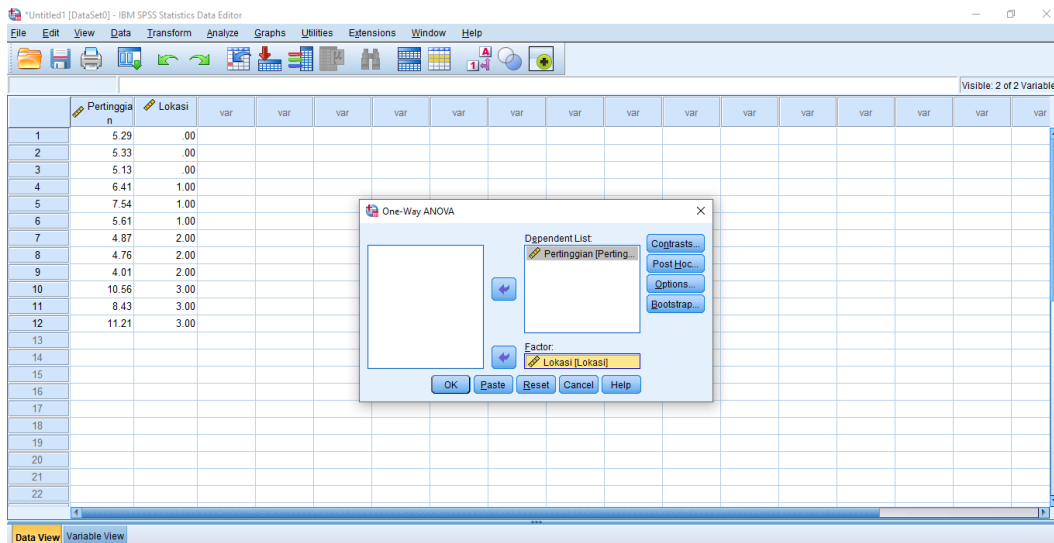
Gambar 4. 28 Proses inputing data uji homogenitas



Gambar 4. 29 Inputing data pada data view

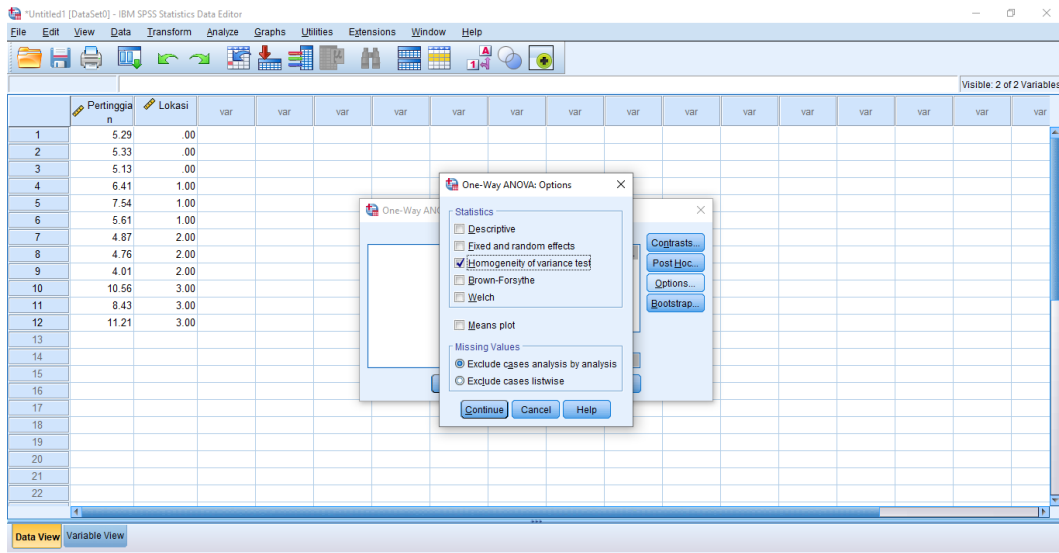


Gambar 4. 30 Running data uji homogenitas tahap 1

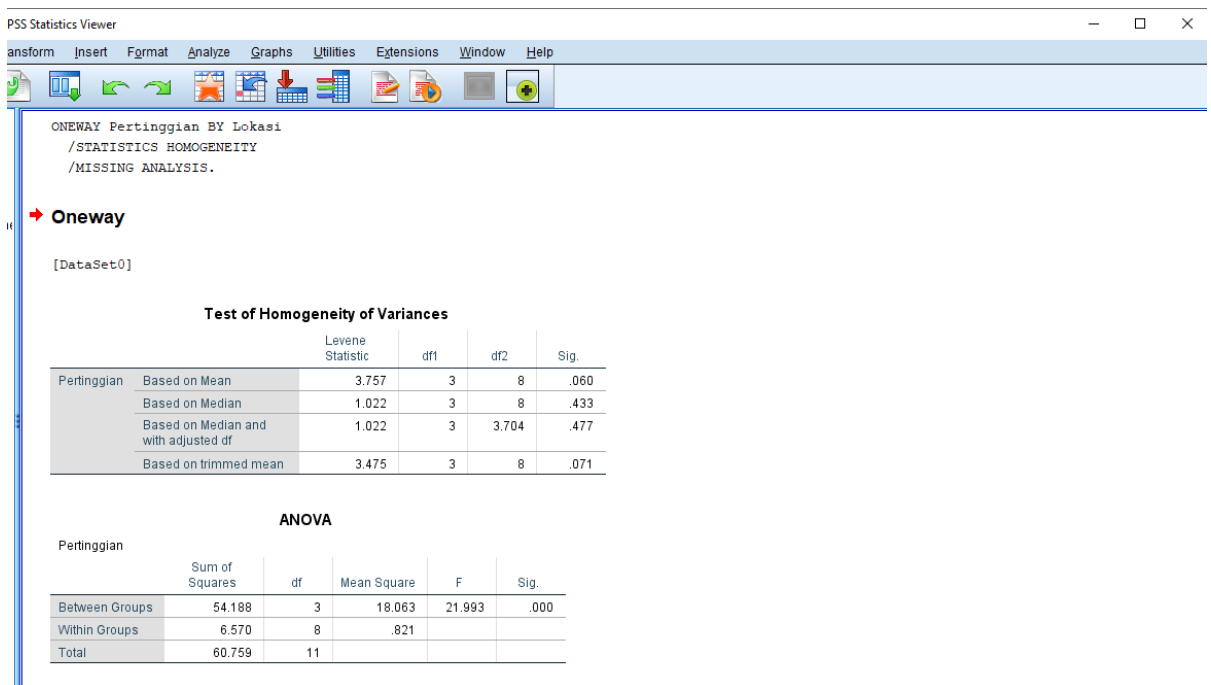


Gambar 4. 31 Running data uji homogenitas tahap 2

Pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.29 ditunjukkan inputing data pada variable view dan data view. Gambar 4.30 sampai dengan Gambar 4.32 merupakan langkah-langkah yang harus dilakukan dalam rangka running data. Output dari uji homogenitas pada tahap ini dapat dilihat pada Gambar 4.33.



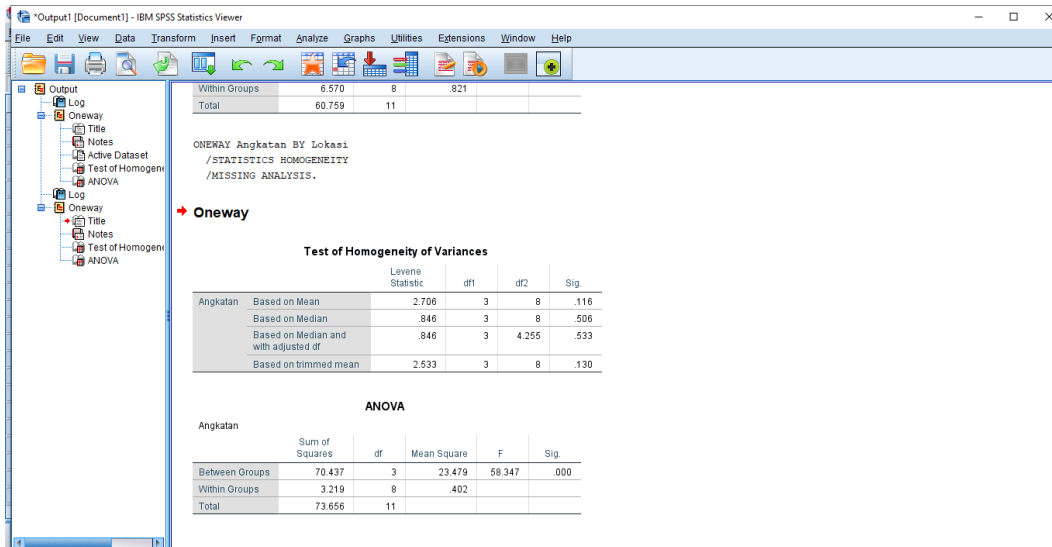
Gambar 4. 32 Running data uji homogenitas tahap 3



Gambar 4. 33 Output uji homogenitas parameter pertinggian

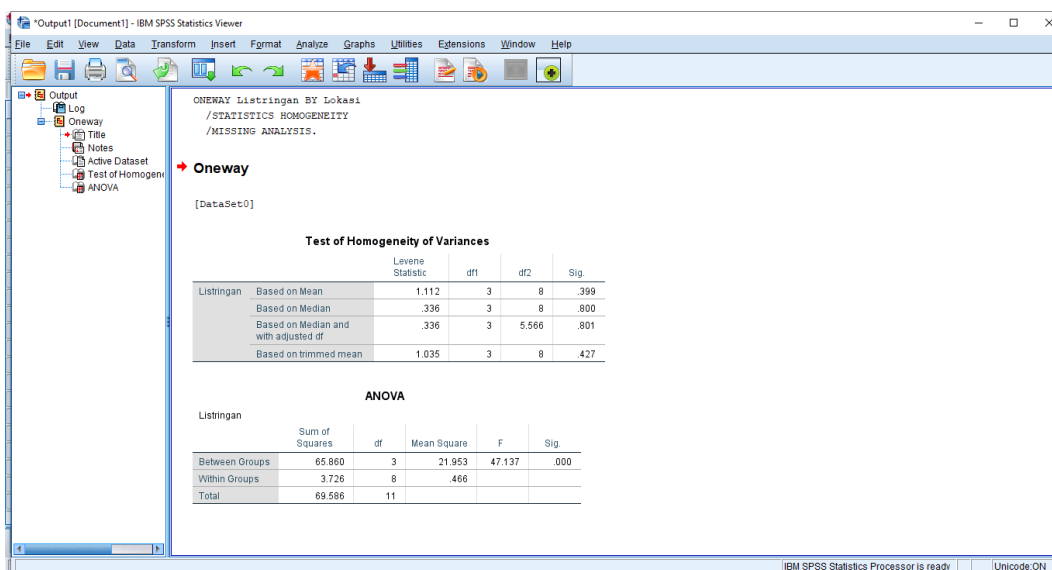
Pada Gambar 4.33 diketahui nilai Sig. adalah sebesar 0,60 atau lebih besar dari 0,05. Artinya parameter pertinggian memiliki varians data yang homogen dan dapat dilanjutkan ke analisa selanjutnya. Dengan cara yang sama, maka dapat diketahui hasil dari uji homogenitas terhadap parameter yang lain. Selanjutnya

Gambar 4.34 sampai dengan Gambar 4.38 ditampilkan output dari parameter yang lain



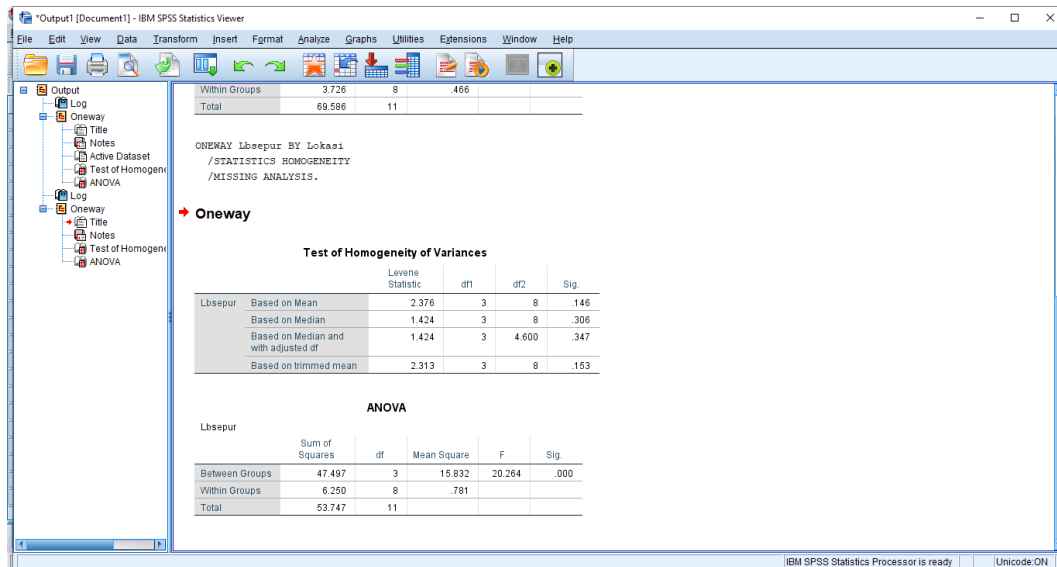
Gambar 4. 34 Output uji homogenitas parameter angkatan

Pada Gambar 4.34 diketahui nilai Sig. adalah sebesar 0,116 atau lebih besar dari 0,05. Artinya parameter angkatan memiliki varians data yang homogen dan dapat dilanjutkan ke analisa selanjutnya



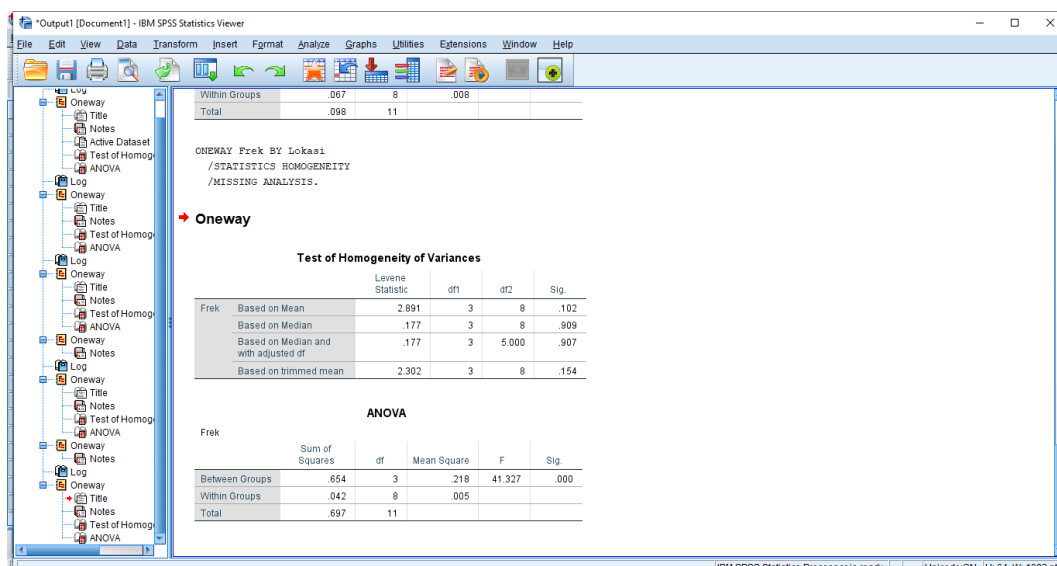
Gambar 4. 35 Output uji homogenitas parameter listringan

Pada Gambar 4.35 diketahui nilai Sig. adalah sebesar 0,399 atau lebih besar dari 0,05. Artinya parameter listriangan memiliki varians data yang homogen dan dapat dilanjutkan ke analisa selanjutnya



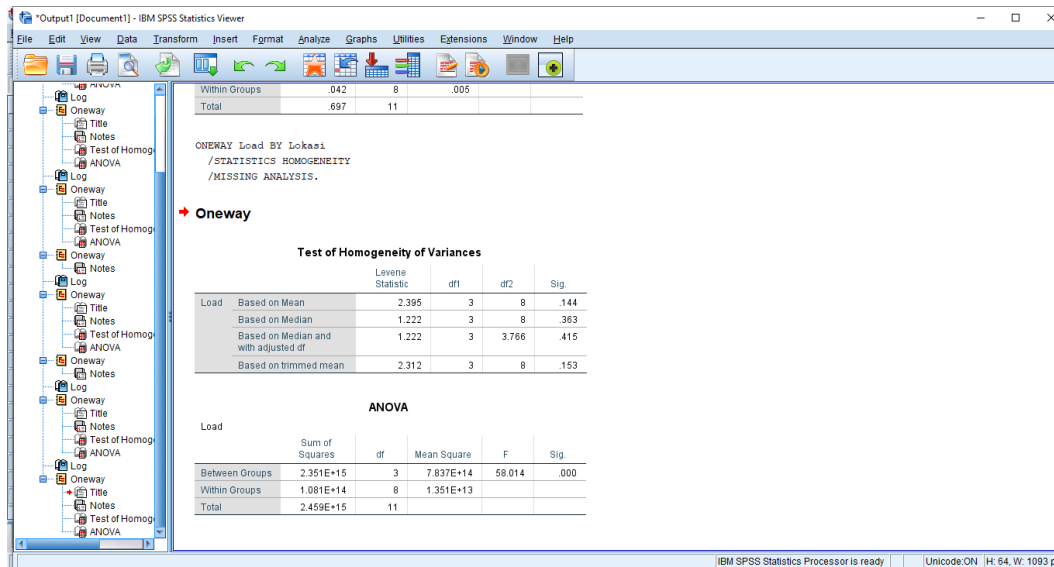
Gambar 4. 36 Output uji homogenitas parameter lebar sepur

Pada Gambar 4.36 diketahui nilai Sig. adalah sebesar 0,146 atau lebih besar dari 0,05. Artinya parameter lebar sepur memiliki varians data yang homogen dan dapat dilanjutkan ke analisa selanjutnya



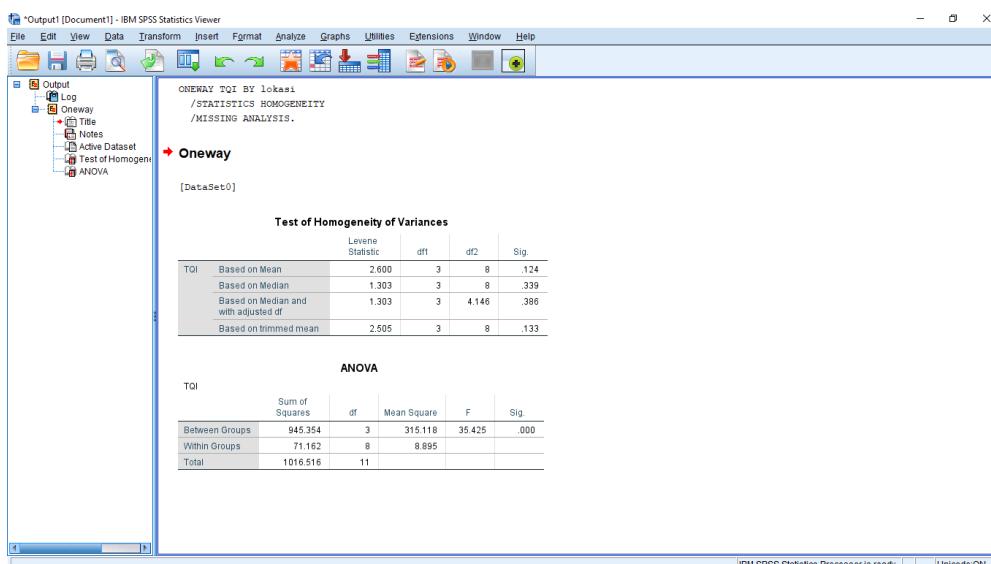
Gambar 4. 37 Output uji homogenitas variable bebas frekuensi

Pada Gambar 4.37 diketahui nilai Sig. adalah sebesar 0,102 atau lebih besar dari 0,05. Artinya variable frekuensi memiliki varians data yang homogen dan dapat dilanjutkan ke analisa selanjutnya



Gambar 4. 38 Output uji homogenitas variable bebas beban lalu lintas

Pada Gambar 4.38 diketahui nilai Sig. adalah sebesar 0,144 atau lebih besar dari 0,05. Artinya variable beban memiliki varians data yang homogen dan dapat dilanjutkan ke analisa selanjutnya



Gambar 4. 39 Output uji homogenitas variable nilai TQI

Pada Gambar 4.39 diketahui nilai Sig. adalah sebesar 0,124 atau lebih besar dari 0,05. Artinya variable nilai TQI memiliki varians data yang homogen dan dapat dilanjutkan ke analisa selanjutnya

4.6.2 Uji Multikolinearitas

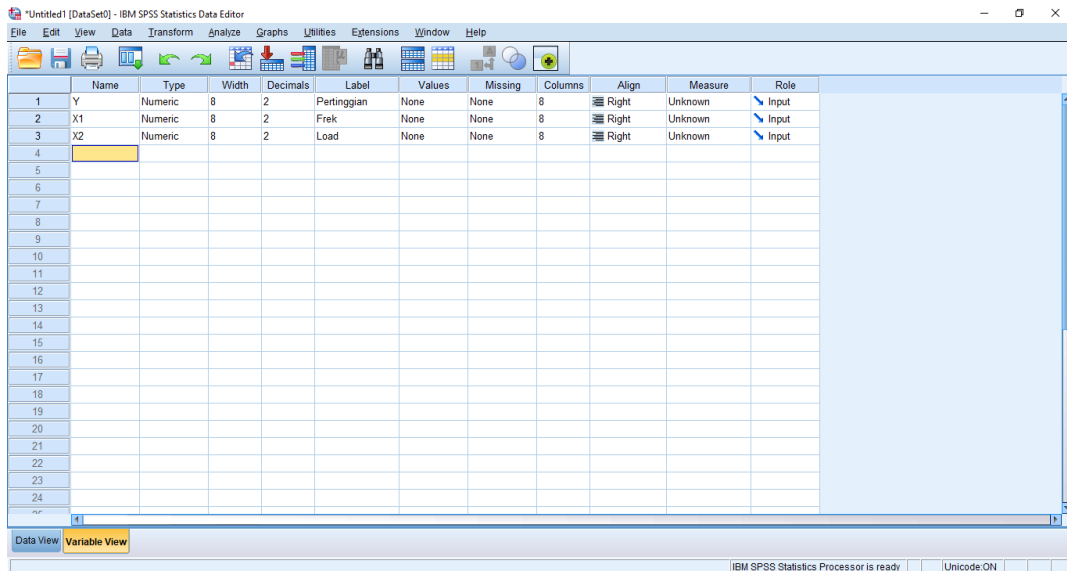
Setelah dilakukan uji homogenitas, maka dilakukan uji multikolinearitas. Tujuan dari uji multikolinearitas adalah untuk mengetahui apakah ditemukan adanya korelasi (hubungan kuat) antar variable bebas atau variable independent. Suatu model regresi yang baik tidak terjadi korelasi diantara variable bebas 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). Dasar pengambilan keputusan pada uji multikolinearitas berdasarkan nilai tolerance adalah:

1. Jika nilai tolerance lebih besar dari 0,10 maka tidak terjadi multikolinearitas dalam model regresi
2. Jika nilai tolerance lebih kecil dari 0,10 maka terjadi multikolinearitas dalam model regresi.

Dasar pengambilan keputusan pada uji multikolinearitas berdasarkan nilai VIF (variance inflation factor) adalah:

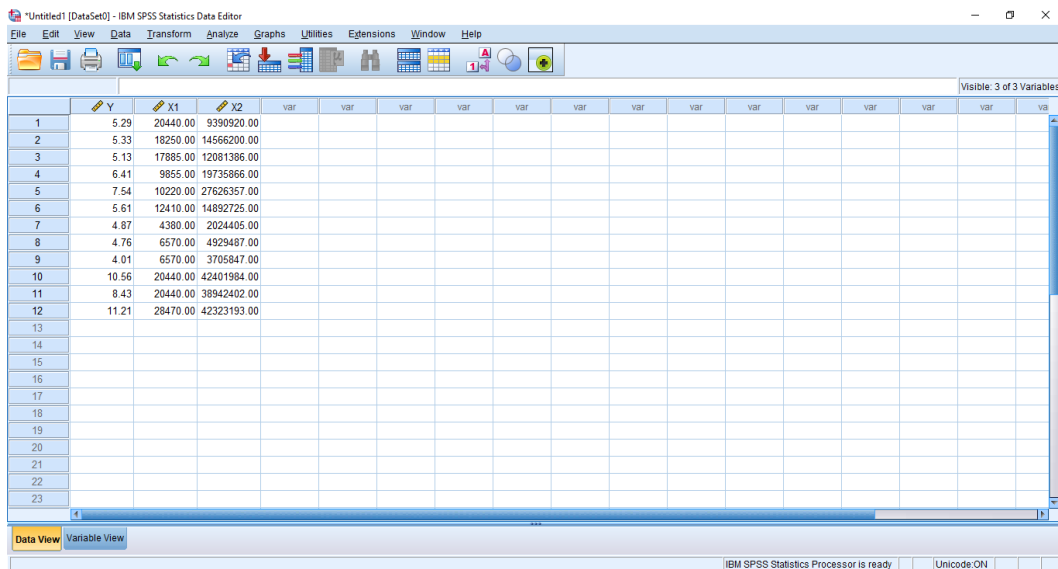
1. Jika nilai VIF $< 10,00$ maka tidak terjadi gejala multikolinearitas
2. Jika nilai VIF $> 10,00$ maka terjadi gejala multikolinearitas

Langkah-langkah yang harus dilakukan pada uji multikolinearitas dapat dilihat pada Gambar 4.40 sampai Gambar 4.45

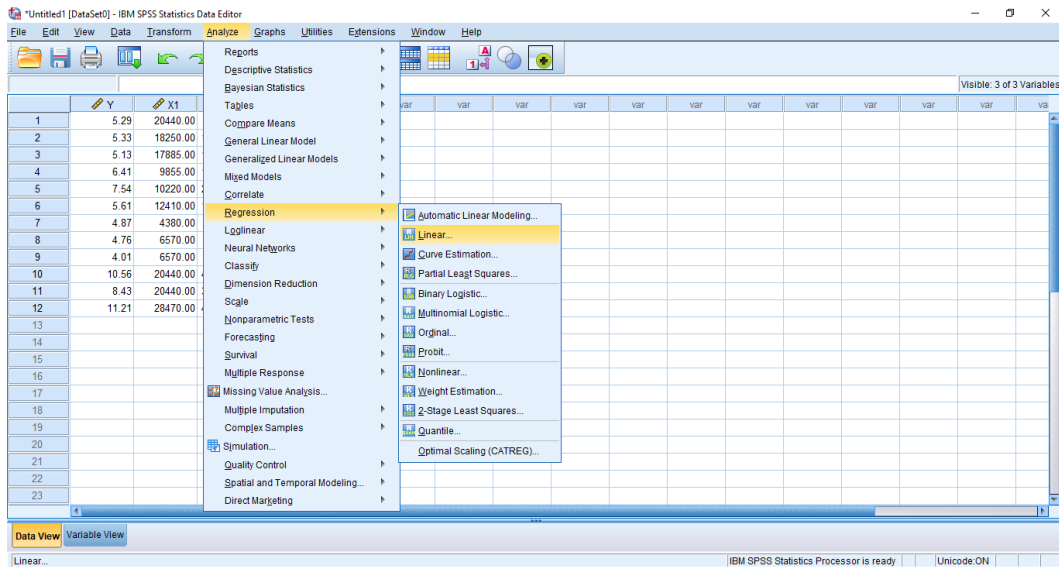


Gambar 4. 40 inputing data pada variable view

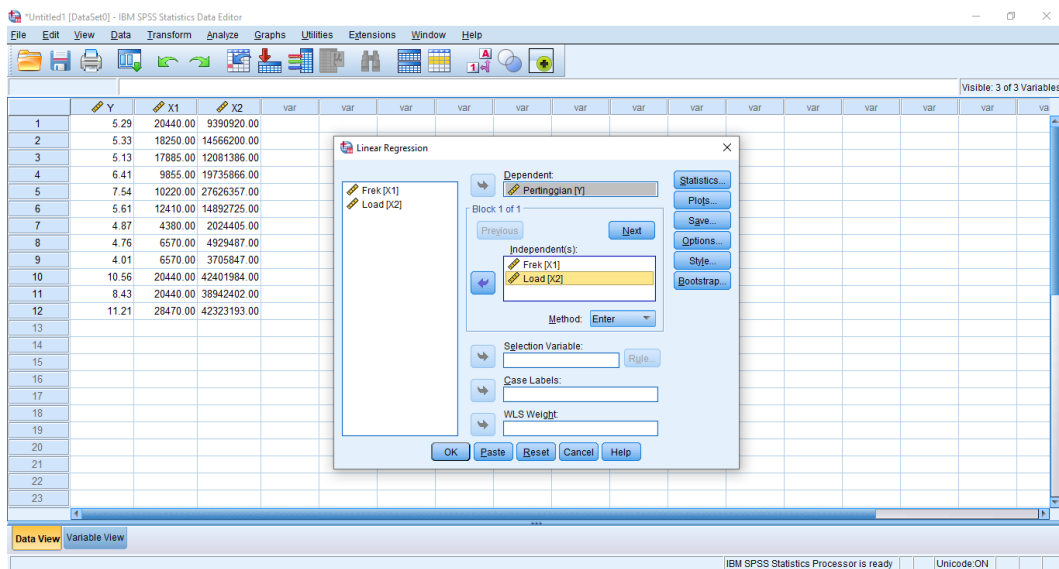
Pada Gambar 4.30 dan Gambar 4.41 ditampilkan proses inputing data pada variable view dan data view. Gambar 4.42 sampai dengan Gambar 4.44 ditunjukkan langkah-langkah pada proses running data uji multikolinearitas. Selanjutnya pada Gambar 4.44 ditunjukkan hasil dari output uji multikolinearitas.



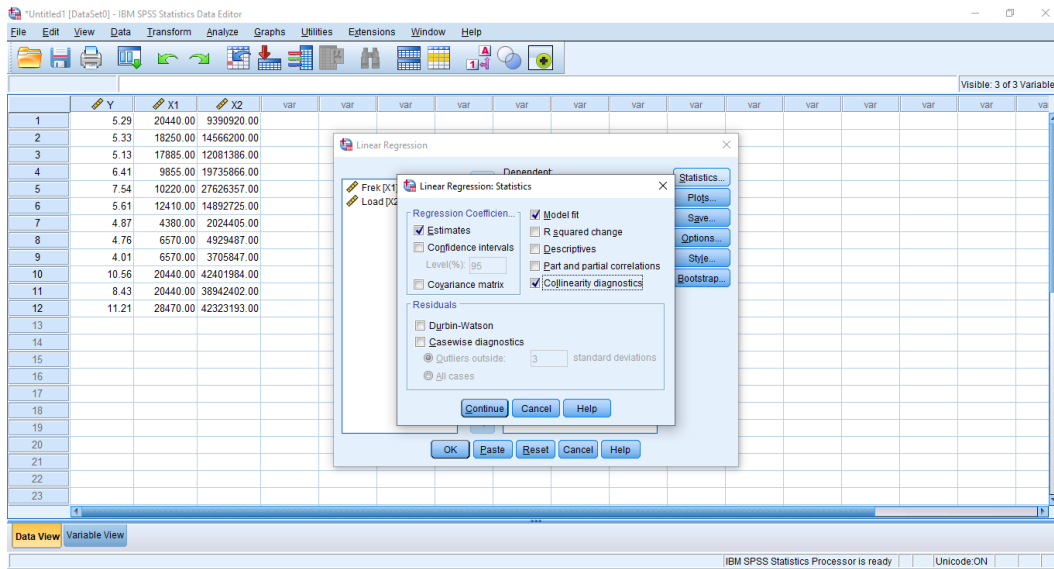
Gambar 4. 41 inputing data pada data view



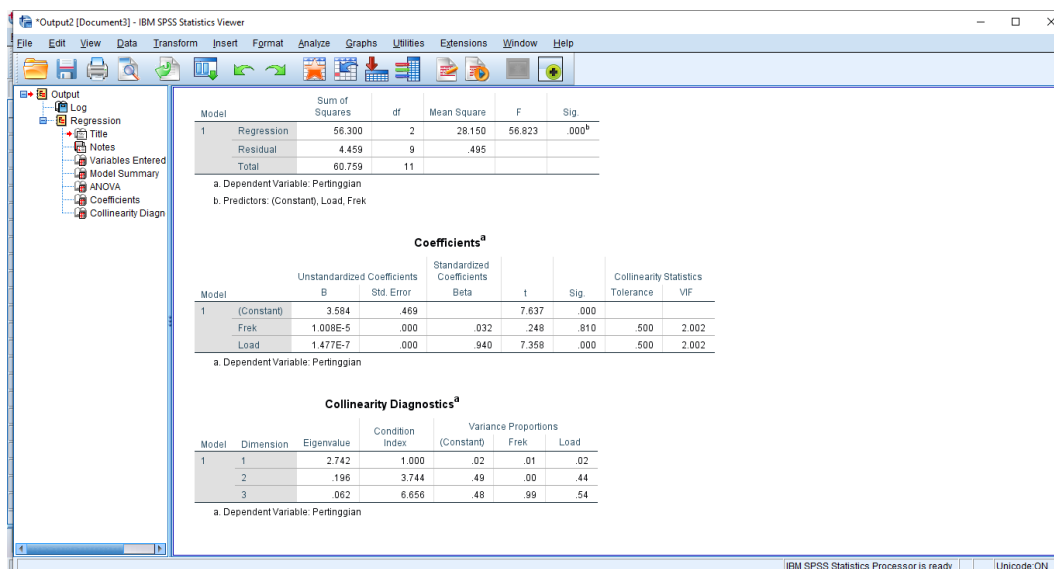
Gambar 4. 42 running data uji multikolinearitas tahap 1



Gambar 4. 43 running data uji multikolinearitas tahap 2



Gambar 4. 44 running data uji multikolinieritas tahap 3



Gambar 4. 45 output uji multikolinieritas

Dari Gambar 4.45 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 multikolinieritas pada masing-masing variable bebas.

4.6.3 Model persamaan untuk memprediksi nilai parameter TQI

Untuk mendapatkan persamaan pada setiap parameter nilai TQI, maka dilakukan analisis regresi berganda. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sama dengan langkah-langkah pada uji multikolinearitas yaitu Gambar 4.40 sampai Gambar 4.45. Hal yang membedakan adalah output yang digunakan pada saat mengintepretasikan hasilnya. Pada Gambar 4.46 ditampilkan output analisa regresi berganda untuk parameter pertinggian. Dengan cara yang sama, maka didapatkan bentuk persamaan untuk parameter TQI lainnya.

Model Summary							
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate			
1	.963 ^a	.927	.910	.70385			

a. Predictors: (Constant), Load, Frek

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	56.300	2	28.150	56.823	.000 ^b
	Residual	4.459	9	.495		
	Total	60.759	11			

a. Dependent Variable: Pertinggian
b. Predictors: (Constant), Load, Frek

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	3.584	.469		7.637	.000		
	Frek	1.008E-5	.000	.032	.248	.810	.500	2.002
	Load	1.477E-7	.000	.940	7.358	.000	.500	2.002

a. Dependent Variable: Pertinggian

Gambar 4. 46 output analisa regresi berganda parameter pertinggian

Dari Gambar 4.46 diketahui bentuk persamaan untuk parameter petinggian adalah:

$$Y_{pert} = 1,00^{-5} X_1 + 1,47^{-7} X_2 + 3,58$$

Keterangan:

Y_{pert} = Parameter pertinggian

- X_1 = Frekuensi
 X_2 = Beban lalu lintas

Dari Gambar 4.46 dapat diketahui informasi lain mengenai besarnya koefisien determinasi (R_{Square}), output dari uji t dan output dari uji F.

- Koefisien determinasi pada persamaan tersebut adalah sebesar 0,927 artinya 93% parameter ketinggian dipengaruhi oleh frekuensi dan beban lalu lintas.
- Untuk nilai dari uji t diketahui nilai signifikansi frekuensi sebesar 0,810 atau lebih besar dari 0,5 artinya variable frekuensi memberikan pengaruh namun tidak signifikan pada besarnya nilai parameter ketinggian. nilai signifikansi beban sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,5 artinya variable beban memberikan pengaruh signifikan pada besarnya nilai parameter ketinggian
- Pada nilai uji F diketahui nilai signifikansi sebesar 0,00 atau lebih kecil dari 0,05 artinya bahwa secara bersama-sama variable bebas mempengaruhi variable terikat.

Dengan cara yang sama, maka dapat diperoleh persamaan dan hasil uji statistic untuk parameter TQI lainnya. Pada Gambar 4.47 sampai dengan Gambar 4.49 ditampilkan hasil analisis regresi berganda untuk parameter TQI selanjutnya.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.981 ^a	.962	.954	.55517

a. Predictors: (Constant), Load, Frek

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	70.882	2	35.441	114.988	.000 ^b
	Residual	2.774	9	.308		
	Total	73.656	11			

a. Dependent Variable: Angkatan

b. Predictors: (Constant), Load, Frek

Coefficients ^a								
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	3.770	.370		10.186	.000		
	Frek	2.088E-5	.000	.060	.651	.532	.500	2.002
	Load	1.623E-7	.000	.938	10.249	.000	.500	2.002

a. Dependent Variable: Angkatan

Gambar 4. 47 output analisa regresi berganda parameter angkatan

Dari Gambar 4.47 diketahui bentuk persamaan untuk parameter angkatan adalah:

$$Y_{Angkt} = 2,08^{-5} X_1 + 1,62^{-7} X_2 + 3,77$$

Keterangan:

Y_{angkt} = Parameter angkatan

X_1 = Frekuensi

X_2 = Beban lalu lintas

Dari Gambar 4.47 dapat diketahui:

- Koefisien determinasi pada persamaan tersebut adalah sebesar 0,962 artinya 96% parameter angkatan dipengaruhi oleh frekuensi dan beban lalu lintas.
- Untuk nilai dari uji t diketahui nilai signifikansi frekuensi sebesar 0,532 atau lebih besar dari 0,05 artinya variable frekuensi memberikan pengaruh namun tidak signifikan pada besarnya nilai parameter angkatan. nilai signifikansi

beban sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,5 artinya variable beban memberikan pengaruh signifikan pada besarnya nilai parameter angkatan

- Pada nilai uji F diketahui nilai signifikansi sebesar 0,00 atau lebih kecil dari 0,05 artinya bahwa secara bersama-sama variable bebas mempengaruhi variable terikat.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.974 ^a	.948	.936	.63412

a. Predictors: (Constant), Load, Frek

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	65.967	2	32.984	82.028	.000 ^b
	Residual	3.619	9	.402		
	Total	69.586	11			

a. Dependent Variable: Listringan
b. Predictors: (Constant), Load, Frek

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	1.748	.423		4.135	.003		
	Frek	1.070E-5	.000	.031	.292	.777	.500	2.002
	Load	1.600E-7	.000	.951	8.845	.000	.500	2.002

a. Dependent Variable: Listringan

Gambar 4. 48 output analisa regresi berganda parameter listringan

Dari Gambar 4.48 diketahui bentuk persamaan untuk parameter listringan adalah:

$$Y_{Listr} = 1,07^{-5} X_1 + 1,60^{-7} X_2 + 1,75$$

Keterangan:

Y_{listr} = Parameter listringan

X_1 = Frekuensi

X_2 = Beban lalu lintas

Dari Gambar 4.48 dapat diketahui:

- Koefisien determinasi pada persamaan tersebut adalah sebesar 0,948 artinya 95% parameter listringan dipengaruhi oleh frekuensi dan beban lalu lintas.
- Untuk nilai dari uji t diketahui nilai signifikansi frekuensi sebesar 0,777 atau lebih besar dari 0,05 artinya variable frekuensi memberikan pengaruh namun tidak signifikan pada besarnya nilai parameter angkatan. nilai signifikansi beban sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,5 artinya variable beban memberikan pengaruh signifikan pada besarnya nilai parameter listringan
- Pada nilai uji F diketahui nilai signifikansi sebesar 0,00 atau lebih kecil dari 0,05 artinya bahwa secara bersama-sama variable bebas mempengaruhi variable terikat.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.961 ^a	.923	.906	.67760

a. Predictors: (Constant), Load, Frek

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	49.615	2	24.807	54.030	.000 ^b
	Residual	4.132	9	.459		
	Total	53.747	11			

a. Dependent Variable: Lbsepur

b. Predictors: (Constant), Load, Frek

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	.323	.452		.714	.493		
	Frek	1.762E-5	.000	.059	.450	.664	.500	2.002
	Load	1.358E-7	.000	.918	7.023	.000	.500	2.002

a. Dependent Variable: Lbsepur

Gambar 4. 49 output analisa regresi berganda parameter lebar sepur

Dari Gambar 4.49 diketahui bentuk persamaan untuk parameter lebar sepur adalah:

$$Y_{Lbspr} = 1,76^{-5} X_1 + 1,36^{-7} X_2 + 0,32$$

Keterangan:

Y_{Lbspr} = Parameter lebar sepur

X_1 = Frekuensi

X_2 = Beban lalu lintas

Dari Gambar 4.49 dapat diketahui:

- Koefisien determinasi pada persamaan tersebut adalah sebesar 0,923 artinya 92% parameter lebar sepur dipengaruhi oleh frekuensi dan beban lalu lintas.
- Untuk nilai dari uji t diketahui nilai signifikansi frekuensi sebesar 0,664 atau lebih besar dari 0,05 artinya variable frekuensi memberikan pengaruh namun tidak signifikan pada besarnya nilai parameter angkatan. nilai signifikansi beban sebesar 0,000 atau lebih kecil dari 0,5 artinya variable beban memberikan pengaruh signifikan pada besarnya nilai parameter listringan
- Pada nilai uji F diketahui nilai signifikansi sebesar 0,00 atau lebih kecil dari 0,05 artinya bahwa secara bersama-sama variable bebas mempengaruhi variable terikat.

4.6.4 Model untuk memprediksi nilai TQI berdasarkan data frekuensi dan beban lalu lintas

Pada pembahasan sebelumnya, telah diketahui suatu bentuk persamaan untuk memprediksi nilai masing-masing parameter TQI berdasarkan frekuensi dan beban lalu lintasnya. Berikutnya dilakukan pengujian mengenai prediksi nilai TQI secara total berdasarkan frekuensi dan beban lalu lintasnya. Output hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.50.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.975 ^a	.951	.940	2.36363

a. Predictors: (Constant), X2, X1

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	966.236	2	483.118	86.476	.000 ^b
	Residual	50.281	9	5.587		
	Total	1016.516	11			

a. Dependent Variable: Y

b. Predictors: (Constant), X2, X1

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	9.428	1.576		5.982	.000		
	X1	5.928E-5	.000	.045	.434	.675	.500	2.002
	X2	6.058E-7	.000	.942	8.984	.000	.500	2.002

a. Dependent Variable: Y

Gambar 4. 50 output analisa regresi berganda nilai TQI

Dari Gambar 4.50 diketahui bentuk persamaan untuk nilai TQI adalah:

$$Y_{TQI} = 5,93^{-5} X_1 + 6,06^{-7} X_2 + 9,48$$

Keterangan:

Y_{TQI} = Nilai TQI

X_1 = Frekuensi

X_2 = Beban lalu lintas

Dari Gambar 4.50 dapat diketahui:

- Koefisien determinasi pada persamaan tersebut adalah sebesar 0,951 artinya 95% nilai TQI dipengaruhi oleh frekuensi dan beban lalu lintas.
- Untuk nilai dari uji t diketahui nilai signifikansi frekuensi sebesar 0,664 atau lebih besar dari 0,05 artinya variable frekuensi memberikan pengaruh namun tidak signifikan pada besarnya nilai TQI. nilai signifikansi beban sebesar

0,000 atau lebih kecil dari 0,5 artinya variable beban memberikan pengaruh signifikan pada besarnya nilai TQI

- Pada nilai uji F diketahui nilai signifikansi sebesar 0,00 atau lebih kecil dari 0,05 artinya bahwa secara bersama-sama variable bebas mempengaruhi variable terikat.

4.7 Hubungan frekuensi, beban lalu lintas dan nilai *track quality index* (TQI)

Pada Subbab 4.6 telah diketahui bahwa beban lalu lintas memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai parameter TQI. Hal ini tidak berlaku pada frekuensi yang tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai parameter TQI. Pada lintas studi, 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, beban lalu lintas angkutan kereta api cenderung tinggi dikarenakan adanya operasional kereta api barang dengan muatan yang besar.

Pada Subbab ini digambarkan adanya hubungan frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI. Contohnya, frekuensi lalu lintas kereta api yang ada di Pulau Sumatera sama dengan frekuensi lalu lintas kereta api yang ada di Pulau Jawa. Akan tetapi, beban lalu lintas yang ada di Pulau Sumatera akan lebih besar daripada beban lalu lintas di Pulau Jawa. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan karakteristik muatan pada kedua lintasan tersebut. Pada lintasan kereta api di Pulau Sumatera, jenis muatannya kebanyakan adalah angkutan barang dengan beban (*load*) yang besar. Sedangkan di Pulau Jawa, jenis muatan angkutan kereta api adalah penumpang. Dengan demikian, pada frekuensi yang sama, beban lalu lintas kereta api dimungkinkan akan berbeda. Adanya perbedaan beban lalu lintas pada frekuensi yang sama, akan berpengaruh pada prediksi nilai TQI pada suatu lintas.

Hubungan frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI akan ditampilkan dalam bentuk grafik agar dapat memudahkan dalam intepretasinya. Nilai TQI pada grafik prediksi ini, dikelompokkan berdasarkan kategori nilai kerusakan. Hal

ini dimaksudkan agar secara umum dapat diketahui dimanakah letak kategori nilai TQI pada suatu tingkat frekuensi dan beban lalu lintas kereta api yang berbeda-beda. Langkah-langkah yang dilakukan untuk mengetahui grafik hubungan frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI adalah:

1. Membuat rekapitulasi data frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI pada lokasi studi sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.11

Tabel 4. 11 Rekapitulasi data frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI

LOKASI	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-PB (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

2. Membuat perbandingan (rasio) untuk kenaikan nilai TQI pada setiap kenaikan frekuensi dan beban lalu lintas.

Untuk memudahkan dalam pembacaan, nilai TQI yang digunakan dalam grafik nantinya adalah nilai total dari penjumlahan seluruh parameter TQI.

- a) Rumus yang digunakan untuk menghitung kenaikan nilai TQI pada setiap kenaikan frekuensi adalah:

$$\text{Kenaikan 1 nilai TQI thd frek} = \frac{1}{\text{frek} \times \text{nilai TQI}}$$

Hasil perhitungan kenaikan nilai TQI terhadap frekuensi dapat dilihat pada Tabel 4.15 (lihat tanda *)

- b) Rumus yang digunakan untuk menghitung kenaikan nilai TQI pada setiap kenaikan beban lalu lintas adalah:

$$\text{Kenaikan 1 nilai TQI thd beban} = \frac{1}{\text{beban} \times \text{nilai TQI}}$$

Hasil perhitungan kenaikan nilai TQI terhadap beban dapat dilihat pada Tabel 4.12 (lihat tanda **)

Tabel 4. 12 Rekapitulasi data frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI

No	Frekuensi (rangkaian ka)	Beban lalu lintas (ton/th)	Nilai TQI	Kenaikan Nilai TQI thd Frek (*)	Kenaikan Nilai TQI thd beban (**)
1	20,440	9,390,920	16.12	1,268	582,554
2	18,250	14,566,200	16.34	1,117	891,708
3	17,885	12,081,386	17.20	1,040	702,238
4	9,855	19,735,866	21.39	461	922,612
5	10,220	27,626,357	25.07	408	1,102,123
6	12,410	14,892,725	18.31	678	813,508
7	4,380	2,024,405	14.03	312	144,329
8	6,570	4,929,487	14.37	457	342,922
9	6,570	3,705,847	11.95	550	310,240
10	20,440	42,401,984	37.56	544	1,128,905
11	20,440	38,942,402	31.45	650	1,238,090
12	28,470	42,323,193	40.69	700	1,040,105
Rata-rata				682	768,278

Karena adanya perbedaan rasio kenaikan nilai TQI pada setiap kenaikan frekuensi dan beban lalu lintas, maka besarnya kenaikan nilai TQI ditentukan dari nilai rata-rata masing-masing rasio. Dengan demikian, berdasarkan perhitungan pada Tabel 4.12 diketahui nilai TQI akan naik sebesar 1 satuan pada kenaikan 682 jumlah rangkaian kereta api dan kenaikan 768,278 ton/th beban lalu lintas.

3. Mengidentifikasi besarnya frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai TQI

Pada Tabel 3.8 diketahui terdapat 4 kategori nilai TQI yaitu:

- a. Kategori 1 untuk nilai TQI maksimal 15
- b. Kategori 2 untuk nilai TQI 16 – 25
- c. Kategori 3 untuk nilai TQI 26 – 40
- d. Kategori 4 untuk nilai TQI > 40

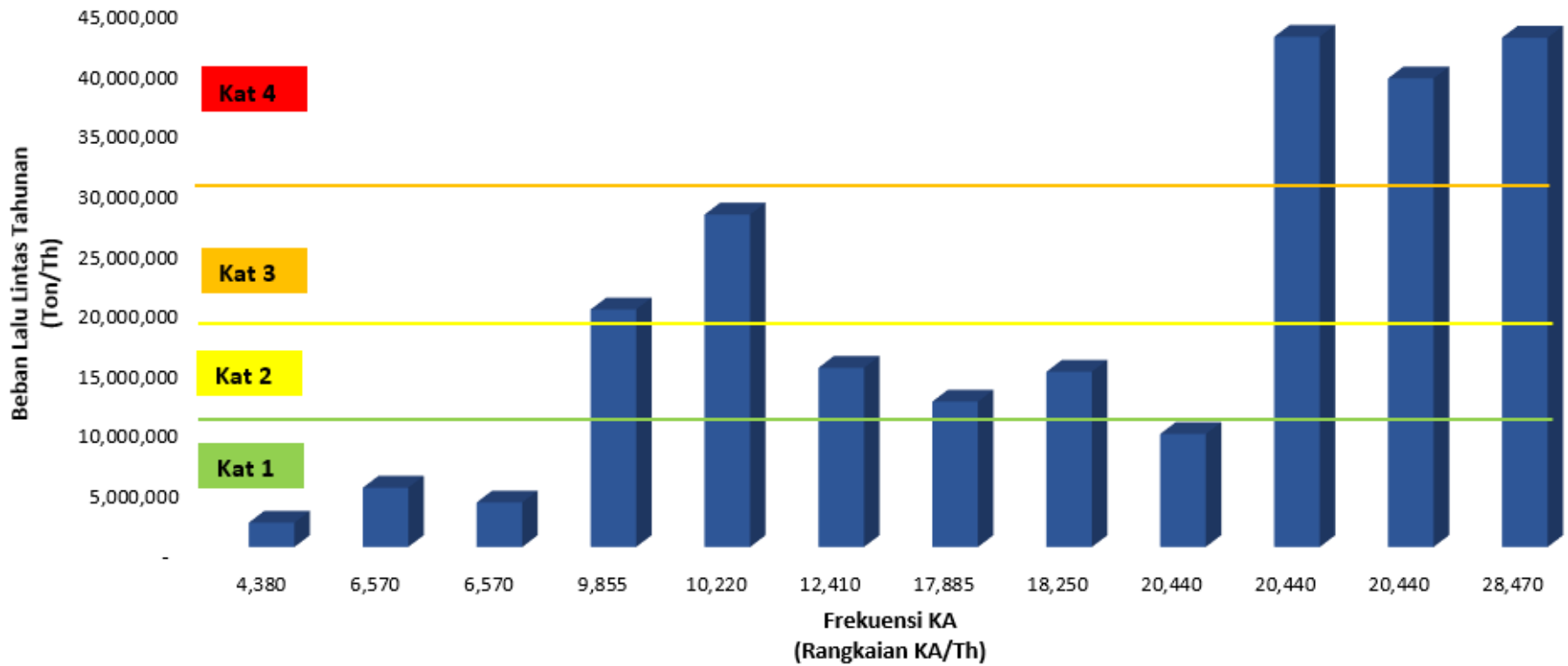
Untuk mengetahui pada frekuensi dan beban lalu lintas berapakah nilai TQI per kategori berada, maka dihitung besarnya frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai TQI. Besarnya nilai frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori didapatkan dengan cara mengalikan nilai maksimum TQI pada setiap kategori dengan rasio awal frekuensi dan beban lalu lintas. Hasil perhitungan besarnya frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai TQI dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4. 13 Hubungan nilai frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai TQI

No	Frekuensi (KA/Th)	Beban lalu lintas (Ton/Th)	Nilai TQI	Keterangan
1	682	768,278	1	Rasio awal
2	10,230	11,524,169	< 15	Kategori 1
3	17,050	19,206,948	16-25	Kategori 2
4	27,280	30,731,117	26-40	Kategori 3
5	> 27,280	> 30,731,117	> 40	Kategori 4

4. Membuat grafik hubungan frekuensi dan beban lalu lintas terhadap nilai TQI
- Setelah diketahui nilai frekuensi dan beban lalu lintas pada setiap kategori nilai TQI, maka data yang sudah ada diplotkan pada grafik hubungan frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI. Grafik hubungan frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI dapat dilihat pada Gambar 4.51

Hubungan Frekuensi, Beban Lalu Lintas terhadap Prediksi Nilai TQI



Gambar 4. 51 Grafik hubungan frekuensi, beban lalu lintas terhadap prediksi nilai TQI

Pada Gambar 4.51, ditampilkan grafik hubungan frekuensi, beban lalu lintas dan nilai TQI. Sumbu X pada grafik tersebut merupakan besarnya frekuensi suatu lintas kereta api, sedangkan sumbu Y merupakan beban lalu lintasnya. Nilai TQI dikelompokkan pada suatu kategori dalam grafik tersebut. Nilai TQI pada Kategori 1 terletak pada frekuensi 10.230 dan beban lalu lintas sebesar 11.524.169 yakni dengan garis warna hijau. Pembacaan dengan cara yang sama berlaku pada Kategori 2 (warna kuning), Kategori 3 (warna orange) dan Kategori 4 (warna merah).

Pada Subbab 4.6, diketahui beban lalu lintas memberikan pengaruh yang signifikan pada nilai TQI, sedangkan frekuensi tidak. Oleh karena itu pada Gambar 4.51 akan diberikan contoh pembacaan prediksi nilai TQI suatu lintas pada frekuensi yang tinggi namun beban lalu lintasnya rendah (lihat tanda ** pada Gambar 4.51) dan prediksi nilai TQI suatu lintas pada frekuensi yang rendah namun beban lalu lintasnya tinggi (lihat tanda * pada Gambar 4.51).

Pada tanda (**) di Gambar 4.51 diketahui frekuensi lintasnya sebesar 20.440 rangkaian kereta api per tahunnya, sedangkan beban lalu lintasnya sebesar 9.390.920 ton/tahun. Prediksi nilai TQI pada lintas tersebut apabila dilihat dari frekuensinya akan berada pada Kategori 4. Namun apabila dilihat dari beban lalu lintasnya, maka lintas tersebut masuk pada Kategori 1. Karena beban lalu lintas memberikan pengaruh yang lebih signifikan pada nilai TQI daripada frekuensi, maka nilai TQI yang digunakan sebagai prediksi pada lintas tersebut adalah berdasarkan beban lalu lintas, yaitu pada Kategori 1.

Pada tanda (*) di Gambar 4.51 diketahui frekuensi lintasnya sebesar 10.220 rangkaian kereta api per tahunnya, sedangkan beban lalu lintasnya sebesar 27.626.357 ton/tahun. Frekuensi lalu lintas pada lintas ini lebih kecil daripada pada contoh sebelumnya. Namun apabila dilihat dari beban lalu lintasnya, maka lintas tersebut memiliki beban lalu lintas yang lebih tinggi. Karena beban lalu lintas memberikan pengaruh yang lebih signifikan pada nilai TQI daripada frekuensi, maka nilai TQI yang digunakan sebagai prediksi pada lintas tersebut adalah berdasarkan beban lalu lintas, yaitu pada Kategori 3.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, maka beberapa kesimpulan yang dapat disampaikan adalah:

1. Persamaan yang digunakan dalam memprediksi nilai parameter TQI menggunakan data frekuensi dan beban lalu lintas yaitu:

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

Keterangan:

Y_{Pert} : Nilai parameter pertinggian TQI

X_1 : Frekuensi

X_2 : Beban lalu lintas

- $Y_{\text{Angkt}} = 2,08^{-5} X_1 + 1,62^{-7} X_2 + 3,77$

Keterangan:

Y_{Angkt} : Nilai parameter angkatan TQI

X_1 : Frekuensi

X_2 : Beban lalu lintas

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

Keterangan:

Y_{Listr} : Nilai parameter listringan TQI

X_1 : Frekuensi

X_2 : Beban lalu lintas

- $Y_{Lbspr} = 1,76^{-5} X_1 + 1,36^{-7} X_2 + 0,32$

Keterangan:

Y_{Lbspr} : Nilai parameter lebar sepur TQI

X_1 : Frekuensi

X_2 : Beban lalu lintas

- $Y_{TQI} = 5,93^{-5} X_1 + 6,06^{-7} X_2 + 9,48$

Keterangan:

Y_{TQI} : Nilai TQI

X_1 : Frekuensi

X_2 : Beban lalu lintas

2. Beban lalu lintas berpengaruh signifikan terhadap nilai TQI, sedangkan hal serupa tidak terjadi pada frekuensi. Besarnya frekuensi dan beban lalu lintas pada masing-masing kategori nilai TQI adalah:

- Pada Kategori 1, nilai TQI < 15, nilai frekuensi dan beban berturut-turut sebesar 10.230 rangkaian kereta/tahun dan 11.524.169 ton/tahun
- Pada Kategori 2, nilai TQI 16 - 25, nilai frekuensi dan beban berturut-turut sebesar 17.050 rangkaian kereta/tahun dan 19.206.948 ton/tahun
- Pada Kategori 3, nilai TQI 26 - 40, nilai frekuensi dan beban berturut-turut sebesar 27.280 rangkaian kereta/tahun dan 30.731.117 ton/tahun
- Pada Kategori 4, nilai TQI > 40, nilai frekuensi dan beban berturut-turut sebesar > 27.280 rangkaian kereta/tahun dan > 30.731.117 ton/tahun

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan, maka beberapa saran yang dapat disampaikan adalah:

1. 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.

2. Diperlukan penelitian lanjutan untuk memprediksi nilai TQI dengan memperhatikan kondisi structural prasarana perkeretaapian.
3. Dibutuhkan penelitian lanjutan untuk memprediksi nilai TQI dengan mempertimbangkan pengaruh dari variabel bebas yang lain sehingga prediksi nilai TQI menjadi lebih tepat/presisi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Ditjen Perkeretaapian. (2011). *Rencana Induk Perkeretaapian Nasional*.
- Elkhoury, N., & Hitihamillage, L. (2018). *Degradation Prediction of Rail Tracks : A Review of the Existing Literature*. 88–104.
<https://doi.org/10.2174/1874447801812010088>
- Hamid, A., & Gross, A. (1981). *Track-Quality Indices and Track-Degradation Models for Maintenance-of-Way Planning*. 2–8.
- KAI.PT. (2017). *Annual Report PT KAI Tahun 2017*.
- Kementerian Perhubungan. (2012). Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. In *Pm* 60.
- KNKT. (2016). *Laporan Akhir*.
<https://www.scribd.com/doc/143358616/LAPORAN-AKHIR-geolistrik>
- Litmann, T. (2007). *Evaluating rail transit benefits : A comment* §. 14, 94–97.
<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2006.09.003>
- Malkhamah, S., Muthohar, I., Murwono, D., & Wiarco, Y. (2014). Analisis kapasitas jalur dan kecelakaan kereta api. *The 17th FSTPT International Symposium, Jember University*, 1282–1290.
- 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>
- Panjaitan, H., & Sembiring, I. S. (2011). *TONNAGE DAN ANALISIS KEBUTUHAN PEMELIHARAAN TAHUNAN JALAN REL DENGAN ANALISA JO TAHUN 2011. 2011*.
- Perhubungan, K. (2017). *Tata Cara dan Standar Pembuatan Grafik Perjalanan Kereta Api, Perjalanan Kereta Api di luar Grafik Perjalanan Kereta Api, dan Perjalanan Kereta Api Luar Biasa*.
- Perkeretaapian, D. J. (2018a). *Laporan Tahunan 2018*.
- Perkeretaapian, D. J. (2018b). *Statistik Perhubungan / Transportation Statistics*.
- 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.*
- Rohim, A., & Berawi, B. (2010). *Evaluating track geometrical quality through different methodologies.* 38–47.
- Rulhendri, W. K. (2015). *Tinjauan Volume Pemeliharaan Tahunan Berdasarkan Track Quality Index (TQI) (Studi kasus: Lintas Manggarai - Bogor).* 4(1067 mm), 1–17.
- Sadeghi, J., & Askarinejad, H. (2017). *Influence of Track Structure, Geometry and Traffic Parameters on Railway Deterioration.* 20(3).
- Supriadi, U. (2006). *Pokok-pokok Grafik Perjalanan Kereta Api.*