TUGAS AKHIR

STUDI KARAKTERISTIK LALU LINTAS PADA PENYEMPITAN JALAN DAN PERLINTASAN SEBIDANG REL KERETA API MENGGUNAKAN METODE ANALISIS GELOMBANG KEJUT (Studi Kasus : Jalan Raya Lenteng Agung, Jakarta Selatan)

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

M. Rizki Alhamdani
19511234

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023

TUGAS AKHIR

STUDI KARAKTERISTIK LALU LINTAS PADA PENYEMPITAN JALAN DAN PERLINTASAN SEBIDANG REL KERETA API MENGGUNAKAN METODE ANALISIS GELOMBANG KEJUT

Disusun Oleh

M. Rizki Alhamdani

19511234

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I	Penguji I	Penguji II
Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc	**Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.**	**Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.**
NIK : 205111303	**NIK : 955110103**	**NIK : 145110101**

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.Eng
NIK : 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi yang akan diberikan sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



M. Rizki Alhamdani

(19511234)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
DAFTAR ISI iv
DAFTAR TABEL vii
DAFTAR GAMBAR ix
ABSTRAK xv
ABSTRACT xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xii
BAB I PENDAHULUAN 17
1.1 Latar Belakang 17
1.2 Rumusan Masalah 20
1.3 Tujuan Penelitian 20
1.4 Manfaat Penelitian 21
1.5 Batasan Penelitian 21
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 23
2.1 Teori Gelombang Kejut pada Penyempitan Jalan (*Bottleneck*) 23
2.2 Teori Gelombang Kejut pada Perlintasan Sebidang Kereta Api 23
2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan 26
BAB III LANDASAN TEORI 32
3.1 Karakteristik Lalu Lintas 32
3.1.1 Arus (*Flow*) 32
3.1.2 Kecepatan (*Speed)* 34
3.1.3 *Kepadatan* (*Density*) 36
3.2 Pemodelan Hubungan antara Arus, Kecepatan, dan Kepadatan 36
3.2.1 Model *Greenshield* 38
3.2.2 Model *Greenberg* 39
3.2.3 Model *Underwood* 40

3.3 Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP) 41
3.4 Antrian 42
3.4.1 Antrian Menurut Metode *Shock Wave Analysis* dan *Queueing Theory* 43
3.5 Gelombang Kejut 43
3.4.2 Klasifikasi Gelombang Kejut 46
3.4.3 Gelombang Kejut pada Perlintasan Sebidang 47
3.4.4 Gelombang Kejut Akibat Penyempitan Jalan 50
3.6 Uji Statistik 52
3.6.1 Uji Koefisien Determinasi (*R square*) 52
3.6.2 Uji T (*Student's Test*) 52
3.7 Simulasi Lalu Lintas dengan *Software VISSIM* 53
3.7.1 Kalibrasi Parameter *Driving Behaviour* 55
3.7.2 Validasi dengan nilai *GEH* dan *MAPE* 55
BAB IV METODE PENELITIAN 57
4.1 Survei Pendahuluan 57
4.2 Lokasi Penelitian 57
4.3 Waktu Pengamatan 59
4.4 Surveyor dan Peralatan 59
4.5 Data Penelitian 60
4.5.1 Data Geometrik Jalan 60
4.5.2 Durasi Penutupan Palang Pintu Perlintasan 60
4.5.3 Data Arus Lalu Lintas 60
4.5.4 Data Kecepatan Rata-Rata Jarak 61
4.5.5 Data Spasi Kendaraan Rata-Rata 62
4.6 Metode Pengumpulan Data 62
4.6.1 Metode Pengumpulan Data Primer 62
4.6.2 Metode Pengumpulan Data Sekunder 64
4.7 Pengambilan dan Analisis Data 64
4.7.1 Rincian Pengambilan Data 64
4.7.2 Rencana Analisis Data 65

4.8 Bagan Alir Penelitian 67
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN 69
5.1 Deskripsi Penelitian 69
5.2 Pengolahan Data 71
5.1.1 Arus Lalu Lintas 71
5.1.2 Kecepatan Rata-Rata Jarak 74
5.1.3 Geometrik Jalan 77
5.1.4 Spasi Kendaraan Rata-Rata 77
5.3 Analisis Data 81
5.3.1 Model Hubungan *Flow, Speed, Density* 81
5.3.2 Penentuan Model Terpilih 91
5.3.3 Analisis Gelombang Kejut 95
5.3.4 Pemodelan Simulasi Lalu Lintas dengan *Software VISSIM* 112
5.3.5 Kalibrasi Model 123
5.3.6 Validasi Model 125
5.4 Solusi Pengurangan Panjang Antrian 127
5.4.1 Jalur *Diverging* di Lokasi *Bottleneck Flyover* 127
5.4.2 Pelebaran jalan di Lokasi Perlintasan Sebidang Kereta Api 128
5.5 Pembahasan 129
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 135
6.1 Kesimpulan 135
6.2 Saran 136
DAFTAR PUSTAKA 137
LAMPIRAN 139
LAMPIRAN 1 Gambar Geometrik Jalan Lokasi Pengamatan 140
LAMPIRAN 2 Formulir Survei 144
LAMPIRAN 3 Data Survei Arus Lalu Lintas 148
LAMPIRAN 4 Data Waktu Tempuh Rata-rata Kendaraan 161

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitan Terdahulu 27
Tabel 3. 1 Kerangka Dasar Karakteristik Arus Lalu Lintas 32
Tabel 3. 2 Rangkuman Persamaan yang Dihasilkan Model *Greenshields* 39
Tabel 3. 3 Rangkuman Persamaan yang Dihasilkan Model *Greenberg* 40
Tabel 3. 4 Rangkuman Persamaan yang Dihasilkan Model *Underwood* 41
Tabel 3. 5 EMP Untuk Jalan Perkotaan Tak Terbagi 42
Tabel 3. 6 EMP Untuk Jalan Perkotaan Terbagi 42
Tabel 4. 1 Rekomendasi Panjang Jalan Untuk Studi Kecepatan Setempat 61
Tabel 4. 2 EMP Untuk Jalan Perkotaan Terbagi 65
Tabel 5. 1 Lalu Lintas Harian Rata-Rata Satu Minggu 70
Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Kecepatan Rata-Rata Jarak Lokasi 1 Senin 74
Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Kecepatan Rata-Rata Jarak Lokasi 2 Senin 75
Tabel 5. 4 Data Geometrik Jalan 77
Tabel 5. 5 Data Survei Spasi Kendaraan Rata-Rata 78
Tabel 5. 6 Data Survei Lokasi 1 Jalan Normal Hari Senin 78
Tabel 5. 7 Data Survei Lokasi 1 Jalan Menyempit Hari Senin 79
Tabel 5. 8 Data Survei Lokasi 2 Hari Senin 80
Tabel 5. 9 Data Regresi Model *Greenshields* 81
Tabel 5. 10 Hasil Analisis Model *Greenshields* Lokasi 1 Hari Senin 83
Tabel 5. 11 Transformasi Linier Persamaan Model 85
Tabel 5. 12 Data Regresi Model *Greenberg* 85
Tabel 5. 13 Hasil Analisis Model *Greenberg* Lokasi 1 Hari Senin 86
Tabel 5. 14 Data Regresi Model *Underwood* 88
Tabel 5. 15 Hasil Analisis Model *Underwood* Lokasi 1 Hari Senin 89
Tabel 5. 16 Hasil Uji Statistik Lokasi 93
Tabel 5. 17 Hasil Parameter Model Hubungan 94
Tabel 5. 18 Hasil Analisis Panjang Antrian Metode Gelombang Kejut Lokasi 1 101

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi 106
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi 108
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi 110
Tabel 5. 22 Validasi *Output VISSIM* Sebelum Kalibrasi 123
Tabel 5. 23 Kalibrasi Parameter *Driving Behaviour* 124
Tabel 5. 24 Validasi *Output VISSIM* Setelah Kalibrasi 125
Tabel 5. 25 Penurunan Panjang Antrian Setelah Penerapan Solusi *Diverging* 128
Tabel 5. 26 Penurunan Panjang Antrian Setelah Penerapan Solusi Pelebaran Jalan 129
Tabel 5. 27 Hasil Analisis Kapasitas Jalan Dari Model Karakteristik Lalu Lintas 130
Tabel 5. 28 Perbandingan Panjang Antrian Analisis Gelombang Kejut dan Pemodelan *VISSIM* 131
Tabel 5. 29 Perbandingan Nilai *MAPE* Panjang Antrian Metode Analisis Gelombang Kejut dengan Penelitian Terdahulu 133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kondisi *Before* dan *After* Pembangunan *Flyover* IISIP 19
Gambar 3. 1 Hubungan Matematis Arus-Kecepatan-Kepadatan 37
Gambar 3. 2 Gelombang Kejut pada Grafik Hubungan Arus-Kepadatan 44
Gambar 3. 3 Gelombang Kejut pada Diagram Waktu-Ruang 45
Gambar 3. 4 Dasar Analisis Gelombang Kejut 45
Gambar 3. 5 Gelombang Kejut pada Perlintasan Sebidang Jalan dengan Jalan Rel 48
Gambar 3. 6 Situasi dan Pola Permintaan Gelombang Kejut Akibat Penyempitan Jalan 51
Gambar 3. 7 Gelombang Kejut Akibat Penyempitan Jalan pada Diagram Fundamental Arus-Kepadatan dan Diagram Ruang-Waktu 51
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian pada Jalan Raya Lenteng Agung 58
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian 67
Gambar 4. 3 Lanjutan Bagan Alir Penelitian 68
Gambar 5. 1 Denah Lokasi Pengamatan 1 69
Gambar 5. 2 Denah Lokasi Pengamatan 2 70
Gambar 5. 3 Fluktuasi Arus pada Hari Senin Periode Pagi 72
Gambar 5. 4 Fluktuasi Arus pada Hari Senin Periode Siang 72
Gambar 5. 5 Fluktuasi Arus pada Hari Senin Periode Sore 73
Gambar 5. 6 *Pie Chart* Komposisi Jenis Kendaraan pada Lokasi Pengamatan 1 Hari Senin 73
Gambar 5. 7 *Pie Chart* Komposisi Jenis Kendaraan pada Lokasi Pengamatan 2 Hari Senin 73
Gambar 5. 8 Model Hubungan *Greenshields* Lokasi 1 Jalan Normal 83
Gambar 5. 9 Model Hubungan *Greenshields* Lokasi 1 Jalan Menyempit 84
Gambar 5. 10 Model Hubungan *Greenberg* Lokasi 1 Jalan Normal 87
Gambar 5. 11 Model Hubungan *Greenberg* Lokasi 1 Jalan Menyempit 87
Gambar 5. 12 Model Hubungan *Underwood* Lokasi 1 Jalan Normal 90

Gambar 5. 13 Model Hubungan *Underwood* Lokasi 1 Jalan Menyempit 90
Gambar 5. 14 Model-Model Hubungan di Lokasi 1 Jalan Normal 91
Gambar 5. 15 Model-Model Hubungan di Lokasi 1 Jalan Menyempit 92
Gambar 5. 16 Model-Model Hubungan di Lokasi 2 Sebelum Perlintasan 92
Gambar 5. 17 Gelombang Kejut pada *Bottleneck* 95
Gambar 5. 18 Gelombang Kejut pada Lokasi 1 *On-ramp Flyover* 96
Gambar 5. 19 Gelombang Kejut pada *Space-Time Diagram* Lokasi 1 *On-ramp Flyover* 98
Gambar 5. 20 Segitiga ΔEGI dan ΔFGJ Untuk Perhitungan Panjang Antrian 99
Gambar 5. 21 Gelombang Kejut pada Lokasi 2 Perlintasan Sebidang Kereta Api Universitas Pancasila 102
Gambar 5. 22 Gelombang Kejut pada *Space-Time Diagram* Lokasi 2 Perlintasan Kereta Api 104
Gambar 5. 23 Segitiga ΔEGI dan ΔFGJ Untuk Perhitungan Panjang Antrian 106
Gambar 5. 24 Pengaturan *Vehicle Behaviour* pada *Network Settings* 113
Gambar 5. 25 Pengaturan *Units* pada *Network Settings* 113
Gambar 5. 26 Proses *Import Background Images* 114
Gambar 5. 27 Proses Pembuatan dan Pengaturan *Links* 115
Gambar 5. 28 Proses Pembuatan dan Pengaturan *Connector* 115
Gambar 5. 29 Proses *Input Vehicle Input* 116
Gambar 5. 30 Proses *Input Vehicle Compositions* 117
Gambar 5. 31 Proses *Input Static Vehicle Routing Decisions* 117
Gambar 5. 32 Proses Kalibrasi *Tab Following* pada *Driving Behaviour* 119
Gambar 5. 33 Proses Kalibrasi *Tab Lane Change* pada *Driving Behaviour* 120
Gambar 5. 34 Proses Kalibrasi *Tab Lateral* pada *Driving Behaviour* 120
Gambar 5. 35 Proses Peletakkan *Data Collection Points* 121
Gambar 5. 36 Proses Pengelompokkan *Data Collection Measurements* 122
Gambar 5. 37 Pengaturan Konfigurasi *Evaluation* 122
Gambar 5. 38 Lalu Lintas Sebelum Kalibrasi 124
Gambar 5. 39 Lalu Lintas Setelah Kalibrasi 125
Gambar 5. 40 Simulasi Model pada Lokasi *Bottleneck* 126

Gambar 5. 41 Simulasi Model pada Lokasi Perlintasan 126
Gambar 5. 42 Visualisasi Solusi dengan Pembangunan Jalur *Diverging* 127
Gambar 5. 43 Visualisasi Solusi dengan Pelebaran Lajur Kanan 128

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Geometrik Jalan Lokasi Pengamatan 140
Lampiran 2 Formulir Survei 144
Lampiran 3 Data Survei Arus Lalu Lintas 148
Lampiran 4 Data Survei Waktu Tempuh Rata-rata Kendaraan 161

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

EMP	= Ekivalensi Mobil Penumpang
SMP	= Satuan Mobil Penumpang
LV	= *Light Vehicle*
HV	= *Heavy Vehicle*
MC	= *Motorcycle*
IISIP	= Institut Ilmu Sosial dan Ilmu Politik
Pusdatinhub	= Pusat Data dan Informasi Dinas Perhubungan
MKJI 1997	= Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997
PKJI 2023	= Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023
MAPE	= *Mean Absolute Percentage Error* (%)
GEH	= *Geoffrey E. Havers*
R^2	= Koefisien Determinasi
VISSIM	= *Verkehr InStadten Simulations Model*
PTV	= *Planning Transportasi Verkher*
LHR	= Lalu lintas Harian Rata-rata (kendaraan/hari)
TMS	= *Time Mean Speed* / Kecepatan rata-rata waktu (km/jam)
SMS	= *Space Mean Speed* / Kecepatan rata-rata jarak (km/jam)
V	= Volume/Arus (smp/jam)
D	= *Density*/Kepadatan (smp/km)
S	= *Speed*/Kecepatan (km/jam)
S-D	= *Speed-Density Relationship* (Model hubungan Kecepatan – Kepadatan
V-D	= *Volume-Density Relationship* (Model hubungan Arus – Kepadatan
V-S	= *Volume-Speed Relationship* (Model hubungan Arus – Kecepatan
V_M	= Volume maksimum/kapasitas (smp/jam)
S_M	= Kecepatan optimum (km/jam)

D_M = Kepadatan optimum (smp/km)

D_j = Kepadatan macet/kepadatan maksimum (smp/km)

S_{FF} = Kecepatan arus bebas (km/jam)

V_A = Arus hulu (smp/jam)

V_B = Kapasitas maksimum hilir (smp/jam)

V_C = Kapasitas maksimum hulu (smp/jam)

ω_{AB} = Gelombang kejut mundur bentukan (km/jam)

ω_{CB} = Gelombang kejut mundur pemulihan (km/jam)

ω_{AC} = Gelombang kejut maju pemulihan (km/jam)

r = Lama hambatan terjadi (detik)

T = Total Tundaan (detik)

Qm = Panjang antrian maksimum (m)

1/1 = 1 lajur 1 arah

2/1 = 2 lajur 1 arah

3/1 = 3 lajur 1 arah

4/1 = 4 lajur 1 arah

Xi = Variabel x regresi

Yi = Variabel y regresi

t0-t1 = Waktu yang dibutuhkan dari V_0 sampai V_A (detik)

t1-t2 = Lama hambatan terjadi (detik)

t2-t3 = Waktu hambatan selesai sampai kendaraan terakhir bergabung ke antrian (detik)

t2-t4 = Waktu pemulihan antrian (detik)

DCP = *Data Collection Points*

DCM = *Data Collection Measurements*

ABSTRAK

Jalan Raya Lenteng Agung merupakan jalan kolektor primer penghubung Kota Jakarta dan Kota Depok yang memiliki tingkat volume dan hambatan lalu lintas yang cukup tinggi. Salah satu hambatan lalu lintas yang menjadi isu kemacetan di jalan ini adalah adanya putaran balik melewati perlintasan sebidang kereta api. Pemerintah telah berusaha menanggulangi isu tersebut dengan membangun simpang tak sebidang *Flyover* IISIP, namun penyempitan lajur untuk mengakomodasi *on-ramp flyover* berdampak pada penurunan kapasitas jalan dan menghasilkan antrian pada jam sibuk. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik lalu lintas pada perlintasan sebidang kereta api dan penyempitan lajur *flyover* menggunakan metode gelombang kejut dan membandingkan panjang antrian yang dapat dihasilkan akibat adanya kedua hambatan tersebut.

Penelitian ini menganalisis hubungan antara parameter arus, kepadatan, dan kecepatan yang dapat menggambarkan karakteristik lalu lintas. Nilai Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP) yang digunakan berpedoman pada PKJI 2023. Model matematis *Greenshields, Greenberg,* dan *Underwood* digunakan untuk dicari model yang terbaik berdasarkan nilai koefisien determinasi. Model terpilih kemudian akan digunakan untuk menganalisis panjang antrian maksimum yang dapat terjadi dengan mengaplikasikan teori gelombang kejut. Untuk mengetahui keakuratan teori gelombang kejut dalam memprediksi panjang antrian, dilakukan pemodelan dan simulasi lalu lintas dengan *software VISSIM.* Model yang disimulasikan diusahakan agar dapat semirip mungkin merepresentasikan kondisi lalu lintas sebenarnya yang terjadi di lapangan. Alternatif solusi dengan simulasi juga dilakukan untuk mengurangi panjang antrian.

Berdasarkan koefisien determinasi, didapatkan model hubungan terpilih *Greenberg* untuk lokasi penyempitan dan *Greenshield* untuk lokasi perlintasan. Dari model hubungan tersebut dapat diketahui kapasitas penggal jalan normal sebesar 4488,74 smp/jam, kapasitas di penggal jalan menyempit sebesar 3624,63, dan kapasitas jalan di lokasi perlintasan sebesar 3739,27 smp/jam. Menggunakan metode analisis gelombang kejut, diperoleh panjang antrian maksimum teoritis yang dapat terbentuk sebesar 1,38 km pada lokasi penyempitan dan 100,1 m pada lokasi perlintasan. Perbandingan panjang antrian yang diprediksi metode gelombang kejut terhadap hasil simulasi dengan *software VISSIM* menghasilkan nilai *MAPE* sebesar 2,81% pada lokasi penyempitan, dan 30,76% pada lokasi perlintasan. Usulan alternatif solusi untuk mengurangi panjang antrian diberikan dengan mempertimbangkan kondisi eksisting di lapangan. Berdasarkan hasil simulasi *VISSIM*, solusi berupa pembangunan lajur memisah pada lokasi penyempitan dapat mengurangi panjang antrian sampai 50,72%. Sedangkan pada lokasi perlintasan diberikan solusi berupa pelebaran jalan selebar 1,5 m sejauh 100 m sebelum palang pintu dapat mengurangi panjang antrian sampai 51,22%.

Kata kunci: *Traffic Flow*, *Bottleneck*, Gelombang Kejut, Panjang Antrian, *PTV VISSIM*.

ABSTRACT

Lenteng Agung Road is a primary collector road that connects Jakarta and Depok City, which experiences a high volume of traffic and congestion. One of the traffic obstacles causing congestion on this road is the existence of a U-turn crossing through railway crossing. The government has tried to address this issue by constructing IISIP overpass interchange, but the narrowing of lanes to accommodate the flyover's ramp has led to capacity bottleneck and queues during peak hours. This research aims to understand the traffic characteristics at the railway crossing and the flyover's lane bottleneck using shock wave theory and to compare the queue lengths resulting from these two obstacles.

This study analyzes the relationships among traffic parameters, such as flow, density, and speed, to describe the traffic characteristics. The Passenger Car Equivalent (PCE) values used are based on the PKJI 2023. The mathematical models of Greenshields, Greenberg, and Underwood are utilized to find the best suited model based on the coefficient of determination. The selected model will then be used to analyze the maximum queue lengths that can occur by applying the shock wave theory. To assess the accuracy of the shock wave theory in predicting queue lengths, traffic modeling and simulations are carried out using VISSIM software. The simulated model is carefully designed to closely represent real traffic conditions on the field. Simulation-based alternative solutions are also attempted to reduce queue lengths.

Based on the coefficient of determination, the Greenberg model is chosen for the lane bottleneck location, while the Greenshield model is selected for the level railway crossing location. From these models, the normal road segment capacity is determined to be 4488,74 smp/hour, the capacity at the narrowed road segment is 3624,63 pcu/hour, and the capacity at the level crossing location is 3739,27 pcu/hour. By using the shock wave analysis method, the theoretical maximum queue length is found to be 1,38 km at the lane bottleneck location and 100,1 m at the railway crossing location. Comparing the predicted queue lengths from the shock wave method with VISSIM simulation results yields a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 2,81% at the lane bottleneck location and 30,76% at the level railway crossing location. Alternative solutions to reduce the queue lengths are provided while considering the existing conditions in the field. According to the VISSIM simulation results, a solution involving the construction of a diverging lane at the bottleneck location can reduce the queue length by up to 50,72%. Meanwhile, at the level crossing location, a solution involving a road widening of 1,5 meters over a distance of 100 meters before the level crossing gate can reduce the queue length by up to 51,22%.

Keywords: *Traffic Flow, Bottleneck, Shock Wave, Queue Length, PTV VISSIM.*

BAB I
PENDAHULUAN

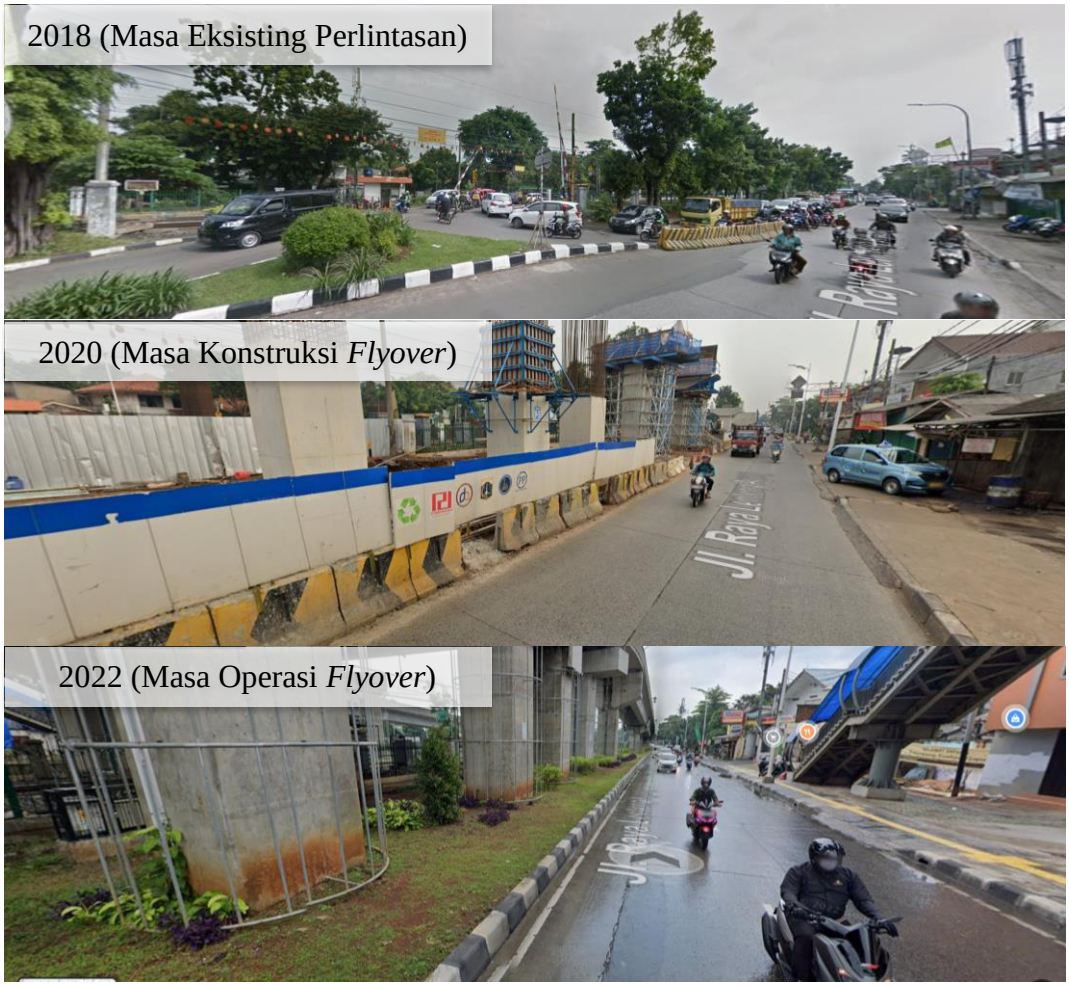
1.1 Latar Belakang

Ibu kota Negara DKI Jakarta merupakan kota metropolitan dengan tingkat kegiatan ekonomi tinggi yang memicu peningkatan kebutuhan mobilitas masyarakatnya. Pemerintah Kota Jakarta telah berupaya memaksimalkan usaha untuk memenuhi kebutuhan mobilitas ini dengan membangun infrastruktur. Namun pertumbuhan penduduk yang semakin bertambah berdampak pada tingginya permintaan lalu lintas di ruas-ruas jalan dalam kota maupun ruas jalan luar kota penghubung Kota Jakarta dengan kota lain. Seperti halnya Jalan Raya Lenteng Agung yang merupakan jalan penghubung antara Kota Jakarta dan Kota Depok, sering kali mengalami kemacetan pada jam-jam sibuk hari kerja akibat tingginya volume lalu lintas pada ruas jalan tersebut.

Jalan Raya Lenteng Agung termasuk dalam jalan kolektor primer sepanjang ± 6 km yang terletak diantara Jalan Raya Tanjung Barat di Utara dan Jalan Margonda Raya di Selatan (Firmansyah dan Tjahjani, 2012). Jalan ini juga menghubungkan Kecamatan Pasar Minggu yang berada di wilayah Kota Administrasi Jakarta Selatan di sisi Utara dan menjadi pintu masuk ke Kota Depok di Sisi Selatan. Permasalahan yang muncul adalah kemacetan lalu lintas yang kerap terjadi di banyak titik di sepanjang jalan ini. Kemacetan lalu lintas pada Jalan Raya Lenteng Agung disebabkan oleh volume lalu lintas yang tinggi dan hambatan samping seperti adanya aktivitas pejalan kaki, perilaku pengemudi angkutan kota yang berhenti sembarangan di sisi jalan, serta banyaknya persimpangan jalan pada ruas jalan tersebut. Namun, sebagian besar penyebab utama kemacetan adalah keberadaan *u-turn* seperti *u-turn* IISIP dan *u-turn* Pancasila. Kedua *u-turn* ini berfungsi untuk putar balik kendaraan ke arah Pasar Minggu maupun ke arah Depok yang sebidang dengan jalur rel kereta api.

Tingginya frekuensi kereta api yang melintas hingga setiap 3-5 menit sekali (PT. KAI, 2019) pada ruas jalan ini membuat arus kendaraan yang berhasil melintasi perlintasan untuk putar balik sangatlah rendah. Selain itu, jumlah lajur pada ruas jalan ini berjumlah 3 lajur 1 arah dimana terdapat separator jalan yang dipakai untuk mengakomodasi pemisahan untuk 1 lajur yang mengarah pada perlintasan kereta api. Namun, pada saat kereta api melintas dan pintu perlintasan ditutup, sering kali terjadi penumpukan kendaraan pada 2 lajur yang mengakibatkan kemacetan parah pada ruas jalan yang kemudian dapat mengakibatkan antrian hingga sepanjang ± 200 m (PT. Intimulya , 2018).

Antrian kendaraan yang panjang akan menyebabkan kepadatan dan menurunnya kinerja jalan akibat adanya volume kendaraan yang melampaui kapasitas jalan. Kenaikan angka kecelakaan akibat tercampurnya sirkulasi pejalan kaki dengan kendaraan pada *u-turn* IISIP juga menjadi kondisi yang mengkhawatirkan. Hal ini mendorong rencana Pemerintah Provinsi DKI Jakarta untuk berusaha menanggulangi potensi kecelakaan dan kemacetan tersebut dengan membangun Simpang Tak Sebidang (STS) atau *Flyover* IISIP dengan dua buah struktur *U-turn*. Kedua struktur *flyover* tersebut posisinya saling bertolak belakang sehingga menyerupai tapal kuda. *Flyover* ini memiliki *on ramp* dan *off ramp* yang panjang sehingga membuat panjang keseluruhan struktur *flyover* mencapai ± 450 m. (PT. Intimulya , 2018). Kondisi eksisting ruas jalan di samping *ramp flyover* IISIP dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini.



Gambar 1. 1 Kondisi *Before* dan *After* Pembangunan *Flyover* IISIP
(Sumber: *Google Street*, 2022)

Untuk mengakomodasi lebar *flyover*, dilakukan pemangkasan jumlah lajur Jalan Raya Lenteng Agung dari semula berjumlah 3 lajur dengan lebar 9 m menjadi 2 lajur dengan lebar 5 meter. Pemangkasan jumlah lajur ini menyebabkan terjadinya penyempitan jalan atau *bottleneck.* Penyempitan jalan ini menyebabkan terganggunya arus bebas kendaraan yang menyebabkan kecepatan akan menurun, kemudian kepadatan menjadi tinggi. Serupa dengan penumpukan kendaraan akibat perlintasan kereta api, kondisi ini juga kemudian, akan menghasilkan antrian kendaraan yang akan berakibat pada berkurangnya kinerja jalan. Dari uraian permasalahan di atas, maka perlu adanya penelitian perbandingan panjang antrian pada kedua kondisi yang berbeda tersebut yang diharapkan dapat menjadi parameter lain untuk meninjau seberapa panjang antrian yang diakibatkan oleh dua

jenis hambatan yang berbeda. Penelitian ini mengaplikasikan teori gelombang kejut yang menggunakan parameter makro lalu lintas untuk menggambarkan gerakan perubahan nilai arus dan kepadatan pada lalu lintas untuk menghitung panjang antrian akibat penyempitan jalan dan perlintasan sebidang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat disajikan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana hubungan antara arus, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas yang terjadi pada ruas Jalan Raya Lenteng Agung?
2. Bagaimana efek gelombang kejut yang terjadi terhadap panjang antrian maksimum yang dihasilkan pada kondisi perlintasan kereta api dan kondisi penyempitan jalan pada lajur pendekat *flyover* IISIP?
3. Bagaimana perbandingan panjang antrian yang dihasilkan oleh kedua kondisi tersebut?
4. Bagaimana usulan alternatif solusi untuk mengurangi panjang antrian berdasarkan simulasi *VISSIM*

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis hubungan antara arus, kecepatan, dan kepadatan lalu lintas akibat adanya kondisi lama waktu penutupan palang pintu perlintasan kereta api, dan kondisi penyempitan jalan *flyover* Lenteng Agung.
2. Mengetahui gelombang kejut yang dihasilkan oleh adanya kondisi lama waktu penutupan palang pintu perlintasan kereta api, dan kondisi penyempitan jalan *flyover*.
3. Membandingkan estimasi panjang antrian maksimum yang dihasilkan oleh adanya lama waktu penutupan palang pintu perlintasan kereta api, dan penyempitan jalan *flyover* menggunakan hasil analisis gelombang kejut.
4. Mengusulkan alternatif solusi untuk mengurangi panjang antrian berdasarkan simulasi *VISSIM*

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat dan pengetahuan secara umum antara lain sebagai berikut.

1. Memberikan informasi lebih lanjut kepada masyarakat berupa parameter lalu lintas, yaitu panjang antrian untuk memberi gambaran lebih terhadap kemacetan yang dihasilkan dari pembangunan simpang tak sebidang *flyover* IISIP dan kondisi eksisting perlintasan kereta api Universitas Pancasila.
2. Dapat memberikan edukasi kepada masyarakat umum dibidang teknik transportasi khususnya dinamika lalu lintas lewat efek gelombang kejut dalam teori arus lalu lintas (*traffic flow theory*).

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menyederhanakan penelitian dan memudahkan dalam analisis, maka diperlukan batasan-batasan masalah sebagai berikut.

1. Survei lalu lintas utama pada penelitian dilakukan pada lajur lurus di samping *on ramp flyover* IISIP dan lajur pendekat pada perlintasan kereta api *u-turn* Pancasila.
2. Arah lajur yang ditinjau dipilih satu arah, yaitu antara arah ke Utara dan arah ke Selatan. Pemilihan arah didasarkan pada volume jam puncak yang terbesar antara kedua arah tersebut.
3. Waktu survei data lalu lintas dilakukan dalam 3 periode waktu yang berbeda, yaitu pukul 06.00 – 09.00 WIB, pukul 11.00 – 14.00 WIB, dan pukul 16.00 – 19.00 WIB. Survei lalu lintas pada ketiga periode tersebut dilakukan pada hari Senin yang mewakili hari kerja dan pada hari Sabtu yang mewakili hari libur.
4. Jumlah sampel waktu tempuh kendaraan untuk kecepatan setempat adalah 30 sampel. Apabila jumlah sampel pada suatu periode tertentu tidak memenuhi, maka jumlah sampel tersebut akan tetap diambil.
5. Hambatan samping lainnya seperti penyeberang jalan, aktivitas pasar, dan angkutan umum yang berhenti, diabaikan.
6. Nilai Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP) berpedoman kepada Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023

7. Analisis gelombang kejut pada perlintasan sebidang kereta api hanya dilakukan pada kondisi pintu perlintasan tertutup.
8. Pengujian statistik yang digunakan adalah uji T dan uji R kuadrat.
9. Validasi untuk *output* arus *VISSIM* adalah nilai *GEH*. Sedangkan validasi untuk *output* panjang antrian *VISSIM* adalah nilai *MAPE*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Gelombang Kejut pada Penyempitan Jalan (*Bottleneck*)

Ramadhan (2017) melakukan analisis gelombang kejut pada penyempitan jalan dengan melakukan analisis rasio *headway* terlebih dahulu untuk menentukan nilai ekuivalensi mobil penumpang (EMP) menurut *headway* dan dibandingkan dengan analisis gelombang kejut menggunakan nilai EMP dari MKJI 1997 . Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu dengan melakukan survei lalu lintas dengan menghitung arus lalu lintas, kecepatan rerata ruang (*space mean* speed), *time headway*, serta panjang antrian dan waktu penormalan di lapangan. *Time headway* dihitung dengan menghitung jarak waktu (detik) diantara 2 bumper (depan atau belakang) kendaraan yang berurutan. Pendekatan model yang dipakai pada penelitian ini adalah model *Greenshields.* Dari hasil analisis gelombang kejut menggunakan nilai EMP *headway,* didapatkan panjang antrian maksimum sebesar 0,1 kilometer, dan waktu penormalan 73,18 detik. Sementara hasil analisis gelombang kejut menggunakan nilai EMP dari MKJI 1997 didapatkan panjang antrian maksimum sebesar 0,13 kilometer dan waktu penormalan 95,27 detik. Dari uji validitas panjang antrian dengan uji statistik *MAPE,* didapat nilai *MAPE* EMP *headway* sebesar 1,08% dan nilai *MAPE* EMP MKJI 1997 sebesar 2,03%. Untuk uji validitas waktu penormalan, didapat nilai *MAPE* sebesar 3,35% untuk EMP *headway*, dan 3,99% untuk EMP MKJI 1997.

2.2 Teori Gelombang Kejut pada Perlintasan Sebidang Kereta Api

Penelitian yang dilakukan oleh Solimin (2006) mencari pengaruh lama penutupan pintu kereta api terhadap panjang antrian dan tundaan dengan aplikasi gelombang kejut. Metode pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah pengamatan langsung di lapangan sebagai data primer berupa volume dan kecepatan rata-rata jarak. Sedangkan inventarisasi data sekunder dilakukan melalui

pengumpulan data jadwal keberangkatan dan kedatangan kereta api selama satu hari yang diperoleh dari instansi terkait. Hasil dari penelitian ini memperoleh panjang antrian rata-rata dari analisis *Shock wave* adalah 48,07 meter, panjang antrian rata-rata yang terjadi di lapangan adalah 14,57 meter. Untuk tundaan, tundaan dari analisis *Shock wave* adalah 2,48 menit/kendaraan dan tundaan yang terjadi di lapangan adalah 0,24 menit/kendaraan. Dari hasil uji t, didapatkan bahwa antara data lapangan dan data analisis tidak sama secara signifikan. Hal ini disebabkan karena adanya disiplin antri pengguna jalan pada pendekatan dengan teori *Shock wave.* Dimana penerapan disiplin antri sulit untuk dilakukan pada kondisi lapangan.

Kemudian, Malau (2016) melakukan penelitian untuk mengetahui panjang antrian pada perlintasan sebidang kereta api dengan menggunakan dua metode, yaitu metode gelombang kejut *(Shock wave)* dan metode teori antrian *(Queueing theory)*. Metode pengumpulan data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah survei karakteristik lalu lintas dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan. Pemilihan model hubungan arus, kecepatan dan kepadatan dilakukan dengan mencari nilai koefisien determinasi terbesar pada tiga jenis model, yaitu *Greenshields, Greenberg,* dan *Underwood.* Model *Greenshields* terpilih karena memiliki nilai koefisien determinasi paling besar pada hubungan kecepatan-kepadatan, dan arus-kepadatan. Dari hasil analisis metode gelombang kejut, diperoleh antrian terbesar terjadi pada pukul 17.12 , yaitu sepanjang 468,75 meter. Sedangkan dari hasil analisis metode antrian, diperoleh antrian sepanjang 64,04 meter yang terjadi pada waktu kereta melintas pukul 16.40.

Rahim (2017) juga mengaplikasikan metode analisis gelombang kejut untuk mengetahui pengaruh perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api terhadap karakteristik lalu lintas Jalan M.T Haryono, Medan. Pengumpulan variabel data primer adalah dengan melakukan survei volume, kecepatan rata-rata jarak, dan waktu lama penutupan pintu perlintasan. Volume dan kecepatan rata-rata jarak diamati pada dua lokasi pengamatan yang berbeda,, yaitu pada daerah sebelum *rumble strips* (rambu peringatan mendekati perlintasan) dan pada daerah setelah *rumble strips*. Model hubungan arus-kecepatan-kepadatan yang dipakai adalah

model *Greenshields.* Dari hasil analisis gelombang kejut diperoleh periode waktu penutupan pada pukul 16.45 sampai dengan pukul 16.47 merupakan kondisi dimana panjang antrian maksimum memiliki nilai tertinggi 77 meter, dengan rata-rata tundaan sebesar 79 detik.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Nawal (2021) tentang gelombang kejut pada segmen jalan yang ditutup akibat adanya pengangkutan muatan sampah oleh truk sampah. Variabel kinerja ruas jalan yang dianalisis adalah arus, kecepatan rata-rata jarak, dan panjang antrian dengan mengaplikasikan metode gelombang kejut. Metode pengumpulan data primer pada penelitian ini adalah dengan menghitung lama penutupan jalan saat pengangkutan sampah serta mengukur data geometri badan jalan dengan menggunakan meteran. Data sekunder pada penelitian ini didapatkan dengan melakukan pengamatan pada CCTV pada pukul 07.00 – 17.00 dengan periode waktu 15 menitan. Dari hasil pengamatan di lapangan saat terjadi penutupan jalan akibat pengangkutan sampah, diperoleh durasi penutupan jalan sebesar 450 detik. Dengan durasi penutupan jalan 450 detik didapatkan panjang antrian dari hasil analisis gelombang kejut sebesar 231,232 m dan waktu untuk arus kembali normal sebesar 7,45 menit. Selanjutnya, untuk mencari alternatif waktu pengangkutan sampah, dicari nilai kecepatan terendah dari, yaitu pada pukul 07.00 – 08.00. Sehingga didapatkan gelombang kejut pada pukul tersebut adalah 2,83 km/jam. Angka tersebut bernilai positif mengindikasikan gerakan maju menuju kedepan yang berarti kondisi lalu lintas tidak mengalami antrian kendaraan. Sehingga dapat disimpulkan pukul 07.00 – 08.00 dapat dijadikan alternatif waktu pengangkutan sampah.

Brilia dan Rompis (2019) juga melakukan penelitian untuk mencari pengaruh penyempitan jalan terhadap karakteristik lalu lintas dengan mengaplikasikan metode gelombang kejut. Variabel karakteristik lalu lintas yang diamati di lapangan pada kondisi jalan normal dan kondisi jalan menyempit adalah volume dan kecepatan rata-rata jarak pada interval waktu 15 menit. Selanjutnya, dilakukan analisis pendekatan model hubungan arus-kecepatan-kepadatan dengan menggunakan model *Greenshields, Greenberg,* dan *Underwood.* Berdasarkan grafik hubungan kecepatan dan kepadatan, model *Greenberg* tidak dipilih karena

kurva hubungan tidak memotong sumbu y. Model *Underwood* juga tidak dipilih karena kurva hubungan tidak memotong sumbu x. Sehingga model terpilih adalah model *Greenshields.* Dari analisis gelombang kejut, didapatkan potensi panjang antrian maksimum akibat penyempitan jalan mencapai 158,99 meter.

2.3 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Penelitian ini berangkat dari adanya klaim di masyarakat bahwa terjadi antrian akibat adanya penyempitan jalan pada *on ramp flyover* IISIP. Penelitian ini berfokus pada perbandingan efek gelombang kejut terhadap panjang antrian pada dua kondisi yang memiliki hambatan yang berbeda. Kondisi pertama adalah adanya hambatan akibat perlintasan kereta api sebidang pada *u-turn* Pancasila dan kondisi kedua adalah akibat penyempitan jalan pada masa operasi *flyover* Tapal Kuda IISIP. Metode *Shock wave Analysis* digunakan pada dua kondisi tersebut yang akan menghasilkan panjang antrian yang berbeda. Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 sampai 2.3 berikut ini.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitan Terdahulu

NO	Judul Penelitian	Penyusun (Tahun)	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang diajukan
1	Pengaruh Lama Penutupan Pintu Kereta Api Terhadap Panjang Antrian dan Tundaan Kendaraan Aplikasi Teori Gelombang Kejut pada Ruas Jalan Mojo Baciro Yogyakarta	Solimin dan Indiyoko Narusianto (2006)	Menganalisis panjang antrian dan tundaan perlintasan sebidang kereta api dan hubungannya terhadap lama penutupan pintu perlintasan kereta api.	Pertemuan sebidang jalan dengan rel kereta api pada ruas Jalan Mojo, Baciro, Yogyakarta	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengamatan langsung dan survei lalu lintas. Data primer yang dikumpulkan adalah lama penutupan pintu kereta api, geometrik ruas jalan, volume, kecepatan, panjang antrian lapangan dan tundaan lapangan. Data sekunder yang dikumpulkan adalah jadwal kedatangan dan keberangkatan kereta api selama satu hari yang diperoleh dari PT. KAI.	Hasil dari penelitian yang diperoleh dari analisis *Shock wave*, panjang antrian rata-rata adalah 48,07 meter, panjang antrian rata-rata yang terjadi di lapangan adalah 14,57 meter. Untuk tundaan, tundaan dari analisis *Shock wave* adalah 2,48 menit/kendaraan dan tundaan yang terjadi di lapangan adalah 0,24 menit/kendaraan. Dari hasil uji t, didapatkan bahwa antara data lapangan dan data analisis tidak sama secara signifikan. Hal ini disebabkan karena adanya disiplin antri pengguna jalan pada pendekatan dengan teori *Shock wave*. Dimana penerapan disiplin antri sulit untuk dilakukan pada kondisi lapangan.	Pada penelitian ini dicari hubungan antara lama penutupan dengan tundaan dan panjang antrian menggunakan uji regresi linear. Perbandingan antara panjang antrian dan tundaan hasil di lapangan dengan hasil *Shock wave Analysis* juga dihitung dengan uji T.

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitan Terdahulu

NO	Judul Penelitian	Penyusun (Tahun)	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang diajukan
2	Aplikasi *Shock wave Analysis* dan *Queueing Analysis* Untuk Menghitung Panjang Antrian Pada Perlintasan Sebidang	Rikki H Malau (2016)	Menganalisis karakteristik lalu lintas akibat perlintasan sebidang kereta api dan mencari panjang antrian serta tundaan dengan teori gelombang kejut dan teori antrian	Pertemuan sebidang jalan dengan rel kereta api pada ruas Jalan Asrama, Medan	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengamatan langsung atau survei lalu lintas. Data primer yang dikumpulkan adalah lama penutupan palang pintu kereta api, geometrik ruas jalan, volume lalu lintas, dan kecepatan kendaraan.	Dari hasil analisis metode gelombang kejut, diperoleh antrian terbesar terjadi pada pukul 17.12 , yaitu sepanjang 468,75 meter. Sedangkan dari hasil analisis metode antrian, diperoleh antrian sepanjang 64,04 meter yang terjadi pada waktu kereta melintas pukul 16.40	Pada penelitian ini digunakan juga metode analisis antrian. Dilakukan pencarian hubungan volume, kecepatan, dan kepadatan dengan 3 model matematis, yaitu *Greenshield*, *Greenberg*, dan *Underwood*. Model *Greenshield* dipilih untuk analisis gelombang kejut
3	Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan M.T Haryono dengan Rel	M. Yasir Rahim (2017)	Mengetahui nilai tundaan dan panjang antrian maksimum yang terjadi pada pintu perlintasan kereta api menggunakan	Perlintasan sebidang Jalan M. T. Haryono, Medan	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah survei lalu lintas. Data primer yang dikumpulkan adalah	Dari model *Greenshields*, didapatkan nilai kecepatan arus bebas dan kepadatan macet pada lokasi sebelum titik *rumble strips* berturut-turut sebesar 37,20	Model hubungan arus-kecepatan-kepadatan yang dipakai adalah model *Greenshields*. Tidak dilakukan

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitan Terdahulu

NO	Judul Penelitian	Penyusun (Tahun)	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang diajukan
	Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas		metode analisis gelombang kejut.		volume lalu lintas, geometrik jalan, kecepatan rata-rata jarak, dan waktu penutupan pintu perlintasan.	km/jam dan 1086,403 smp/jam. Sedangkan pada lokasi setelah *rumble strips*, berturut-turut sebesar 22,57 km/jam dan 1202 smp/jam. Kemudian, dari analisis gelombang kejut diperoleh panjang antrian maksimum dan tundaan rata-rata, yaitu pada periode penutupan pada pukul 16.45-16.47 berturut-turut sebesar 77 meter dan 79 detik.	percobaan pada model *Greenberg* dan *Underwood*.
4	Studi Gelombang Kejut pada Penyempitan Jalan dengan Menggunakan EMP Atas Dasar Analisis Rasio *Headway* (Studi Kasus:	Luthfi Ramadhan (2016)	Menganalisis gelombang kejut untuk mengetahui panjang antrian maksimum pada penyempitan jalan menggunakan dua nilai EMP yang berbeda, yaitu EMP berdasarkan MKJI 1997 dan EMP	Jalan Jend. Ahmad Yani melewati Viaduct Gilingan, Surakarta	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengamatan langsung atau survei lalu lintas. Data primer yang dikumpulkan adalah *time headway*, geometrik ruas jalan, volume lalu lintas,	Dari hasil analisis gelombang kejut menggunakan nilai EMP *headway*, didapatkan panjang antrian maksimum dan waktu penormalan berturut-turut sebesar 0,1 kilometer dan 73,18 detik. Sementara hasil analisis gelombang kejut menggunakan nilai EMP dari MKJI 1997 berturut-turut sebesar 0,13	Pada penelitian ini digunakan dua nilai konversi *EMP*, yaitu dari MKJI 1997 dan analisis rasio *headway*. Waktu penormalan di lapangan juga diukur. Untuk menguji validitas nilai panjang antrian

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitan Terdahulu

NO	Judul Penelitian	Penyusun (Tahun)	Tujuan Penelitian	Lokasi Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan penelitian terdahulu dengan penelitian yang diajukan
	Penyempitan Jalan Jend. Ahmad Yani Melewati Viaduct Gilingan, Surakarta)		berdasarkan analisis rasio *headway* serta validitasnya terhadap nilai riil di lapangan.		kecepatan kendaraan, waktu penormalan lapangan dan panjang antrian maksimum lapangan	kilometer dan 95,27 detik. Dari uji validitas panjang antrian dengan uji statistik *MAPE*, didapat nilai *MAPE* EMP headway sebesar 1,08% dan nilai *MAPE* EMP MKJI 1997 sebesar 2,03%. Untuk uji validitas waktu penormalan, didapat nilai *MAPE* sebesar 3,35% untuk EMP headway, dan 3,99% untuk EMP MKJI 1997.	dan waktu penormalan hasil *Shock wave Analysis* dengan hasil pengamatan di lapangan dilakukan uji statistik *MAPE*.
5	Analisis Gelombang Kejut (*Shockwave*) Di Ruas Jalan Dr. Djundjunan Pada Segmen Penyempitan Jalan Akibat Angkut Muatan	Misfat Nawal (2021)	Menganalisis kinerja ruas dan gelombang kejut pada segmen penyempitan jalan akibat pengangkutan sampah dan memberi alternatif waktu yang lebih efektif untuk pengangkutan sampah dengan melakukan	Jl. Dr. Djundjunan Kota Bandung	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengamatan langsung dan survei lalu lintas dengan mengamati CCTV. Data primer yang dikumpulkan adalah durasi pengangkutan	Dari hasil pengamatan saat terjadi penutupan jalan akibat pengangkutan sampah, diperoleh durasi penutupan jalan sebesar 450 detik. Dari durasi tersebut didapatkan panjang antrian dari hasil analisis gelombang kejut sebesar 231,232 m dan waktu penormalan sebesar 7,45 menit.	Penelitian ini mencari kapasitas dan lama penutupan ruas jalan akibat aktivitas pengangkutan sampah untuk mendapatkan panjang antrian dan waktu penormalan. Pengumpulan data

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitan Terdahulu

	Sampah Menggunakan Metode *Greenshield*		simulasi perhitungan gelombang kejut pada waktu terpilih.		sampah dan geometrik ruas. Data sekunder berupa karakteristik lalu lintas yang diamati dari CCTV.	Alternatif waktu pengangkutan sampah yang efektif terpilih pukul 07.00 – 08.00. Sehingga didapatkan gelombang kejut pada pukul tersebut tidak menimbulkan antrian.	karakteristik lalu lintas diamati dengan media CCTV.
6	Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus Jalan Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado)	Brilia, Semuel Y. R. Rompis, dan Longdong Jefferson (2019)	Mengetahui pengaruh penyempitan jalan terhadap karakteristik lalu lintas pada bagian ruas jalan normal dan ruas jalan menyempit menggunakan metode analisis gelombang kejut.	Jalan Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah survei lalu lintas. Data primer yang dikumpulkan adalah volume lalu lintas, waktu tempuh kendaraan 50 meter, dan geometrik jalan.	Dari hasil analisis regresi pemodelan hubungan arus-kecepatan-kepadatan, dipilih model *Greenshields*, *yaitu* dengan nilai R^2 terbesar sebesar 72,44% pada jalan normal, dan 89,37% untuk jalan menyempit. Dari hasil analisis gelombang kejut dengan parameter model *Greenshields*, penyempitan jalan berpotensi menghasilkan panjang antrian maksimum sepanjang 158,99 meter.	Penyempitan jalan yang dianalisis pada penelitian adalah penyempitan dari dua lajur menjadi satu lajur.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Karakteristik Lalu Lintas

Karakteristik fundamental dari sebuah aliran lalu lintas adalah berupa arus (*flow)*, kecepatan (*speed*), dan kepadatan (*density*). Karakteristik tersebut dapat menggambarkan kualitas tingkat pelayanan jalan yang dialami oleh pengemudi kendaraan. Ketiga variabel di atas dapat diamati dan dipelajari pada tingkat mikroskopik maupun makroskopik. Karakteristik mikroskopik menggambarkan arus lalu lintas sebagai perilaku satu kendaraan pada lalu lintas yang saling mempengaruhi. Sedangkan karakteristik makroskopik menggambarkan arus lalu lintas sebagai sebuah sistem dan bagaimana sistem tersebut beroperasi. Tabel 3.1 memberikan kerangka untuk karakteristik lalu lintas.

Tabel 3. 1 Kerangka Dasar Karakteristik Arus Lalu Lintas

Karakteristik lalu lintas	**Mikroskopik**	**Makroskopik**
Arus	Waktu antara (*time headway*)	Tingkat Arus
Kecepatan	Kecepatan individu	Kecepatan rata-rata
Kepadatan	Jarak antara (*distance headway*)	Tingkat Kepadatan

Sumber: May (1990)

3.1.1 Arus (*Flow*)

Arus adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pada suatu penggal jalan setiap satuan waktu dan dinyatakan dalam satuan kendaraan per jam. Arus dapat memiliki karakteristik yang bervariasi baik dalam lokasi maupun waktunya. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik perilaku mengemudi.

Arus dapat diklasifikasikan ke dalam 2 golongan.

1. Arus tak terganggu (*Uninterrupted Flow*) disebut juga arus bebas adalah arus yang dapat terjadi pada kondisi tidak ada hambatan yang mengganggu arus lalu

lintas. Contohnya adalah jalan tol karena selain tidak ada hambatan, seluruh jalan masuk dan keluar pada jalan tol dibatasi dan dikontrol dengan baik.

2. Arus terganggu (*Interrupted Flow*), yaitu arus yang dapat terjadi apabila terdapat hambatan yang mengganggu arus lalu lintas sehingga menurunkan kecepatan atau sampai membuat kendaraan berhenti. Contohnya pada persimpangan bersinyal.

Volume lalu lintas sedikit berbeda dengan arus lalu lintas. Volume lalu lintas adalah jumlah kendaraan melewati suatu titik selama rentang waktu tertentu. Volume diukur dalam rentang waktu yang panjang (lama). Volume dapat diukur dalam rentang waktu harian, mingguan, atau tahunan.

1. Volume harian (*daily volumes*)
    a. *Average annual daily traffic* (AADT) atau Lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) merupakan volume rata-rata yang dihitung selama 24 jam di suatu lokasi tertentu selama setahun (365 hari) penuh. Atau dengan kata lain, total kendaraan yang melintasi suatu lokasi dalam satu tahun penuh dibagi 365 hari.
    b. *Average annual weekday traffic* (AAWT) atau lalu lintas hari kerja rata-rata tahunan (LHKRT) merupakan volume rata-rata yang dihitung selama 24 jam hanya pada hari kerja selama 365 hari.
    c. *Average daily traffic* (ADT) atau lalu lintas harian rata-rata (LHR) merupakan volume rata-rata selama 24 jam di suatu lokasi untuk periode waktu 6 bulan, satu minggu, atau bahkan selama 2 hari. Apabila AADT dihitung satu tahun, maka ADT mungkin dihitung selama 6 bulan, satu minggu bahkan selama 2 hari.
    d. *Average weekday traffic* (AWT) atau lalu lintas hari kerja rata-rata (LHKR) merupakan volume rata-rata selama 24 jam hanya pada hari kerja dalam periode kurang dari satu tahun.
2. Volume Per jam (*hourly volumes*)

    Tingkat arus lalu lintas per jam memiliki kaitan erat dengan aktivitas manusia. Menurut Manual Kapasitas Jalan Indoneisa (MKJI, 1997) perhitungan arus lalu lintas dilakukan persatuan jam untuk satu arah atau lebih periode, misalnya

didasarkan pada kondisi arus lalu lintas rencana jam puncak pagi, siang dan sore. Jam dalam hari dengan volume jam tertinggi disebut *peak hour*. Pada kenyataannya, arus lalu lintas tidak selalu sama setiap saat. Jalan harus dirancang agar dapat melayani volume lalu lintas pada saat *peak hour* pada arah tertentu. Variasi yang terjadi selama satu jam dinyatakan dalam faktor jam puncak (*Peak Hour Factor* / PHF), adalah perbandingan antara volume arus lalu lintas jam puncak dengan 4 kali *rate of flow*/15 menit volume arus lalu lintas tertinggi pada jam yang sama. *Peak hour factor* dapat digunakan untuk menentukan tingkat arus (*rate of flow*) dalam satu jam berdasarkan volume satu jam penuh. *Rate of flow* atau nilai arus adalah arus lalu lintas 15 menitan yang merepresentasikan volume lalu lintas di bawah satu jam.

3.1.2 Kecepatan (*Speed)*

Kecepatan (*Speed*) adalah jarak yang dapat di ditempuh oleh sebuah kendaraan dalam suatu satuan waktu tertentu. Dalam pergerakan arus lalu lintas, tiap kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda. Kecepatan dari suatu kendaraan berbeda-beda dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti hambatan samping, kondisi kepadatan lalu lintas, atau bahkan kondisi lingkungan di sekelilingnya. Dengan demikian dalam arus lalu lintas tidak dikenal kecepatan tunggal tetapi lebih dikenal sebagai distribusi dari kecepatan kendaraan tunggal. Dari distribusi tersebut jumlah rata-rata atau nilai tipikal dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik dari arus lalu lintas.

1. Kecepatan rata-rata waktu (*time mean speed*)

   Time mean speed adalah rata-rata dari kecepatan individu kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada suatu periode waktu tertentu. Contohnya suatu detektor kecepatan diatur untuk mengukur kecepatan rata-rata dari banyak kendaraan yang melewati suatu titik setiap interval 20 detik. *Time mean speed* bisa digunakan jika surveyor ingin mengukur kendaraan dengan alat detektor kecepatan. Kecepatan rata-rata waktu dapat dirumuskan pada Persamaan 3.1 berikut.

$$TMS = \frac{\sum_i \left(\frac{d}{t_i}\right)}{n} \quad (3.1)$$

dengan:

TMS = kecepatan rata-rata waktu (kend/km),

d = jarak penggal jalan (km),

t_i = waktu tempuh kendaraan ke-i (jam), dan

n = jumlah sampel kendaraan.

2. Kecepatan rata-rata jarak (*space mean speed*)

   Space mean speed adalah jarak penggal jalan yang diamati dibagi dengan rata-rata waktu tempuh yang dibutuhkan oleh banyak kendaraan untuk melewati jarak tersebut.

$$SMS = \frac{d}{\sum_i \left(\frac{t_i}{n}\right)} = \frac{d.n}{\sum_i (t_i)} \quad (3.2)$$

dengan:

t_i = waktu kendaraan ke – i untuk melewati seksi jalan tersebut,

d = jarak yang dilalui, dan

n = jumlah kendaraan yang diamati.

Untuk melakukan survei kecepatan, terdapat 3 jenis klasifikasi utama kecepatan kendaraan yang dapat digunakan.

1. Kecepatan rata-rata waktu (*spot speed*)

   Yaitu kecepatan kendaraan pada saat diukur dari suatu titik tempat yang ditentukan. Kecepatan sesaat dapat diketahui dengan suatu metode survei. Ketika kecepatan diukur dari suatu titik yang ditentukan, hasil dari distribusi kecepatan dapat ditentukan.

2. Kecepatan bergerak (*running speed*)

   Kecepatan bergerak dapat dihitung menggunakan waktu bergerak rata-rata. Jika tidak ada tundaan berhenti, kecepatan bergerak rata-rata setara dengan kecepatan rata-rata jarak. Kecepatan bergerak dihitung dengan membagi jarak jalan yang ditempuh dan waktu tempuhnya.

3. Kecepatan perjalanan (*journey speed*)

   Kecepatan perjalanan adalah kecepatan kendaraan yang ditinjau asal dan tujuan kendaraan tersebut melaju dari satu tempat ke tempat lainnya. Semakin jauh jarak yang ditinjau, maka potensi tundaan juga akan semakin besar. Sehingga waktu tempuh antara dua tempat akan meningkat.

3.1.3 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*Density*) lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang berada dalam satu satuan panjang jalan tertentu. Kepadatan biasa dinyatakan dalam satuan kendaraan/km. Kepadatan lalu lintas bervariasi dari nol (tidak ada kendaraan di suatu lajur sepanjang 1 km) sampai nilai yang menyatakan antrian kendaraan yang cukup rapat dan tidak dapat bergerak atau macet (biasanya 115 – 156 kendaraan/km). Nilai kepadatan dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut :

$$D = \frac{N}{L} \tag{3.3}$$

dengan:

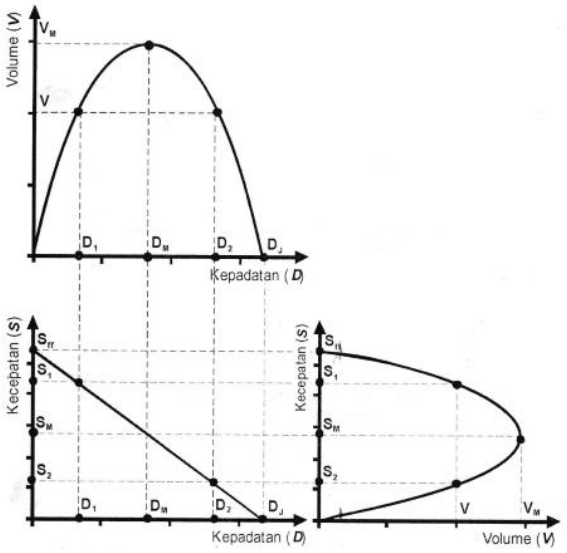
D = kepadatan lalu lintas (kend/km),

N = jumlah kendaraan yang diamati (kendaraan), dan

L = panjang ruas jalan yang akan dihitung (km).

3.2 Pemodelan Hubungan antara Arus, Kecepatan, dan Kepadatan

Hubungan matematis antarparameter tersebut dapat juga dijelaskan dengan menggunakan Gambar 3.1 di bawah ini memperlihatkan hubungan matematis antara Kecepatan-Kepadatan (*S–D*), Volume-Kepadatan (*V–D*), dan Volume-Kecepatan (*V-S*).



Gambar 3. 1 Hubungan Matematis Arus-Kecepatan-Kepadatan
(Sumber: Tamin, 2008)

Berikut ini merupakan penjelasan hubungan grafik V, S, dan D.

1. Kondisi pertama adalah saat kondisi jalan masih dalam keadaan kosong. Belum ada volume kendaraan yang masuk ke jalan. Maka pada saat itu dapat dilihat bahwa nilai arus dan kepadatan adalah nol, sehingga pengemudi dapat meningkatkan kecepatannya sampai maksimum.
2. Kondisi kedua adalah saat arus dan kepadatan mulai naik dari nol, kecepatan akan mulai menurun dan mendekati kecepatan rata-rata pada kondisi arus bebas. Hal ini terjadi karena pengemudi mulai mengontrol kecepatannya sebab terdapat kendaraan pada jalan dan jalan mulai ramai.
3. Kondisi ketiga adalah titik arus kritis atau ketika titik arus mencapai nilai maksimum yang artinya, arus yang melewati jalan pada kondisi ini telah sama dengan kapasitas jalan atau arus maksimum yang dapat disalurkan oleh jalan. Setelah titik ini tercapai, apabila kepadatan semakin tinggi, kecepatan dan arus akan menurun.
4. Kondisi keempat adalah saat kepadatan semakin bertambah, arus dan kecepatan akan mulai mendekati 0 sebagai akibat telah terjadi antrian kendaraan.
5. Kondisi kelima adalah saat kepadatan bernilai maksimum. Pada kondisi ini, tidak ada lagi kendaraan yang dapat masuk ke ruas jalan yang diamati sehingga

arus bernilai 0. Kondisi ini adalah kondisi macet total ketika kendaraan tidak bergerak sehingga kecepatan juga bernilai 0.

Gambar 3.1 memperlihatkan beberapa parameter penting arus lalu lintas lainnya yang dapat didefinisikan sebagai berikut.

V_M = volume maksimum dari data volume yang diperoleh (kendaraan/jam)

S_M = kecepatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum (km/jam)

D_M = kepadatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum (kendaraan/km)

D_J = kepadatan pada kondisi lalu lintas macet total (kendaraan/km)

S_{ff} = kecepatan pada kondisi volume lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati 0 (nol) atau kecepatan arus bebas (km/jam)

Kecepatan arus bebas (S_{ff}) tidak dapat diamati di lapangan karena kondisi tersebut terjadi pada saat tidak ada kendaraan (D=0). Nilai kecepatan arus bebas bisa didapatkan secara matematis yang diturunkan dari hubungan matematis antara Kecepatan–Kepadatan (S–D) yang terjadi di lapangan.

Ada 3 jenis model yang dapat digunakan untuk merepresentasikan hubungan matematis antara ketiga parameter tersebut,, yaitu:

a. Model *Greenshields*
b. Model *Greenberg*
c. Model *Underwood*

3.2.1 Model Greenshield

Greenshields merupakam model yang paling sederhana dan mudah untuk diterapkan. *Greenshields* merumuskan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan–Kepadatan (S–D) diasumsikan linear, seperti yang dinyatakan dengan Persamaan 3.4.

$$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} . D \tag{3.4}$$

dengan:

S = kecepatan rata-rata (kend/km),

S_{ff} = kecepatan pada kondisi arus bebas (km/jam),

D = kepadatan (smp/km), dan

D_j = kepadatan pada kondisi lalu lintas macet total.

Dapat dilihat bahwa rumus di atas pada dasarnya merupakan suatu persamaan *linier* Y = a + bX, dianggap S_{ff} merupakan konstanta a dan $\frac{S_{ff}}{D_j}$ = b sedangkan *S* dan *D* masing-masing merupakan variabel Y dan X. Selanjutnya, dari persamaan matematis hubungan antara Volume–Kepadatan (*V–D*), dan Volume–Kecepatan (*V–S*) didapatkan beberapa persamaan, yaitu volume maksimum (V_M), kecepatan maksimum (S_M), dan kepadatan maksimum (D_M) yang dihasilkan dari model *Greenshields* dan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Rangkuman Persamaan yang Dihasilkan Model *Greenshields*

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S–D	$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j}.D$	V_M	$V_M = \frac{D_j.S_{ff}}{4}$
V–D	$V = D.S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j}.D^2$	S_M	$S_M = \frac{S_{ff}}{2}$
V–S	$V = D_j.S - \frac{D_j}{S_{ff}}.S^2$	D_M	$D_M = \frac{D_j}{2}$

Sumber: Tamin (2008)

3.2.2 Model *Greenberg*

Hubungan ini dibuat dengan mengasumsikan bahwa arus lalu lintas mempunyai kesamaan dengan arus fluida. *Greenberg* mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara Kepadatan–Kecepatan (*D–S*) bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi logaritmik. Persamaan dasar model *Greenberg* dapat dinyatakan melalui Persamaan 3.5 berikut.

$$D = \mathrm{C}.\mathrm{e}^{-\mathrm{b}S} \tag{3.5}$$

dengan:

D = kepadatan (kend/km),

C = konstanta,

b = konstanta, dan

S = kecepatan (km/jam).

Pada model ini diperlukan parameter kecepatan optimum dan kepadatan saat kondisi macet. Namun sama dengan model *Greenshields,* kepadatan kondisi macet sangat sulit diamati di lapangan dan kecepatan optimum lebih sulit diestimasikan daripada kecepatan bebas rata-rata. Estimasi kasar nilai kecepatan optimum adalah kurang lebih setengah dari kecepatan rencana. Pada model ini kecepatan arus bebas rata-rata tidak bisa dihitung. Selanjutnya, dari persamaan matematis hubungan antara Volume–Kepadatan (V–D), dan Volume–Kecepatan (V–S) didapatkan beberapa persamaan, yaitu volume maksimum (VM), kecepatan maksimum (SM), dan kepadatan maksimum (DM) yang dihasilkan dari model *Greenberg* yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Rangkuman Persamaan yang Dihasilkan Model *Greenberg*

Hubungan	**Persamaan yang dihasilkan**	**Hubungan**	**Persamaan yang dihasilkan**
S–D	$S = S_M \,\mathrm{Ln}\dfrac{\mathrm{C}}{D}$	$\mathrm{V_M}$	$V_M = \dfrac{\mathrm{C}}{\mathrm{be}}$
V–D	$V = DS_M \,\mathrm{Ln}\dfrac{\mathrm{C}}{D}$	$\mathrm{S_M}$	$S_M = \dfrac{1}{\mathrm{b}}$
V–S	$V = S.\mathrm{C}.\,\mathrm{e}^{\frac{-S}{S_M}}$	$\mathrm{D_M}$	$D_M = \dfrac{\mathrm{C}}{\mathrm{e}}$

Sumber: Tamin (2008)

3.2.3 Model Underwood

Seperti *Greenberg*, *Underwood* juga mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara Kepadatan–Kecepatan (*D–S*) merupakan fungsi eksponensial. Model ini memerlukan kecepatan arus bebas

Model ini mengharuskan untuk mengetahui nilai kecepatan arus bebas, yang mana mudah untuk diamati. Model ini setelah diamati memiliki kecocokan lebih baik untuk kondisi lalu lintas tidak padat, namun kurang cocok untuk dipakai pada kondisi lalu lintas padat karena model *Underwood* akan memberikan nilai kepadatan tidak terhingga pada kondisi macet ($D_j = \infty$). Persamaan dasar model *Underwood* dapat dinyatakan melalui Persamaan 3.6 berikut.

$$S = S_{ff}.\mathrm{e}^{\frac{-D}{D_M}} \tag{3.6}$$

dengan:

S_{ff} = kecepatan arus bebas (km/jam),

$-D$ = kepadatan (kendaraan/km), dan

D_M = kepadatan maksimum (kendaraan/km).

Selanjutnya, dari persamaan matematis hubungan antara Volume–Kepadatan (V–D), dan Volume–Kecepatan (V–S) didapatkan beberapa persamaan, yaitu volume maksimum (VM), kecepatan maksimum (SM), dan kepadatan maksimum (DM) yang dihasilkan dari model *Underwood* yang dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Rangkuman Persamaan yang Dihasilkan Model *Underwood*

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S–D	$S = S_{ff}.\mathrm{e}^{\frac{-D}{\mathrm{D_M}}}$	$\mathrm{V_M}$	$V_M = \frac{\mathrm{D_M}.\, S_{ff.}}{\mathrm{e}}$
V–D	$V = D.S_{ff.}\,\mathrm{e}^{\frac{-D}{\mathrm{D_M}}}$	$\mathrm{S_M}$	$S_M = \frac{S_{ff}}{\mathrm{e}}$
V–S	$V = S.\mathrm{D_M}\ \mathrm{Ln}\frac{S_{ff.}}{S}$	$\mathrm{D_M}$	$\mathrm{D_M}$

Sumber: Tamin (2008)

3.3 Ekivalensi Mobil Penumpang (EMP)

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), satuan mobil penumpang dan ekivalensi mobil penumpang didefinisikan sebagai :

1. Satuan mobil penumpang (smp) adalah satuan arus lalu lintas, dimana arus dari berbagai tipe kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan emp.
2. Ekivalensi mobil penumpang (emp) adalah Faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalulintas (untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan lainnya, emp = 1.0).

Volume lalu lintas yang didapatkan dari survei volume arus lalu lintas dikalikan dengan faktor emp masing-masing jenis kendaraan (LV, HV, dan MC) untuk menyeragamkan nilai satuan kendaraan agar homogen ke dalam satuan mobil penumpang. Nilai faktor emp yang digunakan adalah nilai faktor menurut PKJI 2023 untuk Jalan Perkotaan. Nilai EMP berdasarkan PKJI 2023 dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 di bawah ini.

Tabel 3. 5 EMP Untuk Jalan Perkotaan Tak Terbagi

Tipe Jalan	Volume lalu-lintas total dua arah (kend/jam)	EMP_{KS}	EMP_{SM}	
			$L_{Jalur} \leq 6$ m	$L_{Jalur} \geq 6$ m
2/2-TT	≤ 1800	1,3	0,5	0,40
	≥ 1800	1,2	0,35	0,25

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

Tabel 3. 6 EMP Untuk Jalan Perkotaan Terbagi

Tipe Jalan	Volume lalu-lintas per lajur (kend/jam)	HV	MC
4/2-T atau 2/1	≤ 1050	1,3	0,40
	≥ 1050	1,2	0,25
6/2-T atau 3/1	≤ 1100	1,3	0,40
8/2-T atau 4/1	≥ 1100	1,2	0,25

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

3.4 Antrian

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2023), Antrian didefinisikan sebagai banyaknya kendaraan yang mengantri pada suatu pendekat dan dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Sedangkan Panjang Antrian atau *queue length* merupakan panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat yang dinyatakan dalam satuan panjang (meter).

Antrian dapat terbentuk pada dua kondisi. Kondisi yang pertama adalah ketika tingkat permintaan (*demand* atau arus yang masuk) melebihi kapasitas jalan pada jangka waktu tertentu. Kondisi yang kedua adalah ketika waktu kedatangan kendaraan lebih kecil (atau lebih cepat) daripada waktu pelayanan pada suatu lokasi tertentu. Kelebihan kendaraan pada dasarnya akan tersimpan pada daerah *upstream*

dari *bottleneck.* Antrian dapat dibedakan menjadi antrian yang bergerak atau antrian yang berhenti (May, 1990)

Antrian yang bergerak (*moving queue*) dapat terlihat pada fenomena penyempitan jalan (*bottleneck*), kendaraan yang berjalan lambat, adanya perbaikan jalan, kecelakaan, atau pada penggabungan arus. Sedangkan contoh antrian yang berhenti (*stopped queue*) dapat ditemukan pada persimpangan bersinyal atau adanya tundaan pada kendaraan untuk lewat seperti pada perlintasan kereta api.

3.4.1 Antrian Menurut Metode *Shock Wave Analysis* dan *Queueing Theory*

Menurut May (1990), panjang antrian dapat dianalisis dengan dua teknik, yaitu *shock wave analysis* (analisis gelombang kejut) dan *queueing analysis* (analisis antrian). Analisis gelombang kejut dapat diterapkan jika proses kapasitas-permintaan adalah deterministik (sudah pasti terjadi) dan cocok digunakan untuk mengevaluasi ruang yang ditempati oleh proses antrian. Sementara analisis antrian dapat diterapkan untuk proses deterministik atau stokastik (belum pasti terjadi).

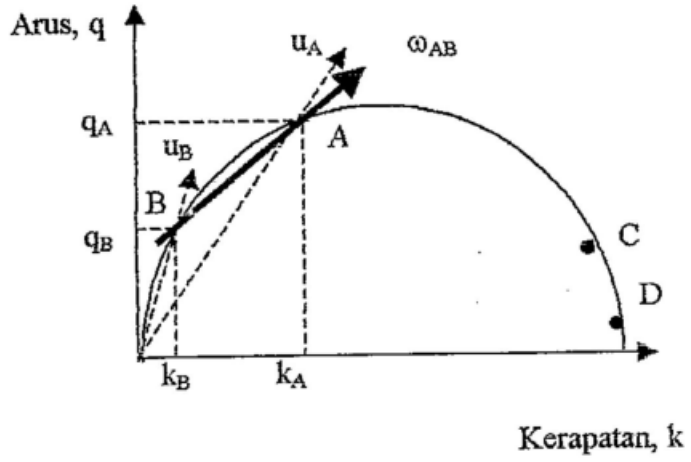
Perbedaan utama antara *shock wave analysis* dan *queueing analysis* adalah pada cara bagaimana kendaraan diasumsikan untuk mengantri. Pada metode analisis antrian, antrian diasumsikan vertikal. Sedangkan analisis gelombang kejut mempertimbangkan lebar horizontal antrian dan dimensi spasial antrian. Pertimbangan lebar horizontal antrian pada analisis gelombang kejut memungkinkan perekaman perilaku antrian yang lebih realistis dan perhitungan panjang antrian maksimum, dimana hal ini tidak dapat dilakukan pada model antrian deterministik, karena model ini hanya melacak jumlah kendaraan yang mengantri, bukan lokasi spasialnya (Rakha dan Zhang, 2005).

3.5 Gelombang Kejut

Kondisi atau nilai dari arus, kecepatan, dan kepadatan dapat berubah dari waktu ke waktu, dan ruang (*space)*. Ketika perubahan ini terjadi, sebuah batas terbentuk yang menandai batas daerah ruang dan waktu dari satu kondisi arus terhadap kondisi arus lainnya. Batas inilah yang disebut sebagai gelombang kejut atau *shock waves.* Dalam beberapa situasi, gelombang kejut dapat terbentuk secara halus, contohnya suatu kelompok kendaraan berkecepatan tinggi berusaha

mengikuti kendaraan yang bergerak dengan kecepatan yang sedikit lebih rendah. Gelombang kejut juga dapat memberi perubahan yang sangat signifikan pada kondisi arus. Misalnya ketika kelompok kendaraan yang mendekati sebuah antrian kendaraan yang berhenti. Dengan kata lain, gelombang kejut dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas pada kondisi arus dan kepadatan.

Ketika terjadi hambatan atau adanya antrian, kendaraan yang mendekat akan mengurangi kecepatannya yang mengakibatkan nilai arus menurun, dan nilai kepadatan meningkat. Titik pada saat kendaraan tersebut mengurangi kecepatan ditandai dengan menyalanya sinyal rem. Titik ini akan bergerak ke arah belakang atau ke arah lalu lintas yang datang mendekati hambatan. Gerakan titik sinyal rem ini bisa digambarkan sebagai gerakan gelombang kejut.



Gambar 3. 2 Gelombang Kejut pada Grafik Hubungan Arus-Kepadatan
(Sumber: Indrajaya, 2002)

dengan:

qa, qb = arus lalu lintas bebas (kendaraan/jam),

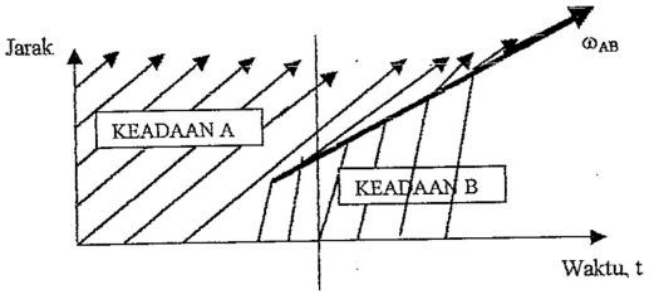
ω_{DB} = gelombang kejut maju bentukan (km/jam),

u_A, u_B = kecepatan pada kondisi lalu lintas bebas (km/jam), dan

k_A, k_B = kepadatan pada kondisi lalu lintas bebas.

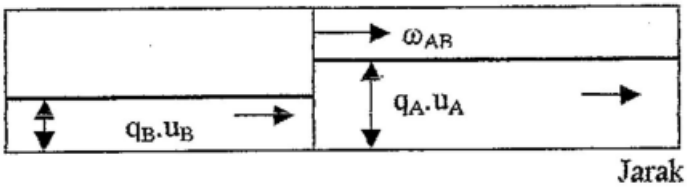
Gambar 3.2 memperlihatkan hubungan arus dan kecepatan pada arus bebas. Untuk beberapa saat digambarkan terdapat suatu keadaan arus bebas yang tetap, misal arus pada keadaan A. Arus, kerapatan, dan kecepatan pada keadaan A tersebut

diberi notasi : q_{A1} , k_A, dan u_A . Pada periode waktu berikutnya misal pada keadaan B arus masuk berkurang sehingga terjadi arus bebas yang baru. Pada kondisi baru tersebut arus, kerapatan, dan kecepatan pada keadaan B diberi notasi : q_{B1} , k_A, dan u_B. Pada keadaan B ini kecepatan kendaraan lebih tinggi dari keadaan A sehingga pada akhirnya kendaraan B dapat menyusul kendaraan A pada ruang dan waktu yang berbeda (Indrajaya, 2002).



Gambar 3. 3 Gelombang Kejut pada Diagram Waktu-Ruang
(Sumber: Indrajaya, 2002)

Gambar 3.3 melukiskan keadaan arus dalam diagram waktu dan jarak. Skala jarak dan waktu yang dipilih sedemikian sehingga arah grafik yang mewakili kecepatan dalam diagram ruang-waktu sejajar dengan grafik yang mewakili kecepatan pada grafik kecepatan-arus. Garis tebal ω_{ab} melukiskan gelombang kejut atau diskontinuitas antara keadaan A dan keadaan B, dengan istilah yang lebih sederhana adalah merupakan jejak jarak-waktu dimana kendaraan dengan kecepatan lebih tinggi pada kendaraan arus B bergabung dengan kendaraan pada kondisi A yang kecepatannya lebih rendah. Notasi ω_{ab} menunjukkan adanya gelombang kejut yang terletak antara A dan B (Indrajaya, 2002).



Gambar 3. 4 Dasar Analisis Gelombang Kejut
(Sumber: Indrajaya, 2002)

Pada Gambar 3.4 diperlihatkan suatu ruas jalan pada waktu t tertentu dengan 2 keadaan arus, yaitu arus bebas (kiri) bertemu dengan arus dengan kepadatan lebih tinggi (kanan), sehingga terbentuk gelomban, terdapat 3 jenis kecepatan ke kanan, yakni :

- u_A yang merupakan kecepatan kendaraan pada keadaan arus A
- u_B yang merupakan kecepatan kendaraan pada keadaan arus B
- ω_{ab} yang merupakan kecepatan gelombang kejut antara 2 keadaan A dan B (Indrajaya, 2002)

3.4.2 Klasifikasi Gelombang Kejut

Menurut Tamin (2008) dalam bukunya, gelombang kejut dapat diklasifikasikan menjadi 6 kelas, yaitu :

a. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary shock wave*)
b. Gelombang kejut mundur bentukan (*backward forming shock wave*)
c. Gelombang kejut maju pemulihan (*backward forming shock wave*)
d. Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary shock wave*)
e. Gelombang kejut mundur pemulihan (*backward recovery shock wave*)
f. Gelombang kejut maju bentukan (*forward forming shockwave*)

Frontal stationery shock wave atau gelombang kejut diam depan terjadi pada lokasi penyempitan jalan dan mengindikasikan lokasi dimana tingkat permintaan lalu lintas (*traffic demand*) melebihi kapasitas jalan. Istilah ‘depan’ berarti gelombang kejut ini berada di depan atau hilir (*downstream*) dari daerah kemacetan, dengan kepadatan yang lebih rendah ke arah hulu dan kepadatan lebih tinggi ke arah hulu (*upstream*). Istilah ‘diam’ berarti posisi terjadinya gelombang kejut akan terjadi pada lokasi tersebut dan tidak akan berpindah lokasinya seiring waktu.

Backward forming shock wave atau gelombang kejut mundur bentukan terjadi apabila kemacetan terjadi terdapat indikasi suatu daerah dalam ruang dan waktu dimana permintaan lalu lintas yang berlebih tertampung. Istilah ‘mundur’ berarti dari waktu ke waktu, gelombang kejut bergerak ke belakang atau hulu (*upstream*) atau ke arah yang berlawanan terhadap gerakan arus lalu lintas. Istilah ‘bentukan’ berarti dari waktu ke waktu, kemacetan akan semakin berkembang ke bagian lebih

jauh ke arah hilir. Daerah ruang dan waktu ke arah kiri dari gelombang kejut ini memiliki kepadatan yang lebih rendah dan ke arah kanan kepadatannya semakin tinggi.

Forward recovery shock wave atau gelombang kejut maju pemulihan merupakan gelombang kejut yang paling sering ditemui dan terjadi ketika telah terdapat kemacetan, namun permintaan semakin menurun di bawah kapasitas penyempitannya dan panjang kemacetan sedang berkurang. Istilah ‘maju’ berarti selama berjalannya waktu, gelombang kejut bergerak maju ke depan atau ke arah hilir arus lalu lintas (*downstream*) atau searah dengan arah bergeraknya arus lalu lintas. Istilah ‘pemulihan’ menunjukkan bahwa selama berjalannya waktu, kondisi arus bebas (*free-flow*) terjadi secara bertahap menuju daerah yang menjauh ke hilir arus lalu lintas.

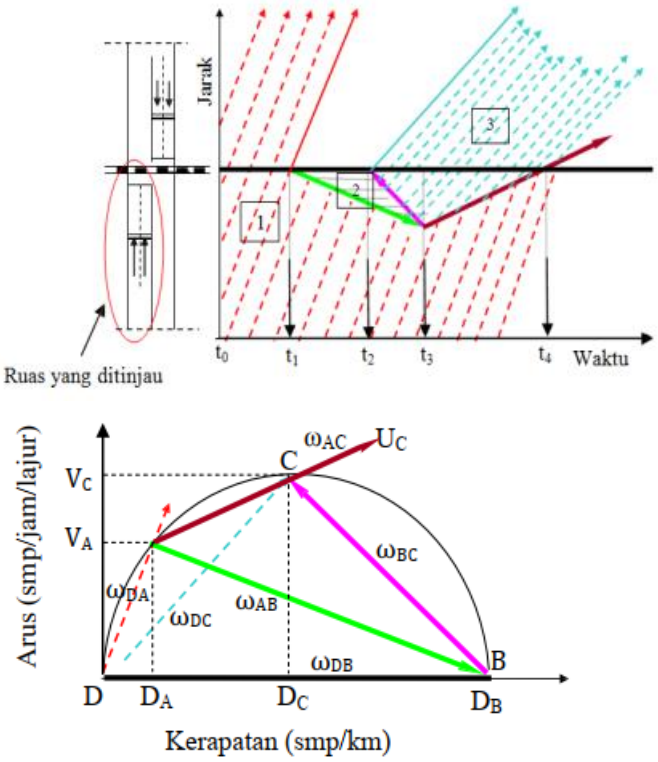
Rear stationery shock wave atau gelombang kejut diam belakang mungkin ditemui ketika permintaan lalu lintas yang datang nilainya sama dengan arus pada daerah yang terjadi kemacetan selama periode waktu tertentu.

Backward recovery shock wave atau gelombang kejut mundur pemulihan dapat ditemui ketika kemacetan telah terjadi namun kemudian, dikarenakan meningkatnya kapasitas pada bagian jalan yang mengalami *bottleneck*, laju aliran yang mampu dilepaskan melebihi laju aliran pada daerah yang mengalami kemacetan.

Kemudian, yang terakhir adalah *forward forming shock wave* atau gelombang kejut maju bentukan, yang sebenarnya jarang dijumpai. Gelombang kejut ini bisa terjadi ketika kapasitas perlahan menurun ke arah hulu. Misalnya ketika beberapa truk diperlambat akibat adanya tingkat kemiringan jalan.

3.4.3 Gelombang Kejut pada Perlintasan Sebidang

Menurut Malau (2016), gelombang kejut pada perlintasan sebidang antara jalan rel dan jalan raya dimulai ketika pintu perlintasan ditutup dimana antrian mulai terbentuk. Kemudian, setelah pintu perlintasan dibuka, terjadi proses pemulihan arus lalu lintas.



Gambar 3. 5 Gelombang Kejut pada Perlintasan Sebidang Jalan dengan Jalan Rel

(Sumber: Setiyaningsih, 2007)

Berdasarkan Gambar 3.5 di atas, nilai gelombang kejut adalah

a. Ketika pintu perlintasan ditutup (t_1)

Terdapat 3 jenis gelombang kejut yang terbentuk,, yaitu

1. Gelombang kejut maju pemulihan, ω_{DA}

Gelombang kejut ini terjadi akibat bertemunya dua kondisi kerapatan, yaitu kondisi kerapatan arus bebas (1) dengan kondisi kerapatan 0.

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = \frac{V_A - 0}{D_A - 0} = u_A \quad (3.7)$$

2. Gelombang kejut diam pemulihan, ω_{DB}

Gelombang kejut ini terjadi akibat bertemunya dua kondisi kerapatan, yaitu kondisi macet (2) dengan kondisi kerapatan 0.

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = \frac{0-0}{0-0} = 0 \quad (3.8)$$

3. Gelombang kejut mundur bentukan, ω_{AB}

   Gelombang kejut ini terjadi akibat bertemunya dua kondisi kerapatan, yaitu kondisi arus bebas (1) dengan kondisi macet (2).

   $$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = \frac{0 - V_A}{D_B - D_A} = \frac{-V_A}{D_B - D_A} \quad (3.9)$$

b. Ketika pintu perlintasan dibuka (t_2)

   Setelah pintu perlintasan dibuka (t_2), arus akan beranjak dari kondisi 0 sampai kondisi arus jenuh. Bertemunya kedua kondisi tersebut menyebabkan 2 gelombang kejut baru,, yaitu

   1. Gelombang kejut maju bentukan, ω_{DC}

      Gelombang kejut ini terjadi akibat bertemunya kembali dua kondisi kerapatan, yaitu kondisi kerapatan 0 bertemu kembali dengan kondisi kerapatan yang sedikit lebih rendah (3).

      $$\omega_{DC} = \frac{V_D - V_C}{D_D - D_C} = \frac{0 - V_C}{0 - D_C} = u_C \quad (3.10)$$

   2. Gelombang kejut mundur pemulihan, ω_{BC}

      Gelombang kejut ini berada di depan daerah yang macet dan terjadi akibat bertemunya dua kondisi kerapatan, yaitu kondisi macet (2) dengan kondisi kerapatan yang sedikit lebih rendah (3).

      $$\omega_{BC} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{-V_C}{D_B - D_C} \quad (3.11)$$

Selang waktu antara t_2 sampai t_3 dapat dihitung dengan rumus :

$$t_3 - t_2 = r.\left|\frac{\omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}}\right| \quad (3.12)$$

Dimana r adalah lama waktu penutupan pintu perlintasan. Maka panjang antrian maksimum akan terjadi pada waktu t3, yang dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_m = \frac{r}{3600}.\left|\frac{\omega_{BC}.\omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}}\right| \quad (3.13)$$

Kemudian, pada saat t3 kondisi kepadatan yang baru pulih dari kemacetan (kecepatan lambat) perlahan mulai berubah menuju kondisi kepadatan pada arus bebas. Sehingga terbentuk gelombang kejut baru, yaitu gelombang kejut maju pemulihan (ωAC).

$$\omega AC = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} \quad (3.14)$$

Periode waktu dari mulai pintu perlintasan dibuka sampai dengan waktu dimana arus sudah pulih ke keadaan arus bebas disebut waktu penormalan yang dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$t_4 - t_2 = \frac{r.\ \omega_{AB}}{(\omega_{BC} - \omega_{AB})} \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{AC}} + 1 \right| \quad (3.15)$$

Dari hasil t3 – t2 dapat dihitung jumlah kendaraan yang mengalami antrian dengan rumus berikut.

$$N = (r + t_{3-2}).V_A \quad (3.16)$$

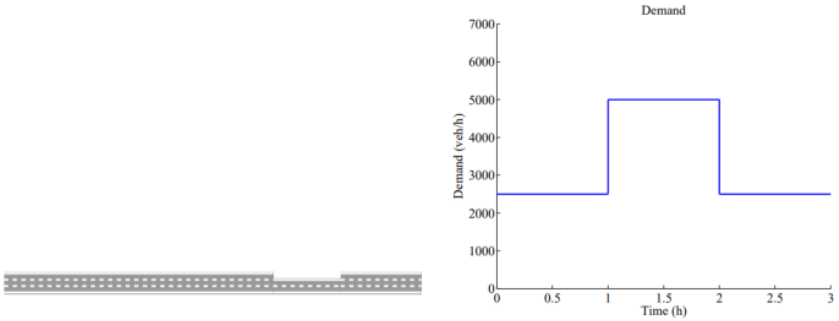
Dari hasil perhitungan N, dapat dihitung tundaan yang terjadi.

$$T = \frac{1}{2}.r.N \quad (3.17)$$

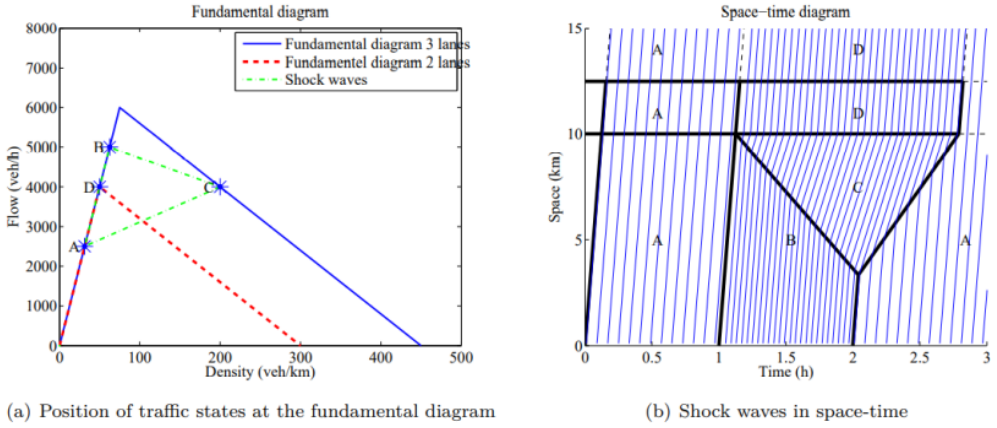
3.4.4 Gelombang Kejut Akibat Penyempitan Jalan

Penyempitan jalan adalah kondisi pada suatu bagian jalan dimana kapasitas lalu lintas sesudahnya (*downstream*) lebih kecil dari kapasitas lalu lintas sebelumnya (*upstream*). Arus yang berubah dari arus bebas (*Uninterrupted Flow*) menjadi arus yang terganggu (*Interrupted Flow*) akan mengakibatkan terjadinya penurunan kecepatan dan bertambahnya kerapatan antar kendaraan (Indrajaya, 2002).

Gelombang kejut yang terjadi pada penyempitan jalan sedikit berbeda pada gelombang kejut yang terjadi pada perlintasan kereta api. Pada gelombang kejut akibat penyempitan jalan, tundaan yang terjadi tidak langsung mengakibatkan kendaraan pada daerah *upstream* berhenti total seperti pada saat penutupan pintu perlintasan kereta api. Namun jika arus yang melewati bagian jalan yang menyempit telah melewati batas kapasitasnya, maka kecepatan akan mendekati 0 dan terbentuklah antrian. Gelombang kejut pada jalan menyempit dapat digambarkan dalam diagram fundamental arus-kecepatan dan diagram ruang-waktu seperti pada Gambar 3.6 dan 3.7 berikut.



Gambar 3. 6 Situasi dan Pola Permintaan Gelombang Kejut Akibat Penyempitan Jalan
(Sumber: uomustansiriyah.edu.iq, 2021)



Gambar 3. 7 Gelombang Kejut Akibat Penyempitan Jalan pada Diagram Fundamental Arus-Kepadatan dan Diagram Ruang-Waktu
(Sumber: uomustansiriyah.edu.iq, 2021)

Pada Gambar 3.7 b, daerah A adalah ketika nilai arus bebas yang melewati bagian penyempitan jalan (jalan dua lajur) masih di bawah kapasitas penyempitan jalan. Namun jika terdapat arus yang lebih besar seperti pada daerah B, kepadatan akan bertambah dan lama kelamaan kecepatan kendaraan pada daerah *upstream* akan berkurang. Kendaraan yang berkurang kecepatannya ini direpresentasikan oleh daerah C. Kemudian, kendaraan tersebut melewati bagian penyempitan jalan (daerah D) dengan kecepatan yang sama seperti arus bebas. Hal ini dimungkinkan karena arus yang lewat pada daerah jalan dua lajur belum melebihi kapasitas.

3.6 Uji Statistik

3.6.1 Uji Koefisien Determinasi (*R square*)

R Square atau koefisien determinasi adalah ukuran yang menunjukkan seberapa baik suatu model regresi dapat menjelaskan variasi dalam data yang diteliti. Pengujian ini memungkinkan penentuan seberapa baik hubungan antara variabel independen dan variabel dependen dapat dijelaskan oleh model regresi. Untuk menentukan hubungan antara arus dan kepadatan lalu lintas, kita dapat menggunakan koefisien determinasi untuk menentukan seberapa baik model regresi menjelaskan hubungan antara kedua variabel tersebut. Nilai koefisien determinasi dapat dihitung dengan mengkuadratkan koefisien relasi yang dapat dilihat pada Persamaan (3.18 berikut.

$$R = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{\{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2\}\{n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2\}}} \quad (3.18)$$

3.6.2 Uji T (*Student's Test*)

Uji T adalah salah satu uji statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis tentang rata-rata dari suatu sampel. Uji ini didasarkan pada teorema probabilitas yang dikenal sebagai teorema central limit, yang menyatakan bahwa jika sampel yang diambil dari suatu populasi memiliki ukuran yang cukup besar, maka distribusi rata-rata dari sampel tersebut akan mendekati distribusi normal. Dengan menggunakan teorema ini, uji T dapat digunakan untuk menentukan apakah rata-rata dari sampel tersebut signifikan berbeda dari rata-rata populasi.

Dalam konteks model hubungan arus-kepadatan, uji t dapat digunakan untuk menguji hipotesis tentang hubungan antara arus kecepatan dan kepadatan lalu lintas. Salah satu cara untuk menguji hipotesis bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan adalah linear dengan menggunakan uji T.

Uji T dilakukan dengan membandingkan nilai T hasil hitungan dengan nilai T dari tabel nilai kritis distribusi T. Nilai T hitungan dihitung dengan mencari perbedaan antara rata-rata variabel bebas dan tidak bebas dengan variasi sampel pada masing-masing kedua variabel tersebut. Nilai T hitungan adalah ukuran yang

menunjukkan seberapa jauh rata-rata sampel dari nilai yang diharapkan dalam populasi.

Uji T regresi dihitung dengan rumus seperti pada Persamaan (3.19 berikut.

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (3.19)$$

atau

$$t = \frac{b}{sb} \quad (3.20)$$

dengan:

b = koefisien regresi,

Sb = *standard error*,

r = koefisien korelasi sederhana, dan

n = jumlah data.

Kemudian, dari nilai uji T, dilakukan pengambilan keputusan hipotesis dengan dasar sebagai berikut.

1. Apabila t hitung > t tabel, maka H_0 diterima
2. Apabila t hitung < t tabel, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima

dengan:

H_0 = Kedua sampel sama secara signifikan atau terdapat pengaruh variabel X terhadap variabel Y, dan

H_1 = Kedua sampel berbeda secara signifikan atau tidak terdapat pengaruh variabel X terhadap variabel Y.

3.7 Simulasi Lalu Lintas dengan *Software VISSIM*

VISSIM adalah program simulasi mikroskopik yang berbasis time step dan perilaku yang digunakan untuk memodelkan lalu lintas perkotaan multi-moda, termasuk mobil, angkutan barang, bus, kereta berat, tram, LRT, sepeda motor, sepeda, dan pejalan kaki. *VISSIM* menggunakan pendekatan mikroskopik pada lalu lintas. Parameter mikroskopik adalah parameter yang menggambarkan perilaku setiap kendaraan dalam lalu lintas yang saling mempengaruhi. Pendekatan mikroskopik terhadap lalu lintas menjelaskan kondisi kendaraan secara terpisah, menjelaskan bahwa gerakan kendaraan sangat dipengaruhi oleh perilaku individu

kendaraan tersebut. Pendekatan mikroskopik mengkaji beberapa parameter penting yang sangat mempengaruhi respon terhadap kendaraan itu sendiri dalam lalu lintas di jalan raya (Untoro, dkk, 2022).

Pada prinsipnya, hasil output pemodelan dengan metode apapun perlu divalidasi dengan pendekatan dengan metode lain ataupun dengan data pengamatan lapangan. Hal ini bertujuan untuk berusaha mendapatkan skenario dan hasil yang semirip mungkin dengan apa yang terjadi di lapangan. Sehingga pada penelitian ini, *VISSIM* digunakan untuk menguji dan sebagai bahan validasi hasil analisis panjang antrian dengan metode analisis gelombang kejut.

Fenomena perubahan tingkat kepadatan pada perlintasan sebidang dan penyempitan jalan dapat dianalogikan sebagai adanya insiden pada jalan raya. Lama penutupan palang pintu perlintasan sebidang dianggap sebagai lama insiden terjadi. Sedangkan pada penyempitan jalan, durasi saat nilai arus *demand* pada bagian jalan yang menyempit lebih besar dibandingkan kapasitasnya dianggap sebagai lama insiden terjadi. Dalam hal ini, simulasi lalu lintas merupakan salah satu cara untuk mendapatkan model dari insiden yang terjadi di lapangan. Hasil analisis dari pemodelan hubungan arus-kepadatan terpilih yang didapatkan dari survei di lapangan dapat diproyeksikan sebagai input ke dalam simulasi *software VISSIM*. Hasil panjang antrian yang dihasilkan dari metode analisis gelombang kejut selanjutnya, dibandingkan dengan hasil panjang antrian yang dihasilkan dari simulasi dengan *software VISSIM*.

Tahap simulasi dalam penelitian ini menggunakan VISSIM terdiri dari:

1. Pembangunan jaringan jalan;
2. Identifikasi materi pemodelan, termasuk volume dan kecepatan lalu lintas, komposisi kendaraan, dan distribusi kecepatan yang diinginkan;
3. Setelah materi siap, model vissim dibangun;
4. Terdapat dua komponen sebagai input untuk model vissim, yaitu input kendaraan dan perilaku mengemudi yang terdiri dari mengikuti (*following*), mengganti jalur (*lane change*), dan lateral;

5. Bersama dengan distribusi kecepatan yang diinginkan, perilaku mengemudi menjadi parameter yang di-kalibrasi untuk mendekati kondisi lalu lintas yang sebenarnya;
6. Model dijalankan untuk mendapatkan output seperti volume lalu lintas yang tersimulasikan, kecepatan lalu lintas rata-rata, tingkat pelayanan (*LOS*), penundaan, dan panjang antrian. (Untoro, dkk, 2022)

3.7.1 Kalibrasi Parameter *Driving Behaviour*

Proses kalibrasi dimaksudkan untuk menyesuaikan perilaku lalu lintas pada model simulasi dengan perlilaku lalu lintas yang terjadi sebenarnya di lapangan. Kalibrasi dilakukan dengan memasukkan hasil survei di lapangan sebagai *input* parameter-parameter yang terdapat dalam *software VISSIM*. *Input* parameter *VISSIM* yang digunakan dalam penelitian ini adalah jarak rata-rata antar kendaraan (*space*) pada parameter *driving behaviour*.

3.7.2 Validasi dengan nilai *GEH* dan *MAPE*

Model simulasi lalu lintas pada *software VISSIM* juga perlu divalidasi. Tujuan validasi adalah untuk memeriksa kesesuaian nilai *output* dari model yang disimulasikan terhadap nilai *input* yang dimasukkan ke dalam *software*. Validasi

1. Uji *GEH* (*Geoffrey E. Havers*)

   GEH (singkatan nama dari penemu, (*Geoffrey E. Havers*) adalah sebuah uji statistik *chi-square* yang dimodifikasi yang digunakan untuk memeriksa kebenaran dari proses kalibrasi. Validasi menggunakan nilai *GEH* mempertimbangkan baik perbedaan relatif maupun perbedaan absolut antara dataset yang disimulasikan dan dataset yang diamati. Nilai yang dapat divalidasi dengan uji *GEH* adalah nilai *input* dan *output* arus lalu lintas per jam.

$$GEH = \sqrt{\frac{2 \text{ x } (V_{simulated} - V_{observed})^2}{(V_{simulated} + V_{observed})}} \quad (3.21)$$

   dengan:

   GEH = nilai validasi *GEH* (%),

   V simulated = nilai arus *input VISSIM* (kendaraan/jam), dan

   V observed = nilai arus *output VISSIM* (kendaraan/jam).

Berikut ini merupakan kriteria validasi dengan nilai *GEH*.

a. Nilai *GEH* < 5 mengindikasikan kecocokan antara pengukuran dari simulasi dengan pengukuran dari observasi sehingga model dapat diterima.
b. Nilai GEH > 5 dan < 10 membutuhkan pemeriksaan model dan data lebih lanjut.
c. Nilai *GEH* > 10 dianggap memiliki kecocokan yang buruk sehingga model ditolak.

2. Uji *MAPE* (*Mean Absolute Percentage Error*)

Uji *MAPE* (Mean Absolute Percentage Error) adalah metode yang digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan atau akurasi suatu model prediksi atau perkiraan. *MAPE* mengukur selisih persentase antara nilai aktual dan nilai prediksi, dan kemudian menghitung rata-rata dari selisih-selisih tersebut.

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|A_i - F_i|}{A_i} \quad (3.22)$$

dengan:

MAPE = rata-rata persentase kesalahan absolut (%),

A_i = nilai aktual,

F_i = nilai ramalan, dan

n = jumlah data yang diobservasi.

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Survei Pendahuluan

Sebelum dilakukan survei utama (survei lalu lintas), perlu dilakukan survei pendahuluan atau *pilot survey* terlebih dahulu. Survei pendahuluan adalah survei berskala kecil yang dilakukan untuk mendukung jalannya survei utama sebagai pertimbangan dalam menentukan ukuran sampel yang diamati. Survei pendahuluan yang dilakukan pada penelitian ini adalah untuk ;

- Menentukan arah lajur yang ditinjau berdasarkan volume LHR terbesar
- Menentukan periode waktu pengamatan berdasarkan volume jam puncak
- Menentukan panjang penggal jalan yang diamati berdasarkan perkiraan kecepatan rata-rata
- Meninjau posisi surveyor pada lokasi pengamatan

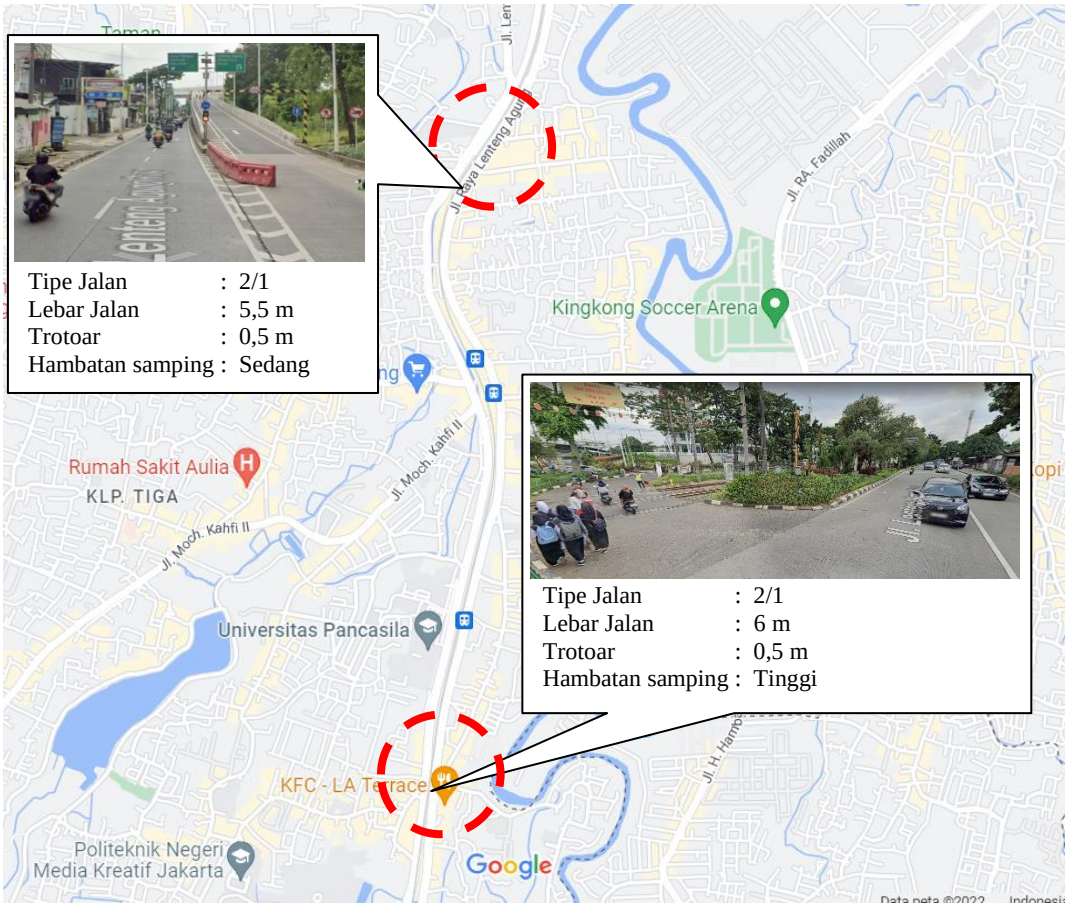
Survei pendahuluan dilakukan dengan mengumpulkan data dari instansi terkait, yaitu Dishub Provinsi DKI Jakarta berupa data volume Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR) pada ruas Jalan Raya Lenteng Agung. LHR menjadi data sekunder pada penelitian ini untuk mencari volume jam puncak yang dijadikan pertimbangan periode waktu pengamatan.

4.2 Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini, terdapat dua lokasi yang berjarak 2,7 km dimana studi karakteristik lalu lintas dilakukan yang keduanya bersama-sama masih berada dalam ruas Jalan Raya Lenteng Agung. Alasan pemilihan dua lokasi penelitian adalah karena pada kedua lokasi memiliki jenis hambatan yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini berusaha membandingkan bagaimana pengaruh hambatan-hambatan tersebut terhadap kepadatan dan antrian kendaraan yang terjadi.

Lokasi pertama berada di depan *on ramp flyover* tapal kuda Lenteng Agung. Sedangkan lokasi kedua berada pada *u-turn* perlintasan sebidang kereta api. Pada

kedua lokasi tersebut, survei lalu lintas dilakukan pada masing-masing dua titik pengamatan arus lalu lintas dan kecepatan rata-rata yang jaraknya ditentukan sedemikian mungkin berdasarkan hasil survei pendahuluan. Pada lokasi *on ramp flyover*, titik pengamatan pertama dapat merekam kecepatan arus bebas sebelum *on ramp flyover*. Sedangkan titik pengamatan kedua terletak pada ruas Jalan Raya Lenteng Agung sesudah bagian *on ramp*. Begitu juga dengan lokasi *u-turn* perlintasan sebidang kereta api, titik pengamatan pertama terletak pada titik dimana kendaraan masih dapat melaju kecepatannya dengan bebas atau setidaknya terletak sebelum *rumble strips* perlintasan kereta api. Kemudian, untuk titik pengamatan kedua terletak pada garis henti perlintasan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian pada Jalan Raya Lenteng Agung
(Sumber: *Google Street*, 2022)

4.3 Waktu Pengamatan

Survei lalu lintas dilakukan selama 2 hari yang dibagi ke dalam dua lokasi pengamatan. Survei lalu lintas dilakukan di lokasi pertama yaitu *on ramp flyover* IISIP dan lokasi kedua yaitu perlintasan sebidang putaran pancasila. Dalam suatu minggu dipilih dua hari pengamatan. Kedua hari tersebut mengacu pada data LHR di ruas Jalan Raya Lenteng Agung, yaitu volume terbesar pada hari kerja (Senin – Jum'at) dan volume terbesar pada hari libur (Sabtu – Minggu). Durasi waktu pengamatan adalah 3 jam yang terdiri dari 1 jam sebelum jam puncak dan 1 jam setelah jam puncak. Terdapat 3 jam puncak yang ditinjau dalam satu hari yang dibagi menjadi 3 periode, yaitu periode pagi, siang, dan sore. Jam puncak tersebut ditentukan berdasarkan data volume lalu lintas harian rata-rata yang diperoleh dari Dishub Provinsi DKI Jakarta.

4.4 Surveyor dan Peralatan

Untuk menunjang kebutuhan pada saat survei pengumpulan data, maka dibentuk suatu tim survei. Tim tersebut dibagi di dua lokasi titik pengamatan. Alat-alat yang dibutuhkan selama berlangsungnya survei adalah sebagai berikut.

1. *Video camera + tripod*, untuk merekam kendaraan yang lewat dan waktu tempuh kendaraan.
2. Meteran, untuk mengukur geometrik jalan dan panjang segmen jalan yang diamati
3. Alat penanda, untuk menandai titik awal dan akhir segmen jalan yang diamati. Dapat berupa lakban.
4. *Video player*, untuk memutar kembali rekaman video segmen jalan yang diamati.
5. *Hand counter,* untuk memudahkan dalam perhitungan jumlah kendaraan yang melewati titik akhir segmen.
6. Formulir survei, berupa tabel volume dan waktu tempuh kendaraan yang dibagi setiap 15 menit dan dibedakan berdasarkan jenis kendaraan, yaitu kendaraan kecil/penumpang (*LV*), kendaraan berat (*HV*), dan sepeda motor (*MC*).
7. Alat tulis untuk mencatat data.

8. *Bushnell speed radar gun*, apabila diperlukan untuk menghitung kecepatan setempat yang berupa kecepatan rata-rata waktu sebagai pembanding kecepatan rata-rata jarak.

4.5 Data Penelitian

4.5.1 Data Geometrik Jalan

Data geometrik jalan digunakan sebagai input parameter *VISSIM* untuk dilakukan simulasi lalu lintas untuk memvalidasi data perhitungan panjang antrian menggunakan metode *shock wave analyisis*. Data geometrik jalan meliputi :

1. Lebar jalan
2. Jumlah dan lebar masing-masing lajur
3. Lebar trotoar dan pemisah arus
4. Jarak titik pengamatan
5. Denah lokasi pengamatan
6. Jumlah rambu pengendali kecepatan dan *rumble strips*.

4.5.2 Durasi Penutupan Palang Pintu Perlintasan

Durasi terjadinya hambatan pada ruas jalan akibat adanya perlintasan kereta api didefinisikan sebagai lamanya palang pintu perlintasan menutup. Ketika palang pintu ditutup, arus lalu lintas pada ruas jalan sebelum perlintasan akan mendekati 0. Penutupan ini akan mengakibatkan antrian. Ketika palang pintu terbuka, antrian akan mengalami penguraian. Namun, jika waktu antar kereta yang datang terlalu cepat, antrian tidak akan terurai sepenuhnya.

4.5.3 Data Arus Lalu Lintas

Survei arus lalu lintas yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan data volume kendaraan 15 menitan selama 3 jam pada waktu volume jam puncak yang telah ditentukan. Data arus lalu lintas yang didapat digunakan dalam penentuan model hubungan arus-kecepatan-kepadatan untuk mendapatkan nilai :

1. Arus dan kepadatan pada saat kecepatan arus bebas (V_A, D_A)
2. Arus jenuh dan kepadatan jenuh (V_C, D_C)
3. Arus dan kepadatan pada saat macet total / *traffic jam* (*Vj*, *Dj*)

Data arus lalu lintas diperoleh dengan mencatat jumlah kendaraan yang dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu kendaraan pribadi (*LV/Light* Vehicle), bus dan truk (*HV/Heavy* Vehicle), dan sepeda motor (*MC/*Motorcycle).

4.5.4 Data Kecepatan Rata-Rata Jarak

Kecepatan rata-rata jarak adalah rata-rata dari waktu tempuh yang dibutuhkan beberapa kendaraan untuk melewati suatu segmen jalan yang diamati dibagi dengan panjang segmen tersebut. Survei ini bertujuan untuk mendapatkan data banyaknya kecepatan rata-rata kendaraan yang melewati segmen jalan yang diamati setiap 15 menit dalam rentang waktu 3 jam.

Panjang segmen jalan yang diamati untuk studi kecepatan rata-rata jarak ditentukan berdasarkan hasil survei pendahuluan, yaitu perkiraan kecepatan rata-rata. Ramadhan (2017) dan Malau (2016) menentukan panjang jalan untuk studi kecepatan rata-rata jarak berdasarkan pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Rekomendasi Panjang Jalan Untuk Studi Kecepatan Setempat

Perkiraan kecepatan rata-rata arus lalulintas (km/jam)	**Penggal jalan (m)**
< 40	25
40 – 65	50
> 65	75

Sumber: Ramadhan (2017) dan Malau (2016)

Setelah penggal jalan yang diamati ditentukan, sampel data berupa waktu tempuh kendaraan sejumlah 30 sampel dirata-rata sesuai dengan periode waktu 15 menit. Setelah dirata-rata, waktu tempuh rata-rata setiap 15 menit kemudian dibagi dengan panjang penggal jalan pengamatan. Hasilnya lalu dikalikan dengan koefisien 3,6 untuk mengkonversi satuan m/s ke dalam satuan km/jam. Persamaan kecepatan rata-rata jarak dapat dilihat pada Persamaan 4.1 berikut.

$$S_{06.00-06.15} = \left[\frac{d}{\sum_i \left(\frac{t_i}{n}\right)}\right] {}^{m}/_{s} \times \frac{{}^{1}/_{1000}}{{}^{1}/_{3600}} \quad (4.1)$$

dengan:

S = Kecepatan rata-rata jarak, dan

d = Panjang penggal jalan.

4.5.5 Data Spasi Kendaraan Rata-Rata

Data spasi atau jarak antar kendaraan rata-rata dikumpulkan sebagai input parameter *driving behaviour* dalam pemodelan lalu lintas dengan perangkat lunak *VISSIM*. Parameter *driving behaviour* mempengaruhi perilaku antar kendaraan pada simulasi model dengan *VISSIM*. Simulasi dilakukan untuk mewakili kondisi di lapangan sebagai pembanding hasil panjang antrian yang dihasilkan dari metode analisis gelombang kejut. Survei jarak antar kendaraan perlu dilakukan agar model yang disimulasikan oleh *VISSIM* menunujukkan kesesuaian dengan kondisi yang sebenarnya terjadi di lapangan (terkalibrasi).

4.6 Metode Pengumpulan Data

4.6.1 Metode Pengumpulan Data Primer

1. Data arus lalu lintas

   Hal-hal yang perlu diperhatikan selama survei arus adalah sebagai berikut.

   a. Pengamatan arus lalu lintas dilakukan dengan bantuan alat perekam video yang merekam kondisi segmen jalan dengan panjang yang ditentukan dari survei pendahuluan. Arah pandangan dan ketinggian kamera diatur sedemikian rupa sehingga segmen jalan yang diamati seluruhnya dapat terlihat dengan jelas.
   b. Jalan diberi penanda titik awal dan akhir dari segmen dan diusahakan kedua tanda tersebut juga terlihat jelas pada kamera video.
   c. Pencatatan kendaraan dilakukan dengan memutar kembali video rekaman kondisi segmen jalan.
   d. Kendaraan dihitung ketika menginjak tanda dari titik akhir segmen jalan yang diamati.
   e. Jumlah kendaraan setiap 15 menit kemudian, dicatat ke dalam form pengamatan arus.
   f. Pencatatan data arus lalu lintas diklasifikasikan menjadi 3 jenis kendaraan yang disurvei, yaitu kendaraan ringan (*LV*), kendaraan berat (*HV*), dan sepeda motor (*MC*).

2. Data kecepatan rata-rata jarak

Tata cara untuk survei kecepatan rata-rata jarak adalah sebagai berikut.

a. Sama halnya dengan survei arus, survei kecepatan dilakukan dengan mengamati rekaman video kondisi segmen jalan.
b. Survei dilakukan dengan mencatat waktu tempuh yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati segmen jalan yang diamati. Waktu tempuh mulai dihitung ketika kendaraan menginjak tanda titik awal segmen sampai dengan kendaraan menginjak tanda titik akhir segmen.
c. Adakalanya terdapat lebih dari satu kendaraan yang melewati segmen jalan secara bersamaan dan membentuk konvoi atau peleton (jaraknya cukup rapat). Sehingga sulit untuk mencari perbedaan waktunya. Maka kendaraan paling depan dari suatu peleton tersebut dijadikan sampel dengan asumsi kendaraan kedua dan selanjutnya, selisih waktu tempuhnya tidak terlalu besar dari kendaraan pertama dan tidak dapat menyiap. Namun apabila jaraknya masih cukup renggang dan perbedaan waktu tempuh masih dapat terhitung, maka semua kendaraan dijadikan sampel.

3. Data geometrik jalan

   Pengambilan data geometrik jalan dilakukan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung menggunakan meteran. Selain itu, data geometrik juga dapat diperoleh dari instansi terkait seperti Dishub Provinsi DKI Jakarta, PT. PP Persero selaku kontraktor pelaksana dan PT. Intimulya Multikencana selaku konsultan lalu lintas pada pembangunan *flyover* Lenteng Agung.

4. Data lama penutupan palang pintu perlintasan kereta api

   Lama waktu penutupan yang diukur dimulai ketika palang pintu perlintasan bergerak menutup dengan sudut 45° sampai palang bergerak membuka kembali dengan sudut 45°. Hal ini dikarenakan adanya asumsi bahwa sudut 45° merupakan saat dimana semua kendaraan mulai memberhentikan kendaraannya pada saat palang ditutup dan mulai bergerak maju melewati perlintasan pada saat palang dibuka.

5. Data spasi kendaraan rata-rata

   Survei spasi kendaraan dilakukan dengan mengamati jarak antar kendaraan baik secara horizontal (kiri-kanan) maupun vertikal (depan-belakang). Teknis

survei adalah dengan mengamati jarak kendaraan saat berjalan dan kendaraan saat berhenti dengan memberi tanda bantu berupa *double tape* pada aspal. Jarak kendaraan yang diamati kemudian diukur menggunakan meteran dan dicatat.

4.6.2 Metode Pengumpulan Data Sekunder

1. Volume lalu lintas harian rata-rata (LHR)

   Data volume LHR yang diperoleh berasal dari Dishub Provinsi DKI Jakarta yang memuat volume LHR pada ruas Jalan Raya Lenteng Agung arah Depok. Dari data ini dapat diketahui volume jam puncak yang berguna untuk menentukan waktu dan durasi pengamatan.

2. Jadwal kedatangan kereta api

   Jadwal kedatangan kereta api yang diperoleh dari instansi terkait berasal dari PT. KAI (Kereta Api Indonesia). Jadwal kedatangan yang diperoleh adalah jadwal kedatangan dan data kereta api yang melewati perlintasan sebidang *u-turn* Pancasila.

4.7 Pengambilan dan Analisis Data

4.7.1 Rincian Pengambilan Data

1. Lokasi Surveyor

   Surveyor yang dibutuhkan dalam penelitian ini berjumlah 4 orang yang masing ditempatkan di 4 titik lokasi pengamatan sebagai berikut.

   a. *Bottleneck on-ramp Flyover* Lenteng Agung-IISIP;
   b. 50 m sebelum *Bottleneck on-ramp Flyover* Lenteng Agung-IISIP;
   c. Palang Pintu Perlintasan Rel Kereta Api Universitas Pancasila;
   d. 130 m sebelum Palang Pintu Perlintasan Rel Kereta Api Universitas Pancasila.

2. Waktu Survei

   Survei dilaksanakan selama 2 hari yaitu pada hari Senin yang mewakili hari kerja terpadat dan hari Sabtu yang mewakili hari libur terpadat.

3. Periode Survei

   a. Periode Pagi (Pukul 06.00-09.00) WIB;
   b. Periode Siang (Pukul 11.00-14.00) WIB;

c. Periode Sore (Pukul 16.00-19.00) WIB.

4. Data yang disurvei
   a. Data arus lalu lintas;
   b. Data kecepatan rata-rata jarak;
   c. Data geometrik jalan;
   d. Data lama penutupan palang pintu perlintasan kereta api;
   e. Data spasi kendaraan rata-rata.

4.7.2 Rencana Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini meliputi analisis regresi linear, analisis gelombang kejut, dan simulasi pemodelan lalu lintas. Analisis regresi linear dan analisis gelombang kejut dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Sedangkan simulasi pemodelan lalu lintas dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *VISSIM* yang diharapkan dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya yang terjadi di lapangan. Berikut merupakan langkah-langkah analisis data yang ditempuh pada penelitian ini.

1. Mengolah data primer arus dan kecepatan dengan mengkonversi arus ke dalam satuan mobil penumpang (smp) serta mencari volume jam puncak dengan menjumlahkan 4 data arus 15 menitan secara kumulatif. Sedangkan data kecepatan rata-rata jarak dicari rata-rata 30 sampel waktu tempuh yang dibagi dengan panjang penggal jalan yang diamati (50 m). Kemudian dicari lagi rata-rata kumulatif kecepatan dari 4 data kecepatan 15 menit. Nilai EMP arus mengacu pada PKJI 2023 yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 EMP Untuk Jalan Perkotaan Terbagi

Tipe Jalan	Volume lalu-lintas per lajur (kend/jam)	HV	MC
4/2-T atau 2/1	≤ 1050 ≥ 1050	1,3 1,2	0,40 0,25
6/2-T atau 3/1 **8/2-T atau 4/1**	≤ 1100 ≥ 1100	1,3 1,2	0,40 0,25

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2023)

2. Menganalisis model hubungan terbaik antara arus dan kepadatan dengan analisis regresi. Model hubungan yang dianalisis regresi dibedakan menjadi 3 model yaitu model hubungan yang linear (*Greenshields*), logaritmik

(*Greenberg*), dan eksponensial (*Underwood*). Kemudian model hubungan terbaik ditentukan dengan meninjau koefisien determinasi terbesar dari masing-masing model.

3. Menganalisis kecepatan gelombang kejut yang terjadi pada model hubungan. Kecepatan gelombang kejut dicari dengan melihat kemiringan dari garis yang ditarik dari titik kondisi arus normal ke kondisi arus di hilir yang mengalami jenis hambatan yang berbeda yaitu penyempitan atau perlintasan sebidang kereta api. Persamaan kecepatan gelombang kejut yang dianalisis pada penelitian ini dapat dilihat pada persamaan 4.2 sampai 4.4 berikut.

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = \frac{0 - V_A}{D_B - D_A} = \frac{-V_A}{D_B - D_A} \quad (4.2)$$

$$\omega_{BC} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{-V_C}{D_B - D_C} \quad (4.3)$$

$$\omega_{AC} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} \quad (4.4)$$

4. Menganalisis panjang antrian maksimum akibat kecepatan gelombang kejut dengan persamaan 4.6 berikut.

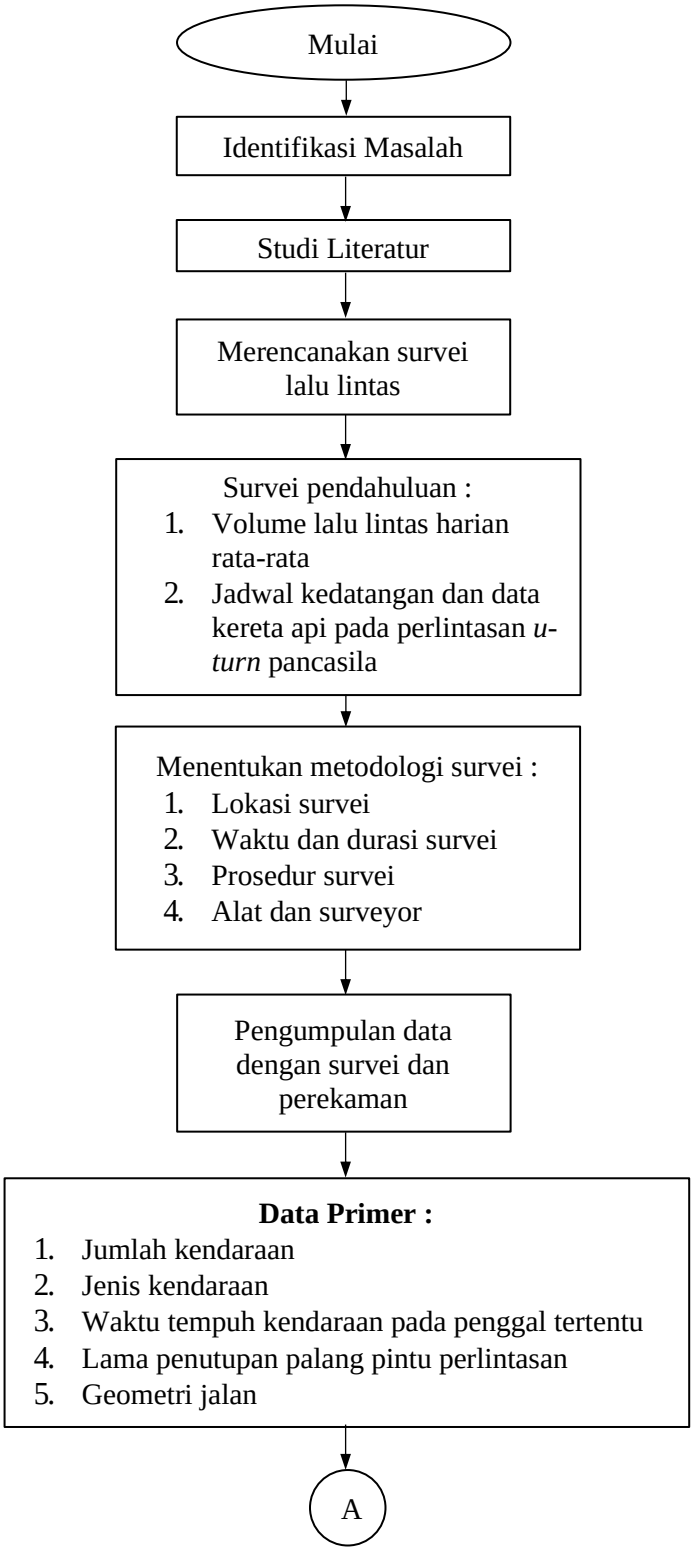
$$Q_m = \frac{r}{3600} \cdot \left| \frac{\omega_{BC} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right| \quad (4.5)$$

5. Membuat pemodelan eksisting jalan dengan perangkat lunak *VISSIM*
6. Menginput parameter lalu lintas pada perangkat lunak *VISSIM*. Parameter yang diinput adalah arus dan kecepatan per jam. Satuan arus yang diinput ke dalam *VISSIM* adalah dalam kendaraan/jam.
7. Melakukan kalibrasi data pemodelan perangkat lunak *VISSIM*. Kalibrasi dilakukan dengan mengubah beberapa nilai parameter mikroskopik *driving behaviour*.
8. Melakukan validasi data pemodelan perangkat lunak *VISSIM*. Validasi pemodelan ditinjau dari nilai *GEH* (*Geoffrey E. Havers*) dari arus dan nilai *MAPE* (*Mean Absolute Percentage Error*) dari panjang antrian. Persamaan *GEH* dan *MAPE* dapat dilihat pada persamaan 4.7 dan 4.8 berikut.

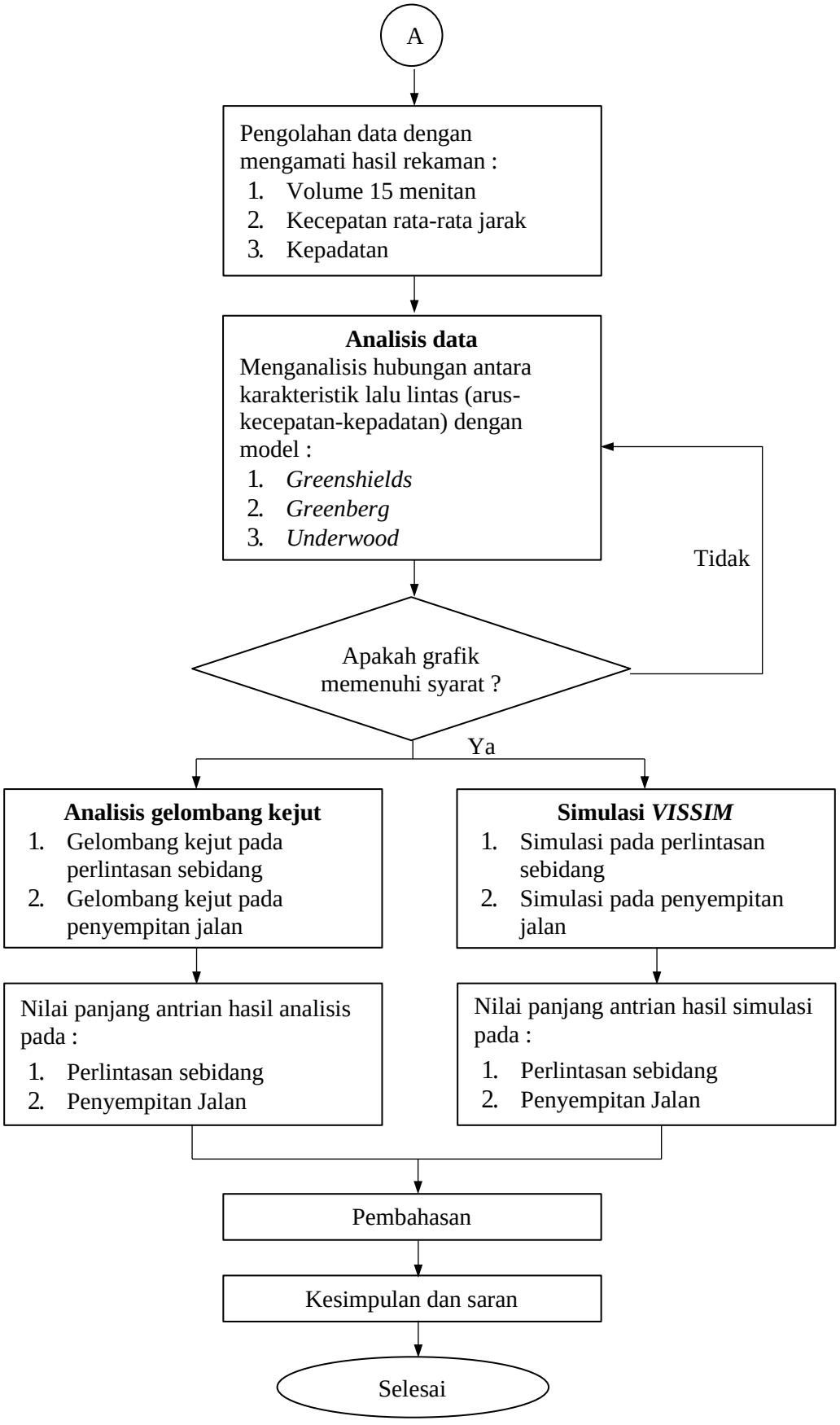
$$GEH = \sqrt{\frac{2 \text{ x } (qsimulated - qobserved)^2}{(qsimulated + qobserved)}} \quad (4.6)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{|A_i - F_i|}{A_i} \quad (4.7)$$

4.8 Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

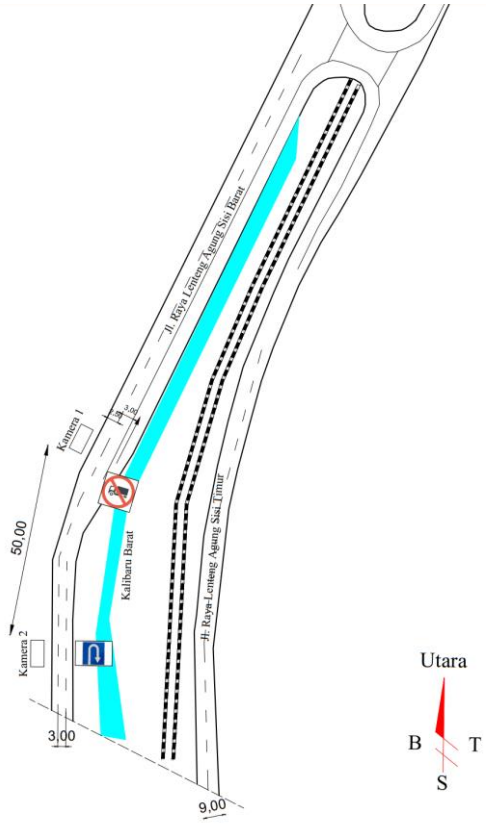


Gambar 4. 3 Lanjutan Bagan Alir Penelitian

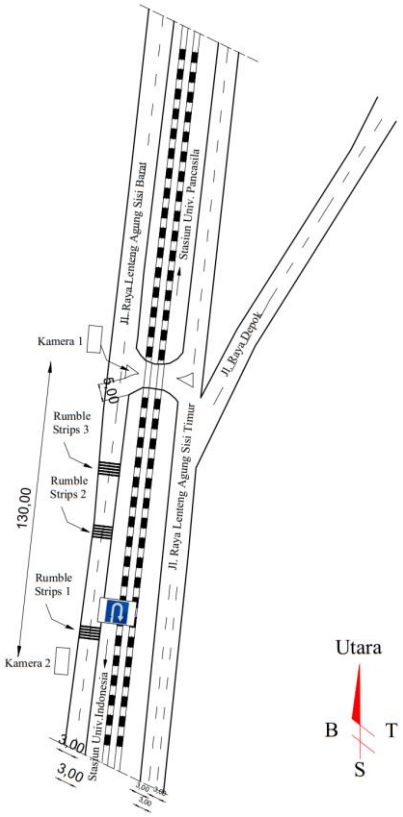
BAB V
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Deskripsi Penelitian

Penelitian ini melakukan analisis gelombang kejut pada dua lokasi yang memiliki jenis hambatan berbeda yang dapat menyebabkan perubahan tingkat kepadatan dan antrian. Jenis hambatan yang terjadi pada lokasi *on-ramp flyover* Lenteng Agung adalah berupa *capacity bottleneck* akibat berkurangnya jumlah lajur sehingga menghasilkan antrian yang masih bergerak meskipun kecepatan kendaraan sangat rendah. Sedangkan pada lokasi perlintasan sebidang kereta api memiliki hambatan yang mengakibatkan kendaraan terhenti sepenuhnya sehingga antrian tidak akan bergerak sama sekali sebelum pintu perlintasan dibuka. Denah lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5. 1 Denah Lokasi Pengamatan 1



Gambar 5. 2 Denah Lokasi Pengamatan 2

Jalan Raya Lenteng Agung memiliki 3 lajur dengan lebar jalan 9 meter yang memiliki 2 arah dan dipisahkan oleh jalur kereta api yaitu sisi Barat dan sisi Timur. Sisi Barat menghubungkan lalu lintas dari arah Depok ke Pasar Minggu dan sisi Timur menghubungkan lalu lintas dari arah sebaliknya. Penentuan hari survei didasarkan pada data LHR Jalan Raya Lenteng Agung sisi Barat yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5. 1 Lalu Lintas Harian Rata-Rata Satu Minggu

No	Hari Tanggal	Kendaraan/Hari
1	Senin, 3 April 2023	154791
2	Selasa, 4 April 2023	151522
3	Rabu, 5 April 2023	139360
4	Kamis, 6 April 2023	136771
5	Jumat, 7 April 2023	106085
6	Sabtu, 8 April 2023	128083
7	Minggu, 9 April 2023	123415

Sumber: Pusat Data dan Informasi Dishub (2023)

Berdasarkan Tabel 5.1 di atas, Jalan Raya Lenteng Agung memiliki jam puncak yang lebih tinggi pada hari Senin di sisi Barat (arah ke Pasar Minggu) setiap harinya dibanding sisi Timur (arah ke Depok). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus untuk menganalisis karakteristik lalu lintas dengan output berupa panjang antrian pada dua lokasi yang sering terjadi perubahan kepadatan di Jalan Raya Lenteng Agung sisi Barat.

5.2 Pengolahan Data

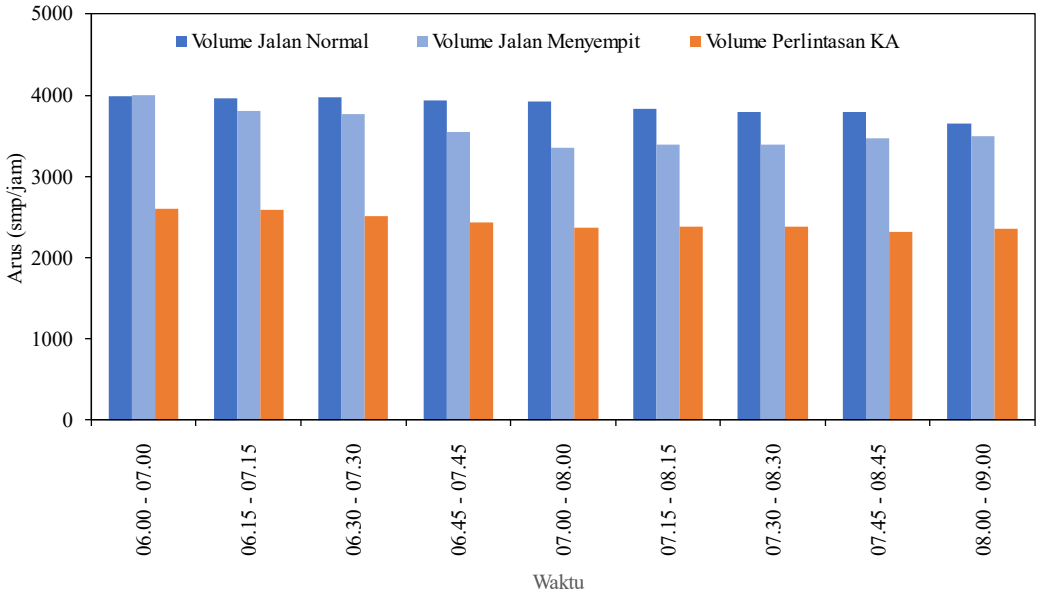
Dalam tahapan analisis pada penelitian ini, digunakan dua jenis data yaitu data primer yang diperoleh langsung dari hasil survei lapangan, serta data pendukung atau data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait. Data primer adalah berupa arus lalu lintas, kecepatan rata-rata jarak kendaraan, durasi penutupan palang pintu kereta api, dan spasi antar kendaraan. Sedangkan Data sekunder berupa volume lalu lintas harian rata-rata di ruas (LHR) Jalan Raya Lenteng Agung dan jadwal kedatangan kereta api di Stasiun Universitas Pancasila yang dapat diperoleh dari website *KAI Commuter Indonesia.*

5.1.1 Arus Lalu Lintas

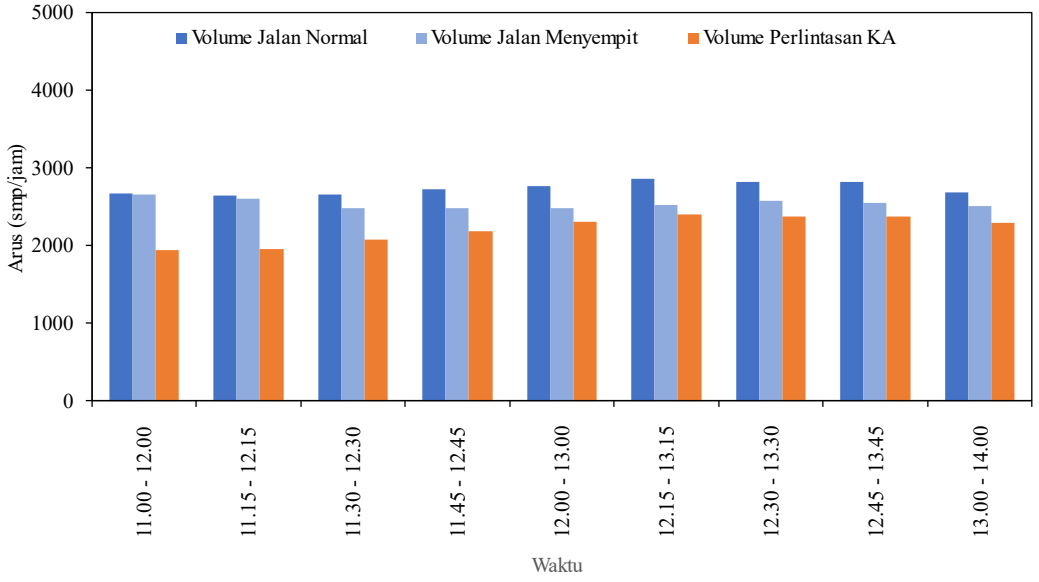
Arus lalu lintas pada 4 titik direkam secara bersamaan menggunakan video kamera selama 3 jam dan dilakukan dalam 3 periode yaitu periode pagi, siang dan sore. Berdasarkan data LHR yang diperoleh dari Pusdatinhub, volume jam puncak terjadi pada hari Senin di hari kerja dan hari Sabtu di hari libur. Volume jam puncak tertinggi terjadi pada hari Senin pagi pukul 07.00. Untuk memperoleh data yang akurat dan cukup memadai, waktu pengamatan dilakukan selama 9 jam yang dibagi menjadi 3 periode yaitu pukul 06.00-09.00, pukul 11.00-14.00, dan pukul 16.00-19.00.

Arus lalu lintas yang telah direkam kemudian dicatat jumlah kendaraan yang melewati titik survei setiap interval 15 menit. Pencatatan dibedakan berdasarkan jenis kendaraan, titik pengamatan, dan waktu pengamatan. Arus yang dicatat kemudian dikonversi ke dalam satuan mobil penumpang (smp) menggunakan nilai ekivalensi mobil penumpang sesuai Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023. Berdasarkan PKJI 2023, nilai EMP sepeda motor ditetapkan 0,25, dan nilai EMP kendaraan berat (bus dan truk) ditetapkan sebesar 1,2.

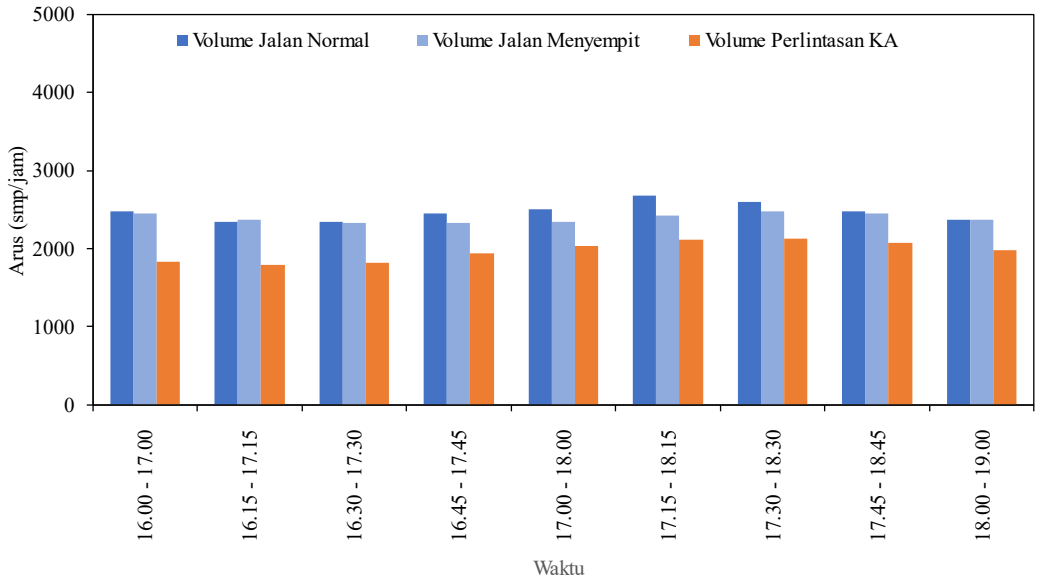
Selanjutnya sejumlah 4 data arus lalu lintas 15 menitan dijumlah secara kumulatif untuk mendapatkan nilai arus selama 1 jam dalam satuan smp/jam. Sebagai contoh, dilakukan penjumlahan arus 15 menitan pada pukul 06.00-07.00, pukul 06.15-07.15, pukul 06.30-07.30, dan seterusnya. Fluktuasi arus dan persentase jenis kendaraan dapat dilihat pada Gambar 5.3 sampai 5.7 berikut.



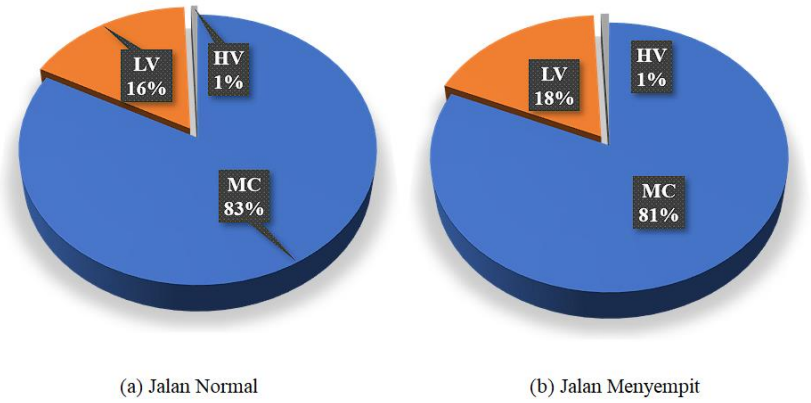
Gambar 5. 3 Fluktuasi Arus pada Hari Senin Periode Pagi



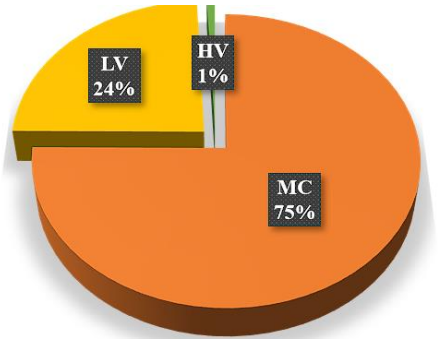
Gambar 5. 4 Fluktuasi Arus pada Hari Senin Periode Siang



Gambar 5. 5 Fluktuasi Arus pada Hari Senin Periode Sore



Gambar 5. 6 *Pie Chart* Komposisi Jenis Kendaraan pada Lokasi Pengamatan 1 Hari Senin



Gambar 5. 7 *Pie Chart* Komposisi Jenis Kendaraan pada Lokasi Pengamatan 2 Hari Senin

5.1.2 Kecepatan Rata-Rata Jarak

Kecepatan rata-rata yang digunakan pada penelitian ini adalah kecepatan rata-rata jarak yang diperoleh dengan membagi jarak penggal jalan yang diamati dengan rata-rata waktu tempuh yang dibutuhkan oleh banyak kendaraan untuk melewati jarak tersebut. Berdasarkan Tabel 4.1, panjang penggal jalan yang perlu diamati adalah sepanjang 50 m. Sampel waktu tempuh kendaraan yang diambil ditetapkan sebanyak 30 sampel setiap 15 menit. Setelah sampel waktu tempuh kendaraan setiap 15 menit dicatat, kemudian dirata-rata sesuai rentang waktu interval arus lalu lintas. Rekapitulasi hasil perhitungan kecepatan rata-rata jarak pada hari Senin di lokasi 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan 5.3 berikut ini.

Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Kecepatan Rata-Rata Jarak Lokasi 1 Senin

Jam	Waktu Tempuh Rata-Rata (detik)		Panjang Segmen Diamati	Kecepatan (km/jam)	
	Titik 1 (Jalan Normal)	Titik 2 (Jalan Menyempit)		Titik 1 (Jalan Normal)	Titik 2 (Jalan Menyempit)
06.00 - 07.00	25,92	18,68	50	7,02	9,70
06.15 - 07.15	26,72	19,77	50	6,76	9,17
06.30 - 07.30	25,99	20,02	50	6,94	9,03
06.45 - 07.45	25,39	19,75	50	7,09	9,15
07.00 - 08.00	25,16	19,91	50	7,16	9,07
07.15 - 08.15	23,32	19,42	50	7,89	9,28
07.30 - 08.30	21,00	18,49	50	8,84	9,88
07.45 - 08.45	18,72	17,29	50	9,85	10,57
08.00 - 09.00	16,46	16,12	50	10,99	11,32
11.00 - 12.00	5,04	8,19	50	36,45	22,45
11.15 - 12.15	5,44	7,26	50	33,94	25,67
11.30 - 12.30	5,73	6,24	50	31,99	29,30
11.45 - 12.45	6,00	6,52	50	30,10	28,43
12.00 - 13.00	5,68	6,58	50	31,88	28,20
12.15 - 13.15	5,46	6,85	50	33,06	26,89
12.30 - 13.30	5,49	7,24	50	32,90	25,03
12.45 - 13.45	5,44	7,00	50	33,19	25,76
13.00 - 14.00	5,62	6,66	50	32,10	27,16

Lanjutan Tabel 5. 2 Hasil Perhitungan Kecepatan Rata-Rata Jarak Lokasi 1 Senin

Jam	Waktu Tempuh Rata-Rata (detik)		Panjang Segmen Diamati	Kecepatan (km/jam)	
	Titik 1 (Jalan Normal)	Titik 2 (Jalan Menyempit)		Titik 1 (Jalan Normal)	Titik 2 (Jalan Menyempit)
16.00 - 17.00	4,93	8,26	50	36,67	21,82
16.15 - 17.15	4,92	8,05	50	36,72	22,47
16.30 - 17.30	5,08	7,61	50	35,84	23,98
16.45 - 17.45	5,33	7,53	50	33,93	24,18
17.00 - 18.00	5,33	7,54	50	33,93	24,16
17.15 - 18.15	5,51	7,82	50	32,85	23,29
17.30 - 18.30	5,22	7,93	50	34,67	22,85
17.45 - 18.45	5,08	7,55	50	35,61	24,08
18.00 - 19.00	5,07	7,00	50	35,69	25,98

Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Kecepatan Rata-Rata Jarak Lokasi 2 Senin

Jam	Waktu Tempuh Rata-Rata (Detik)	Panjang Segmen Diamati	Kecepatan (km/jam)
06.00 - 07.00	20,29	50	8,92
06.15 - 07.15	20,51	50	8,81
06.30 - 07.30	20,79	50	8,68
06.45 - 07.45	20,25	50	8,92
07.00 - 08.00	20,11	50	8,97
07.15 - 08.15	20,47	50	8,81
07.30 - 08.30	20,67	50	8,73
07.45 - 08.45	21,18	50	8,50
08.00 - 09.00	21,05	50	8,55
11.00 - 12.00	6,68	50	31,13
11.15 - 12.15	4,80	50	37,68
11.30 - 12.30	4,83	50	37,49
11.45 - 12.45	4,70	50	38,64
12.00 - 13.00	4,86	50	37,54
12.15 - 13.15	5,04	50	36,07

Lanjutan Tabel 5. 3 Hasil Perhitungan Kecepatan Rata-Rata Jarak Lokasi 2 Senin

Jam	Waktu Tempuh Rata-Rata (Detik)	Panjang Segmen Diamati	Kecepatan (km/jam)
12.30 - 13.30	4,93	50	36,81
12.45 - 13.45	5,25	50	34,38
13.00 - 14.00	5,23	50	34,48
16.00 - 17.00	5,00	50	36,04
16.15 - 17.15	5,14	50	35,04
16.30 - 17.30	5,22	50	34,48
16.45 - 17.45	5,23	50	34,44
17.00 - 18.00	5,27	50	34,18
17.15 - 18.15	5,13	50	35,21
17.30 - 18.30	5,14	50	35,10
17.45 - 18.45	5,15	50	35,06
18.00 - 19.00	5,04	50	35,81

Selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan per jam dengan cara membagi panjang penggal jalan yaitu 50 m dengan rata-rata waktu tempuh per 15 menit dan dikalikan dengan angka 3,6 untuk mengubah satuan m/s ke dalam km/jam. Contoh perhitungan kecepatan rata-rata jarak pada pukul 06.00-06.15 dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini.

$$S_{06.00-06.15} = \left[\frac{d}{\sum_i \left(\frac{t_i}{n}\right)}\right] {}^{m}/_{s} \times \frac{{}^{1}/_{1000}}{{}^{1}/_{3600}} \quad (5.\ 1)$$

dengan:

S = kecepatan rata-rata jarak (kend/km),

d = panjang penggal jalan diamati (m),

t_i = waktu tempuh kendaraan (detik), dan

n = jumlah sampel.

Sehingga didapatkan nilai kecepatan rata-rata pada pukul 06.00-06.15 sebesar,

$$S_{\,06.00-06.15} = \left[\frac{50}{\left(\frac{662{,}32}{30}\right)}\right] m/_{detik} \times 3{,}6$$

$$S_{\,06.00-06.15} = 8{,}153 \ km/jam.$$

Selanjutnya kecepatan rata-rata setiap 15 menit dirata-rata secara kumulatif sehingga didapatkan kecepatan rata-rata per jam dari setiap interval waktu.

5.1.3 Geometrik Jalan

Data geometrik jalan yang akan digunakan sebagai *input* parameter *link* pada *VISSIM* dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5. 4 Data Geometrik Jalan

Data Ruas Jalan Lenteng Agung					
Lokasi Pengamatan	**Ruas Jalan**	**Tipe**	**Lebar Jalan (m)**	**Lebar Lajur (m)**	**Lebar Bahu (m)**
Lokasi 1 *Bottleneck flyover* Lenteng Agung	Titik 1 Jalan Normal	3/1	9	3	0,5
	Titik 2 Jalan Menyempit	2/1	5,5	3 dan 2,5	0,3
Lokasi 2 *U-turn* perlintasan sebidang rel kereta api Universitas Pancasila	Titik 1 *Upstream* (130 m dari pintu perlintasan)	2/1	6	3	0,5
	Titik 2 *Downstream* (*u-turn*)	1/1	5	-	0,5

5.1.4 Spasi Kendaraan Rata-Rata

Data spasi kendaraan digunakan sebagai input parameter *driving behaviour* pada *VISSIM*. Tabel 5.5 berikut merupakan hasil survei spasi kendaraan rata-rata.

Tabel 5. 5 Data Survei Spasi Kendaraan Rata-Rata

	Jarak Depan-Belakang Kendaraan Berjalan (meter)	Jarak Depan-Belakang Kendaraan Berhenti (meter)	Jarak Bersisian Kendaraan Berjalan (meter)	Jarak Bersisian Kendaraan Berhenti (meter)
Nilai Hasil Pengamatan Rata - Rata	0,8	0,3	0,2	0,2

Dari data arus dan kecepatan kendaraan yang diolah kemudian dihitung agar menghasilkan nilai kepadatan menggunakan rumus $D = V/S$. Data arus, kecepatan, dan kepadatan selanjutnya diregresi untuk membuat model hubungan yang dapat menggambarkan perubahan kondisi kepadatan. Rekapitulasi nilai arus, kecepatan, dan kepadatan pada lokasi 1 dan 2 dapat dilihat pada Tabel 5.6 sampai dengan Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5. 6 Data Survei Lokasi 1 Jalan Normal Hari Senin

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)
	Xi.Yi	Yi	Xi
06.00 - 07.00	3992,25	7,02	568,45
06.15 - 07.15	3964,70	6,76	586,15
06.30 - 07.30	3977,50	6,94	573,40
06.45 - 07.45	3935,25	7,09	554,97
07.00 - 08.00	3925,45	7,16	548,02
07.15 - 08.15	3829,70	7,89	485,23
07.30 - 08.30	3792,00	8,84	429,14
07.45 - 08.45	3795,95	9,85	385,56
08.00 - 09.00	3649,75	10,99	332,14
11.00 - 12.00	2677,75	36,45	73,47
11.15 - 12.15	2652,50	33,94	78,16
11.30 - 12.30	2666,25	31,99	83,35
11.45 - 12.45	2730,55	30,10	90,73
12.00 - 13.00	2774,25	31,88	87,03
12.15 - 13.15	2857,65	33,06	86,45
12.30 - 13.30	2823,45	32,90	85,83

Lanjutan Tabel 5. 6 Data Survei Lokasi 1 Jalan Normal Hari Senin

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)
	Xi.Yi	Yi	Xi
12.45 - 13.45	2818,10	33,19	84,91
13.00 - 14.00	2691,75	32,10	83,84
16.00 - 17.00	2469,40	36,66	67,35
16.15 - 17.15	2340,90	36,72	63,75
16.30 - 17.30	2335,60	35,84	65,16
16.45 - 17.45	2448,85	33,93	72,18
17.00 - 18.00	2498,90	33,93	73,65
17.15 - 18.15	2681,85	32,85	81,64
17.30 - 18.30	2593,30	34,67	74,81
17.45 - 18.45	2478,85	35,61	69,61
18.00 - 19.00	2369,55	35,69	66,39
Total	**81772,00**	**684,04**	**5851,35**

Tabel 5. 7 Data Survei Lokasi 1 Jalan Menyempit Hari Senin

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)
	Xi.Yi	Yi	Xi
06.00 - 07.00	4004,4	9,70	412,64
06.15 - 07.15	3809,9	9,17	415,58
06.30 - 07.30	3768,2	9,03	417,16
06.45 - 07.45	3550	9,15	388,18
07.00 - 08.00	2656,6	9,07	369,22
07.15 - 08.15	2605,95	9,28	365,50
07.30 - 08.30	2479,6	9,88	344,10
07.45 - 08.45	2489,45	10,57	327,89
08.00 - 09.00	2479,85	11,32	309,41
11.00 - 12.00	2531,8	22,45	118,35
11.15 - 12.15	2581,55	25,67	101,50
11.30 - 12.30	2555,4	29,30	84,63
11.45 - 12.45	2511,65	28,43	87,58
12.00 - 13.00	2656,6	28,20	87,94
12.15 - 13.15	2605,95	26,89	94,16
12.30 - 13.30	2479,6	25,03	103,13
12.45 - 13.45	2489,45	25,76	99,20
13.00 - 14.00	2479,85	27,16	92,47
16.00 - 17.00	2453,2	21,82	112,42
16.15 - 17.15	2365,4	22,47	105,28
16.30 - 17.30	2330,85	23,98	97,19
16.45 - 17.45	2330,75	24,18	96,39

Lanjutan Tabel 5. 7 Data Survei Lokasi 1 Jalan Menyempit Hari Senin

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)
	Xi.Yi	Yi	Xi
17.00 - 18.00	2345,45	24,16	97,09
17.15 - 18.15	2424,35	23,29	104,08
17.30 - 18.30	2478,15	22,85	108,46
17.45 - 18.45	2445,25	24,08	101,55
18.00 - 19.00	2367,8	25,98	91,13
Total	**76668,70**	**538,85**	**5132,23**

Tabel 5. 8 Data Survei Lokasi 2 Hari Senin

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)
	Xi.Yi	Yi	Xi
06.00 - 07.00	2597,90	8,92	291,22
06.15 - 07.15	2585,45	8,81	293,52
06.30 - 07.30	2517,20	8,68	289,92
06.45 - 07.45	2429,40	8,92	272,29
07.00 - 08.00	2362,70	8,97	263,29
07.15 - 08.15	2379,80	8,81	270,01
07.30 - 08.30	2382,65	8,73	272,97
07.45 - 08.45	2319,50	8,50	272,89
08.00 - 09.00	2357,30	8,55	275,65
11.00 - 12.00	1946,55	31,13	62,53
11.15 - 12.15	1958,70	37,68	51,98
11.30 - 12.30	2082,65	37,49	55,56
11.45 - 12.45	2192,45	38,64	56,74
12.00 - 13.00	2306,00	37,54	61,43
12.15 - 13.15	2398,70	36,07	66,50
12.30 - 13.30	2376,65	36,81	64,56
12.45 - 13.45	2382,95	34,38	69,32
13.00 - 14.00	2300,95	34,48	66,73
16.00 - 17.00	1824,90	36,04	50,64
16.15 - 17.15	1785,45	35,04	50,95
16.30 - 17.30	1823,70	34,48	52,89
16.45 - 17.45	1934,45	34,43	56,18
17.00 - 18.00	2036,30	34,18	59,58
17.15 - 18.15	2106,40	35,21	59,83
17.30 - 18.30	2125,55	35,10	60,56
17.45 - 18.45	2066,15	35,06	58,93
18.00 - 19.00	1978,55	35,81	55,25
Total	**59558.95**	**718.4569039**	**3561.932**

5.3 Analisis Data

5.3.1 Model Hubungan *Flow, Speed, Density*

Untuk mendeskripsikan karakteristik lalu lintas, penelitian ini melakukan pendekatan pada parameter makroskopik arus lalu lintas yaitu arus, kecepatan, dan kepadatan. Hubungan dari tiga parameter tersebut satu sama lain menggambarkan kondisi arus lalu lintas dimana seiring berjalannya waktu, terjadi perubahan tingkat kepadatan pada nilai arus yang berbeda.

Dalam menganalisis perubahan tingkat kepadatan, dapat diawali dengan mengamati hubungan *speed-density*. Hal ini dikarenakan grafik kecepatan-kepadatan memiliki perubahan yang lebih mudah diamati dimana ketika kepadatan meningkat, kecepatan akan menurun secara konsisten.

1. Model *Greenshields*

   Dengan melakukan regresi linear pada sampel data kecepatan rata-rata jarak dan kepadatan, kecepatan arus bebas (*Sff*) dan kepadatan saat macet (*Dj*) dapat diketahui. Dua variabel tersebut digunakan dalam persamaan hubungan volume pada masing-masing model untuk menggambar grafik hubungan *speed-density* (S-D), *volume-density* (V-D), dan *volume-speed* (V-S).Data regresi linear untuk model *Greenshields* dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

Tabel 5. 9 Data Regresi Model *Greenshields*

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)	Xi^2	Yi^2
	Xi.Yi	Yi	Xi		
06.00 - 07.00	3992,25	7,02	568,45	323135,20	49,32
06.15 - 07.15	3964,70	6,76	586,15	343575,76	45,75
06.30 - 07.30	3977,50	6,94	573,40	328789,34	48,12
06.45 - 07.45	3935,25	7,09	554,97	307993,32	50,28
07.00 - 08.00	3925,45	7,16	548,02	300324,65	51,31
07.15 - 08.15	3829,70	7,89	485,23	235448,15	62,29
07.30 - 08.30	3792,00	8,84	429,14	184157,96	78,08
07.45 - 08.45	3795,95	9,85	385,56	148653,93	96,93
08.00 - 09.00	3649,75	10,99	332,14	110314,56	120,75
11.00 - 12.00	2677,75	36,45	73,47	5397,12	1328,55
11.15 - 12.15	2652,50	33,94	78,16	6109,34	1151,64
11.30 - 12.30	2666,25	31,99	83,35	6946,55	1023,37
11.45 - 12.45	2730,55	30,10	90,73	8231,68	905,76
12.00 - 13.00	2774,25	31,88	87,03	7574,33	1016,12

Lanjutan Tabel 5. 9 Data Regresi Model *Greenshields*

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)	Xi^2	Yi^2
	Xi.Yi	Yi	Xi		
12.15 - 13.15	2857,65	33,06	86,45	7473,56	1092,67
12.30 - 13.30	2823,45	32,90	85,83	7366,60	1082,16
12.45 - 13.45	2818,10	33,19	84,91	7209,80	1101,51
13.00 - 14.00	2691,75	32,10	83,84	7029,93	1030,67
16.00 - 17.00	2469,40	36,66	67,35	4536,15	1344,30
16.15 - 17.15	2340,90	36,72	63,75	4064,25	1348,30
16.30 - 17.30	2335,60	35,84	65,16	4245,88	1284,78
16.45 - 17.45	2448,85	33,93	72,18	5209,24	1151,20
17.00 - 18.00	2498,90	33,93	73,65	5424,35	1151,20
17.15 - 18.15	2681,85	32,85	81,64	6664,68	1079,17
17.30 - 18.30	2593,30	34,67	74,81	5595,89	1201,81
17.45 - 18.45	2478,85	35,61	69,61	4845,59	1268,10
18.00 - 19.00	2369,55	35,69	66,39	4407,80	1273,83
Total	**81772,00**	**684,04**	**5851,35**	**2390725,59**	**21437,98**

Bentuk linear dari persamaan *Greenshield* adalah $\bar{Y} = A + B\bar{x}$ dengan A adakah nilai konstanta dan B adalah koefisien regresi. Dari Tabel 5.9 perhitungan nilai konstanta A dan koefisien regresi B adalah sebagai berikut.

$$B = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(XiYi) - \sum_{i=1}^{n} Xi \times \sum_{i=1}^{n} Yi}{\sum_{i=1}^{n}(Xi^2) - (\sum_{i=1}^{n} Xi)^2}$$

$$B = \frac{27\times(81772) - (5851{,}35)\times(684{,}04)}{(2390726)\times(81772)^2}$$

B = -0,05921

Setelah B diperoleh, A dapat dicari dengan persamaan linear *Greenshields*,

$\bar{Y} = A + B\bar{x}$

$A = \bar{Y} - B\bar{x}$

$A = 25{,}33 - (-0{,}05921)(216{,}72)$

A = 38,17

Setelah variabel A dan B didapat, selanjutnya nilai kecepatan arus bebas (*Sff*) dan kepadatan macet (*Dj*) dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut.

Sff = A = 38,17 km/jam

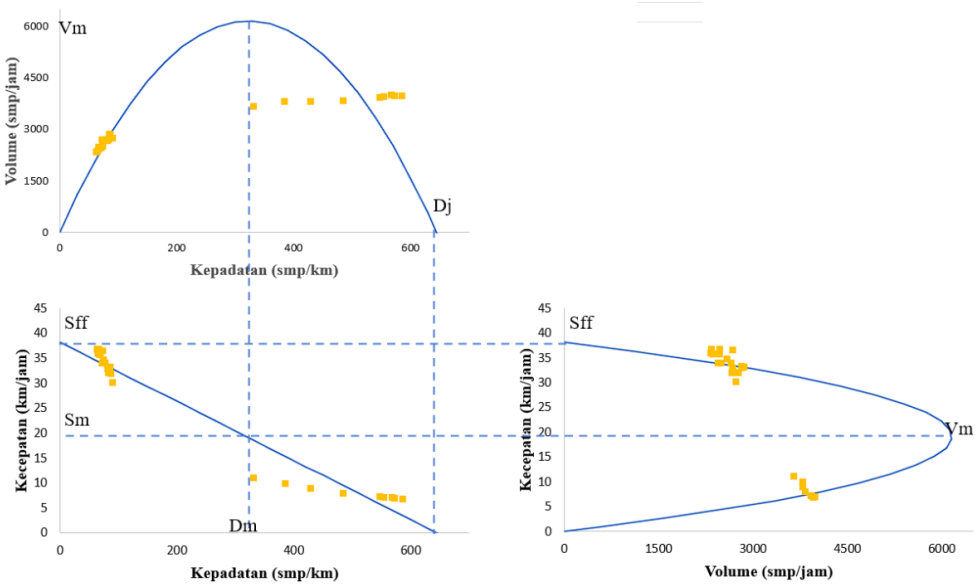
$Dj = \frac{-Sff}{B} = \frac{-38{,}17\ km/jam}{-0{,}05921}$ = 644,602 smp/jam.

Nilai *Sff* dan *Dj* selanjutnya dapat digunakan dalam persamaan linear *Greenshields* untuk menggambarkan hubungan S-D, V-D, dan V-S. Hasil perhitungan model *Greenshields* dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut.

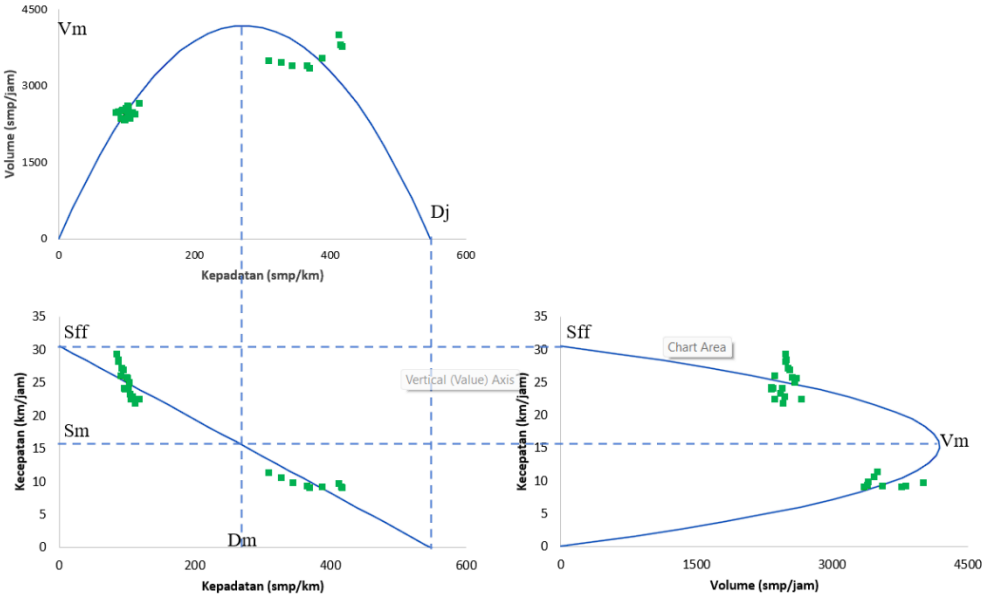
Tabel 5. 10 Hasil Analisis Model *Greenshields* Lokasi 1 Hari Senin

Nilai Variabel	Kondisi Jalan Normal	Kondisi Jalan Menyempit
A	38,17	30.57
B	-0,0592	-0.0558
Dj (smp/km)	644,6	547.71
Sff (km/jam)	38,17	30.57
S-D	S = 38,17 – 0,0592. D	S = 30,57 – 0,0558. D
V-D	V = 38,17. D – 0,0592. D^2	V = 30,57 D – 0,0558. D^2
V-S	V = 644,7 S – 16,89 S^2	V = 547,71 S – 17,92 S^2

Dengan menggunakan persamaan linear hubungan S-D, V-D, dan V-S di atas, maka dapat digambarkan grafik hubungan *Greenshields* pada penggal jalan normal dan menyempit seperti yang terlihat pada Gambar 5.8 dan 5.9 berikut.



Gambar 5. 8 Model Hubungan *Greenshields* Lokasi 1 Jalan Normal



Gambar 5. 9 Model Hubungan *Greenshields* Lokasi 1 Jalan Menyempit

Selanjutnya, dari hubungan antara kecepatan, volume, dan kepadatan parameter di atas, dapat dihitung nilai volume maksimum (*Vm)*, kecepatan optimum (*Sm*), dan kepadatan optimum (*Dm*). Berikut merupakan contoh perhitungan *Vm*, *Sm*, dan *Dm* model *Greenshields* pada jalan normal.

$$Vm = \frac{Dj\ .\ Sff}{4} = \frac{644{,}60\ .\ 38{,}17}{4} = 6150{,}53 \text{ smp/jam}$$

$$Sm = \frac{Sff}{2} = \frac{38{,}17}{2} = 19{,}08 \text{ km/jam}$$

$$Dm = \frac{Dj}{2} = \frac{644{,}60}{2} = 322{,}301 \text{ smp/km.}$$

2. Model *Greenberg*

Model *Greenberg* merumuskan hubungan antara kecepatan dan kepadatan fungsi logaritimik dengan persamaan dasar :

$$S = S_m . \ln\left(\frac{Dj}{D}\right)$$

Pada model *Greenshields*, persamaan dasar sudah dalam bentuk linear. Sedangkan pada model *Greenberg* dan *Underwood* agar dapat dilakukan analisis regresi, persamaan dasar perlu dilakukan modifikasi menjadi bentuk linear. Tabel 5.11 berikut merupakan hasil transformasi linier model *Greenberg* dan *Underwood* yang dapat dilihat pada halaman selanjutnya.

Tabel 5. 11 Transformasi Linier Persamaan Model

Model	Persamaan	Bentuk Linier
Greenshields	$S = A + \frac{Sff}{Dj}.D$	-
Greenberg	$S = S_m.\ln\frac{D_j}{D}$	$S = S_m \ln D_j - S_m \ln D$
Underwood	$S = \ln Sff\,.e^{\frac{D}{D_m}}$	$\ln S = \ln Sff - \frac{D}{D_m}$

Dari Tabel 5.11, bentuk linear dari persamaan *Greenberg*,

$S = S_m.\ln Dj - S_m.\ln D$

Dimana Y = S ; X = Ln D ; A = S_m. Ln Dj dan b = S_m.

Tabel 5.12 berikut adalah data regresi model *Greenberg* pada lokasi 1 jalan normal.

Tabel 5. 12 Data Regresi Model *Greenberg*

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)	Xi	Yi^2
	Xi.Yi	Yi	Xi		
	V	S	Ln D		
06.00 - 07.00	3992.25	7.02	568.45	6.34	40.23
06.15 - 07.15	3964.70	6.76	586.15	6.37	40.62
06.30 - 07.30	3977.50	6.94	573.40	6.35	40.34
06.45 - 07.45	3935,25	7,09	554,97	6,32	39,93
07.00 - 08.00	3925,45	7,16	548,02	6,31	39,77
07.15 - 08.15	3829,70	7,89	485,23	6,18	38,25
07.30 - 08.30	3792,00	8,84	429,14	6,06	36,75
07.45 - 08.45	3795,95	9,85	385,56	5,95	35,46
08.00 - 09.00	3649,75	10,99	332,14	5,81	33,70
11.00 - 12.00	2677,75	36,45	73,47	4,30	18,46
11.15 - 12.15	2652,50	33,94	78,16	4,36	19,00
11.30 - 12.30	2666,25	31,99	83,35	4,42	19,56
11.45 - 12.45	2730,55	30,10	90,73	4,51	20,32
12.00 - 13.00	2774,25	31,88	87,03	4,47	19,95
12.15 - 13.15	2857,65	33,06	86,45	4,46	19,89
12.30 - 13.30	2823,45	32,90	85,83	4,45	19,82
12.45 - 13.45	2818,10	33,19	84,91	4,44	19,73
13.00 - 14.00	2691,75	32,10	83,84	4,43	19,62
16.00 - 17.00	2469,40	36,66	67,35	4,21	17,72
16.15 - 17.15	2340,90	36,72	63,75	4,15	17,26
16.30 - 17.30	2335,60	35,84	65,16	4,18	17,45
16.45 - 17.45	2448,85	33,93	72,18	4,28	18,31
17.00 - 18.00	2498,90	33,93	73,65	4,30	18,48

Lanjutan Tabel 5. 12 Data Regresi Model *Greenberg*

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)	Xi	Yi^2
	Xi.Yi	Yi	Xi		
	V	S	Ln D		
17.15 - 18.15	2681,85	32,85	81,64	4,40	19,38
17.30 - 18.30	2593,30	34,67	74,81	4,31	18,62
17.45 - 18.45	2478,85	35,61	69,61	4,24	18,00
18.00 - 19.00	2369,55	35,69	66,39	4,20	17,60
Total	**81772**	**684,04**	**5851,35**	**133,81**	**684,23**

Dari data regresi Tabel 5.12 diatas, hasil regresi didapat nilai konstanta A = 94,32 dan nilai koefisien regresi B = -13,92.

Setelah variabel A dan B didapat, selanjutnya nilai kecepatan optimum (*Sm*) dan kepadatan macet (*Dj*) dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut.

Sm = -B = - (-13,92) = 13,92 km/jam

A = S_m. Ln (Dj)

$Dj = e^{\left(\frac{A}{Sm}\right)}$

$Dj = e^{\left(\frac{94,32}{-13,92}\right)}$

Dj = 876,57 smp/km.

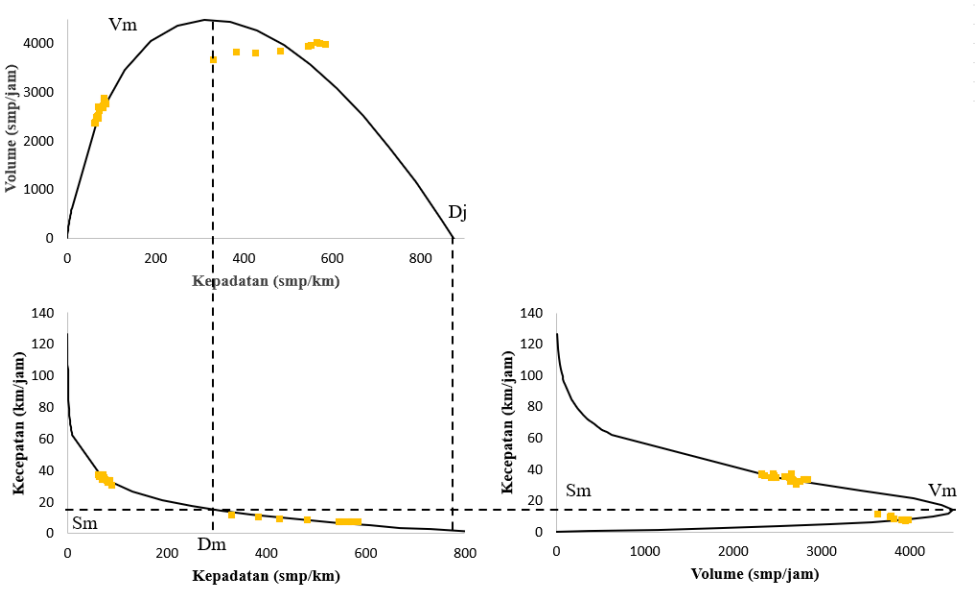
Nilai *Sm* dan *Dj* selanjutnya dapat digunakan dalam persamaan logaritmik *Greenberg* untuk menggambarkan hubungan S-D, V-D, dan V-S. Hasil perhitungan model *Greenberg* dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5. 13 Hasil Analisis Model *Greenberg* Lokasi 1 Hari Senin

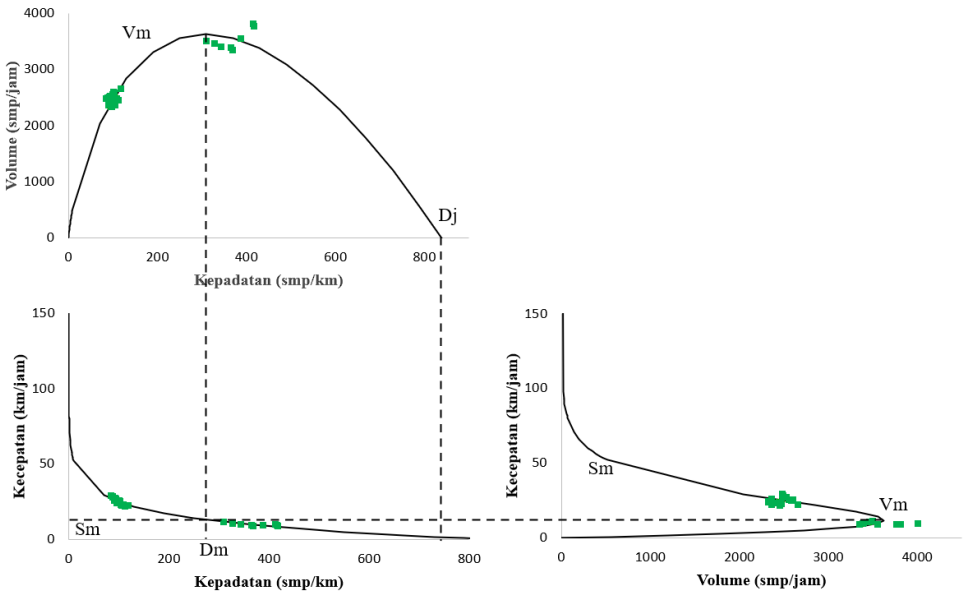
Nilai Variabel	Kondisi Jalan Normal	Kondisi Jalan Menyempit
A	94,32	79,04
B	-13,92	-11,74
Dj (smp/km)	876,57	839,26
Sm (km/jam)	13,92	11,74
S-D	S = 13,92 Ln 876,57/D	S = 11,74 Ln 839,26/D
V-D	V= 13.92 D. Ln 876,57/D	V= 11,74 D. Ln 839,26/D
V-S	V = Dj.S. $e^{\left(\frac{-S}{-13,92}\right)}$	V = Dj.S. $e^{\left(\frac{-S}{-11,74}\right)}$

Dengan menggunakan persamaan logaritmik hubungan S-D, V-D, dan V-S di atas, maka dapat digambarkan grafik hubungan *Greenberg* pada penggal jalan

normal dan menyempit seperti yang terlihat pada Gambar 5.10 dan 5.11 berikut.



Gambar 5. 10 Model Hubungan *Greenberg* Lokasi 1 Jalan Normal



Gambar 5. 11 Model Hubungan *Greenberg* Lokasi 1 Jalan Menyempit

Selanjutnya, dari hubungan antara kecepatan, volume, dan kepadatan parameter di atas, dapat dihitung nilai volume maksimum (*Vm)*, dan kepadatan

optimum (*Dm*). Berikut merupakan contoh perhitungan *Vm* dan *Dm* model *Greenberg* pada jalan normal.

$Dm = \frac{Dj}{e} = \frac{876,57}{2,72} = 322,47$ smp/km

$Vm = Dm \,.\, Sm$

$Vm = 322,47 \,.\, 13,92 = 4488,74$ smp/jam

3. Model *Underwood*

Model ini merumuskan hubungan kecepatan dan kepadatan sebagai hubungan eksponensial. Persamaan dasar model *Underwood* adalah sebagai berikut.

$S = Sff.e^{-\frac{D}{Dm}}$

Dari Tabel 5.11, bentuk linear dari persamaan *Underwood,*

$\ln S = \ln S_{ff} - \frac{D}{Dm}$

Dimana Y = ln *S* ; X = D ; A = Ln (*Sff*) dan b = $-\frac{1}{Dm}$.

Dengan menggunakan variabel di atas, data untuk regresi model *Underwood* dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut ini.

Tabel 5. 14 Data Regresi Model *Underwood*

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)	Xi	Yi^2
	Xi.Yi	Yi	Xi		
	V	Ln S	D		
06.00 - 07.00	3992,25	1,95	568,45	3,80	323135,20
06.15 - 07.15	3964,70	1,91	586,15	3,65	343575,76
06.30 - 07.30	3977,50	1,94	573,40	3,75	328789,34
06.45 - 07.45	3935,25	1,96	554,97	3,84	307993,32
07.00 - 08.00	3925,45	1,97	548,02	3,88	300324,65
07.15 - 08.15	3829,70	2,07	485,23	4,27	235448,15
07.30 - 08.30	3792,00	2,18	429,14	4,75	184157,96
07.45 - 08.45	3795,95	2,29	385,56	5,23	148653,93
08.00 - 09.00	3649,75	2,40	332,14	5,74	110314,56
11.00 - 12.00	2677,75	3,60	73,47	12,93	5397,12
11.15 - 12.15	2652,50	3,52	78,16	12,42	6109,34
11.30 - 12.30	2666,25	3,47	83,35	12,01	6946,55
11.45 - 12.45	2730,55	3,40	90,73	11,59	8231,68
12.00 - 13.00	2774,25	3,46	87,03	11,98	7574,33
12.15 - 13.15	2857,65	3,50	86,45	12,24	7473,56
12.30 - 13.30	2823,45	3,49	85,83	12,20	7366,60

Lanjutan Tabel 5. 14 Data Regresi Model *Underwood*

Jam	Arus (smp/jam)	Kecepatan (km/jam)	Kepadatan (smp/km)	Xi	Yi^2
	Xi.Yi	Yi	Xi		
	V	Ln S	D		
12.45 - 13.45	2818,10	3,50	84,91	12,27	7209,80
13.00 - 14.00	2691,75	3,47	83,84	12,03	7029,93
16.00 - 17.00	2469,40	3,60	67,35	12,97	4536,15
16.15 - 17.15	2340,90	3,60	63,75	12,98	4064,25
16.30 - 17.30	2335,60	3,58	65,16	12,81	4245,88
16.45 - 17.45	2448,85	3,52	72,18	12,42	5209,24
17.00 - 18.00	2498,90	3,52	73,65	12,42	5424,35
17.15 - 18.15	2681,85	3,49	81,64	12,19	6664,68
17.30 - 18.30	2593,30	3,55	74,81	12,57	5595,89
17.45 - 18.45	2478,85	3,57	69,61	12,76	4845,59
18.00 - 19.00	2369,55	3,57	66,39	12,78	4407,80
Total	**81772**	**82,09**	**5851,35**	**2390725,6**	**262,5**

Dari data regresi Tabel 5.14 didapat nilai konstanta A = 3,77 dan nilai koefisien regresi B = -0,003.

Setelah variabel A dan B didapat, selanjutnya nilai kecepatan arus bebas (*Sff*) dan kepadatan optimum (*Dm*) dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut.

$Sff = e^{(A)} = e^{(3,77)} = 43,413$ km/jam

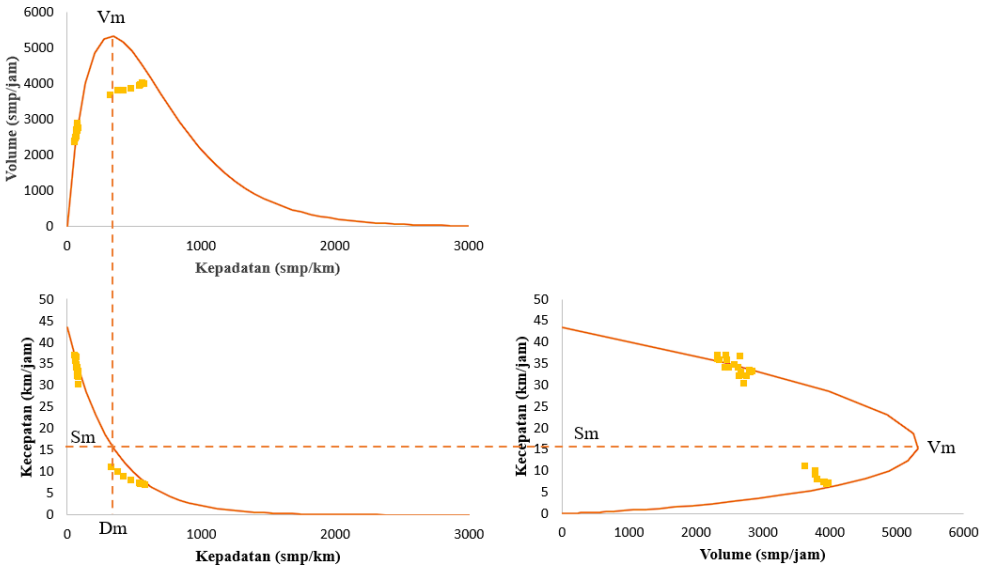
$Dm = \frac{-1}{B} = \frac{-1}{-0,003} = 333,33$ smp/km

Nilai *Sff* dan *Dm* selanjutnya dapat digunakan dalam persamaan eksponensial *Underwood* untuk menggambarkan hubungan S-D, V-D, dan V-S. Hasil perhitungan model *Underwood* dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

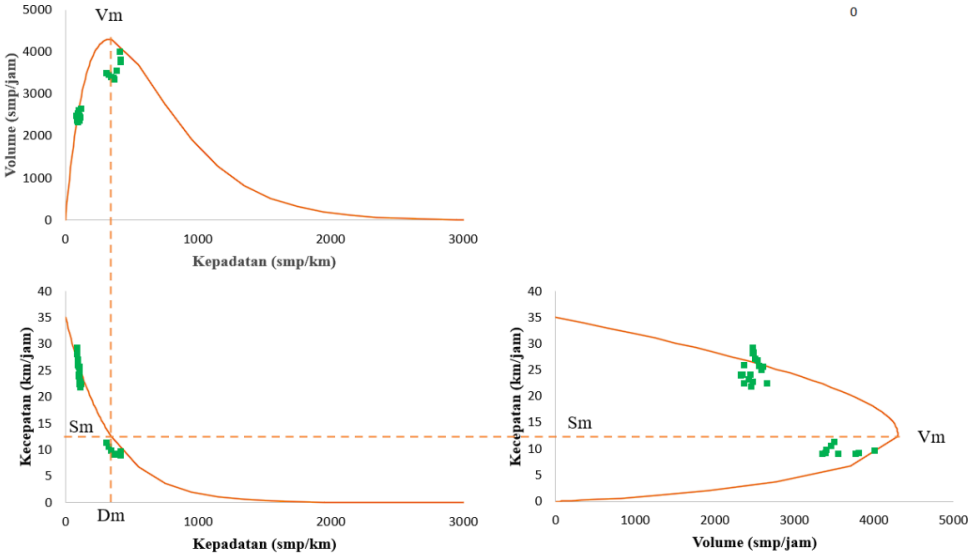
Tabel 5. 15 Hasil Analisis Model *Underwood* Lokasi 1 Hari Senin

Nilai Variabel	Kondisi Jalan Normal	Kondisi Jalan Menyempit
A	3,77	3,56
B	-0,003	-0,03
Dm (smp/km)	333,33	333,33
Sff (km/jam)	43,41	35,06
S-D	$S = 43,41.\ e^{\left(\frac{-D}{333.33}\right)}$	$S = 35,06.\ e^{\left(\frac{-D}{333.33}\right)}$
V-D	$V = 43,413\ D.\ e^{\left(\frac{-D}{333.33}\right)}$	$V = 35,06\ D.\ e^{\left(\frac{-D}{333.33}\right)}$
V-S	$V = 333,3\ S.\ \ln\frac{43,41}{S}$	$V = 333,3\ S.\ \ln\frac{35,06}{S}$

Dengan menggunakan persamaan logaritmik hubungan S-D, V-D, dan V-S di atas, maka dapat digambarkan grafik hubungan *Underwood* pada penggal jalan normal dan menyempit seperti yang terlihat pada Gambar 5.12 dan 5.13 berikut.



Gambar 5. 12 Model Hubungan *Underwood* Lokasi 1 Jalan Normal



Gambar 5. 13 Model Hubungan *Underwood* Lokasi 1 Jalan Menyempit

Selanjutnya, dari persamaan dasar *Underwood*, dengan mensubstitusikan $S = \frac{V}{D}$, nilai volume maksimum (*Vm)* dapat dihitung. Berikut merupakan contoh perhitungan *Vm* model *Underwood* pada jalan normal.

$$S = Sff.e^{-\frac{D}{Dm}}$$

$$\frac{V}{D} = Sff.e^{-\frac{V/S}{Dm}}$$

$$V = D.Sff.e^{-\frac{V/S}{Dm}}$$

$$V = S\ .\ Dm.\ \ln\left(\frac{Sff}{S}\right)$$

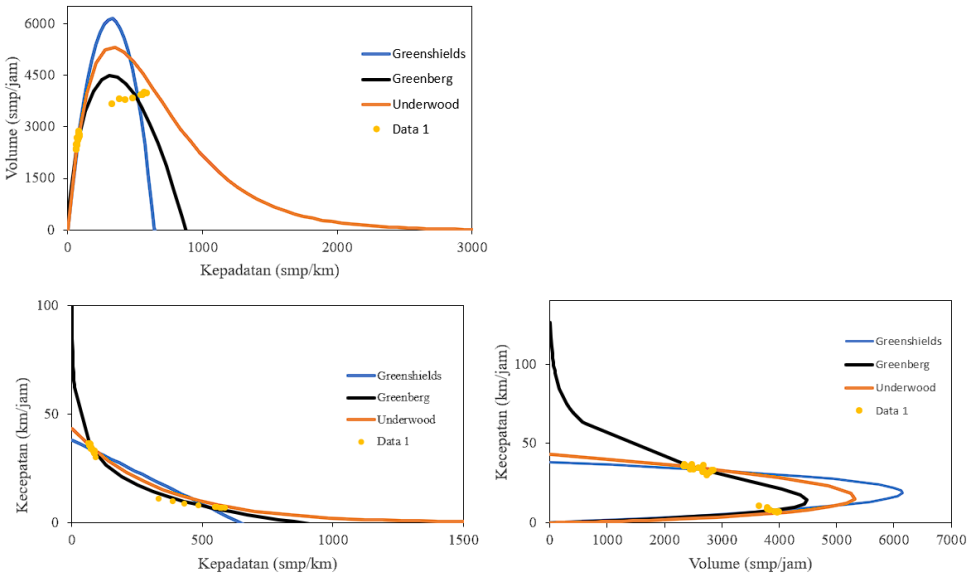
$$Vm = \frac{Dm\ .\ Sff}{e}$$

$$Vm = \frac{333{,}333\ .\ 43{,}413}{2{,}718}$$

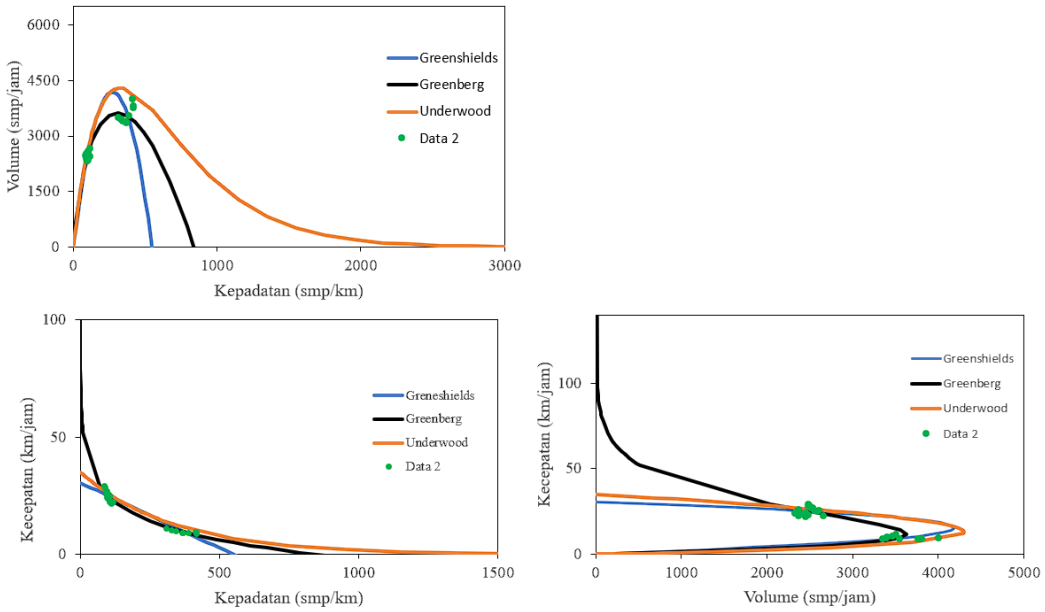
$$Vm = 5323{,}58 \text{ km/jam}$$

5.3.2 Penentuan Model Terpilih

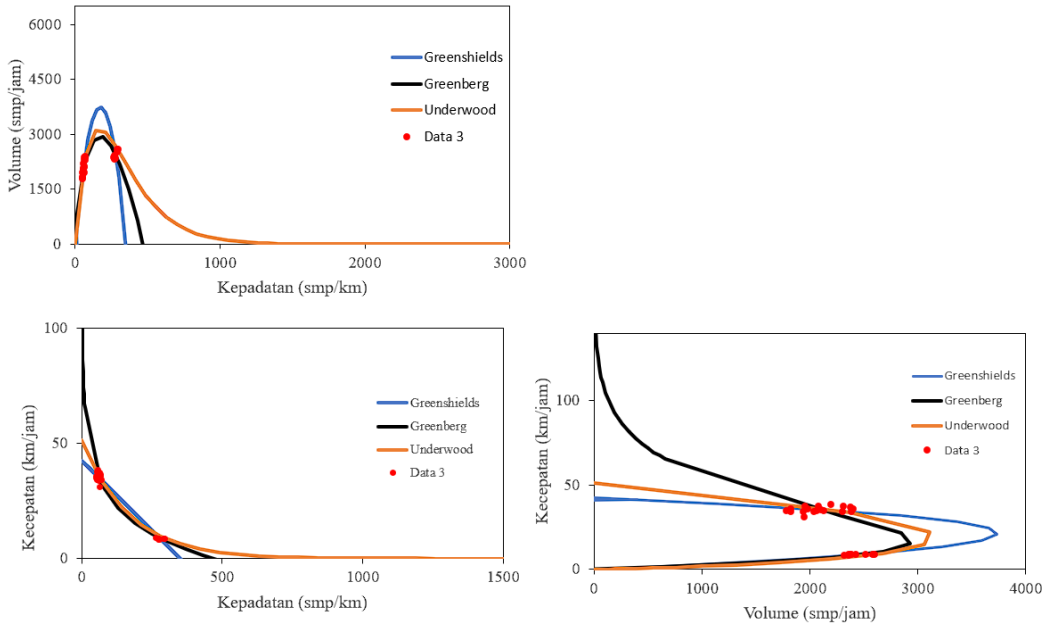
Penentuan model didasarkan pada nilai koefisien determinasi yang tertinggi di antara model *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood.* Selain itu, perlu dikaji beberapa kondisi pada model dalam memberikan parameter yang dibutuhkan dalam analisis gelombang kejut. Perbandingan hasil pemodelan *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood* di semua lokasi pengamatan dapat dilihat pada Gambar 5.14 sampai 5.16 di bawah dan di halaman selanjutnya berikut ini.



Gambar 5. 14 Model-Model Hubungan di Lokasi 1 Jalan Normal



Gambar 5. 15 Model-Model Hubungan di Lokasi 1 Jalan Menyempit



Gambar 5. 16 Model-Model Hubungan di Lokasi 2 Sebelum Perlintasan

Uji statistik yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji signifikansi yang bertujuan untuk menguji ada tidaknya pengaruh signifikan antara variabel x (kepadatan) terhadap variabel y (kecepatan). Uji signifikansi yang dilakukan pada

penelitian ini adalah uji t (*student's test*). Pengujian dikatakan benar jika nilai t hasil perhitungan lebih besar dari nilai t kritis dari tabel.

Menggunakan data dari Tabel 5.12, berikut contoh perhitungan uji statistik pada data regresi model *Greenshields* di lokasi penyempitan jalan normal.

1. Koefisien Determinasi

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{\{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2\}\{n(\sum y_i^2) - (\sum y_i)^2\}}}$$

$$r = \frac{27 . (81772) - (581{,}35) . (684{,}039)}{\sqrt{\{27(2390726) - (\sum 581{,}35)^2\}\{27(21438) - (684{,}039)^2\}}}$$

$$r = -0{,}9788$$

$$r^2 = 0{,}9580$$

2. Uji t

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

$$t = \frac{0{,}9788\sqrt{27-2}}{\sqrt{1-0{,}9580}}$$

$$t = 23{,}893$$

Dengan perhitungan yang sama seperti di atas, Tabel 5.16 berikut merupakan rekapitulasi perhitungan uji statistik pada model *Greenshields*, *Greenberg*, dan *Underwood* dengan tingkat kepercayaan untuk t kritis 95%.

Tabel 5. 16 Hasil Uji Statistik Lokasi

Uji Statistik	Lokasi 1 (*Bottleneck*)						Lokasi 2 (Perlintasan KA)		
	Kondisi Jalan Normal			Kondisi Jalan Menyempit			Sebelum Perlintasan		
	Greenshields	**Greenberg**	Underwood	Greenshields	**Greenberg**	Underwood	Greenshields	Greenberg	**Underwood**
Koefisien Determinasi (R^2)	0,958	**0,994**	0,986	0,949	**0,976**	0,968	0,9856	0,983	**0,9857**
T hitung	23,893	63,397	41,755	21,622	31,873	27,679	41,335	37,581	57,693
T kritis	2,060								

Model terpilih adalah model yang akan digunakan untuk perhitungan analisis gelombang kejut dimana model tersebut harus memenuhi syarat nilai t hitung yang lebih besar dari t kritis dan memiliki nilai koefisien determinasi (r^2) paling besar. Berdasarkan Tabel 5.16, didapatkan nilai t semua model lebih besar dibandingkan nilai t kritis sehingga semua model dapat diterima. Berikut pertimbangan dalam menentukan model terpilih :

1. Nilai koefisien determinasi pada lokasi 1 *on-ramp flyover* Lenteng agung di titik 1 dan titik 2 yang terbesar dimiliki oleh model *Greenberg.* Hal ini berarti bahwa model *Greenberg* menunjukkan hubungan antara kepadatan dan kecepatan yang cukup kuat. Sehingga model ini memiliki ketepatan regresi yang terbaik dari model lainnya.
2. Sedangkan nilai koefisien determinasi pada lokasi 2 *u-turn* Pancasila dimiliki oleh model *Underwood.* Namun model ini tidak dapat diketahui kepadatan macetnya (*Dj*) sehingga model ini tidak bisa digunakan sebab untuk menghitung panjang antrian dengan metode gelombang kejut diperlukan nilai kepadatan macet. Oleh karena itu, model *Greenshields* akan digunakan pada lokasi 2 karena nilai koefisien determinasi yang lebih besar daripada model *Greenberg*.

Setelah penentuan model terpilih, proses selanjutnya adalah analisis gelombang kejut dengan menggunakan parameter yang diperoleh dari model terpilih yang dapat dilihat pada Tabel 5.17 di bawah ini.

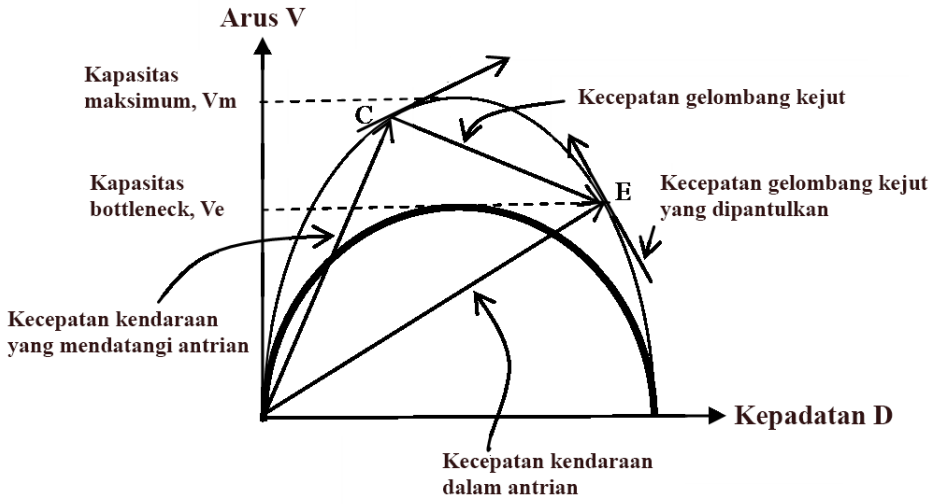
Tabel 5. 17 Hasil Parameter Model Hubungan

Parameter	Lokasi 1 (*Bottleneck*)		Lokasi 2 (Perlintasan KA)
	Kondisi Jalan Normal	Kondisi Jalan Menyempit	Sebelum Perlintasan
	Greenberg	*Greenberg*	*Greenshields*
Dj (smp/km)	876,57	839,26	350,58
Sm (km/jam)	13,92	11,4	21,33
Vm (smp/jam)	4488,74	3624,63	3739,27
Dm (smp/km)	322,47	308,75	175,29

5.3.3 Analisis Gelombang Kejut

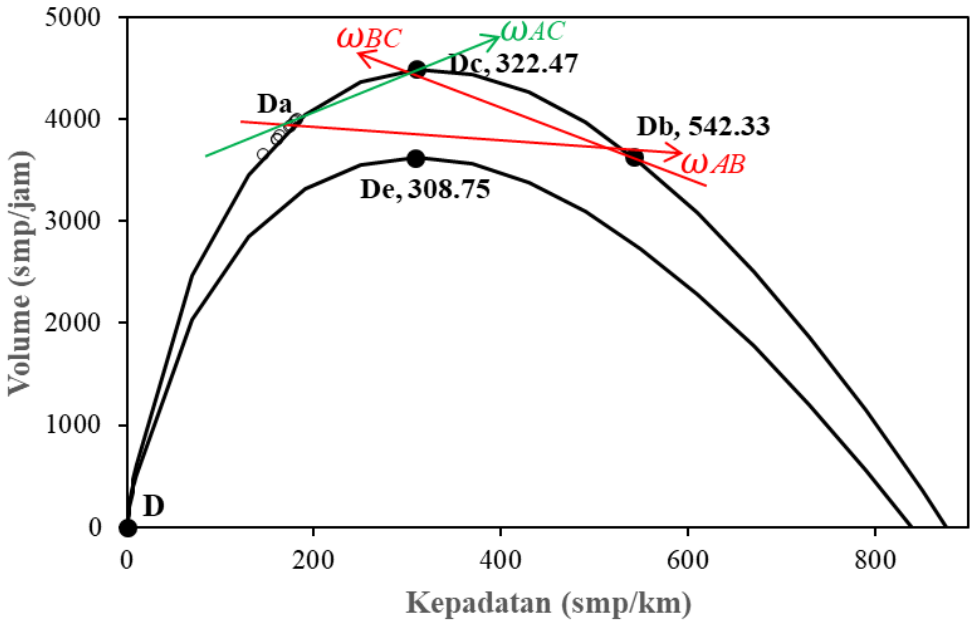
1. Gelombang kejut pada bottleneck on-ramp flyover Lenteng Agung

   Gelombang kejut pada lokasi 1 *on-ramp flyover* Lenteng Agung terjadi akibat adanya *bottleneck* atau penyempitan lajur jalan dari 3 lajur menjadi 2 lajur. Hal ini mengakibatkan penurunan kapasitas jalan pada penggal jalan yang mengalami penyempitan lajur. Analisis gelombang kejut pada grafik hubungan arus-kepadatan di lokasi penyempitan dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut ini.



Gambar 5. 17 Gelombang Kejut pada *Bottleneck*

Model *Greenberg* adalah model terpilih yang akan digunakan dalam analisis gelombang kejut pada lokasi 1 *on-ramp flyover*. Dalam analisis gelombang kejut pada *bottleneck*, diperlukan penggabungan dua model hubungan *Greenberg* (*V-D*) jalan normal dan jalan menyempit. Hasil analisis gelombang kejut pada grafik hubungan arus-kepadatan dapat dilihat pada Gambar 5.18 di halaman selanjutnya.



Gambar 5. 18 Gelombang Kejut pada Lokasi 1 *On-ramp Flyover*

Untuk mengetahui nilai kecepatan gelombang kejut, dibutuhkan pengetahuan tentang perubahan kondisi volume dan kepadatan pada grafik di atas. Berikut merupakan analisis perhitungan kecepatan gelombang kejut pada *bottleneck on-ramp* Lenteng Agung pada jam 06.00 – 07.00.

a. Kondisi A

   Kondisi A adalah kondisi di hulu (*upstream*) yaitu di jalan normal pada saat tingkat kepadatan masih cukup rendah namun nilai arus sudah melebihi kapasitas yang dapat ditampung pada jalan menyempit.

   $V_a =$ 3992,25 smp/jam, $D_a =$ 183,228 smp/km

b. Kondisi B

   Kondisi B adalah kondisi di hulu (*upstream*) yaitu di jalan normal pada saat tingkat kepadatan sangat tinggi (mulai macet) dan nilai arus berada tepat pada kapasitas tertinggi yang dapat ditampung oleh jalan menyempit.

   $V_b =$ 3624,63 smp/jam, $D_b =$ 542,332 smp/km

c. Kondisi C

Kondisi C adalah kondisi di hulu (*upstream*) yaitu di jalan normal pada saat tingkat kepadatan optimum (*Dm*) dan nilai arus berada tepat pada kapasitas tertinggi yang dapat ditampung oleh jalan normal.

$V_c =$ 4488,74 smp/jam, $D_c =$ 322,472 smp/km

d. Kondisi E

Kondisi E adalah kondisi di hilir (*downstream*) yaitu di jalan menyempit pada saat tingkat kepadatan optimum dan nilai arus tertinggi yang dapat ditampung jalan menyempit.

$V_e =$ 3624,63 smp/jam, $D_e =$ 308,748 smp/km

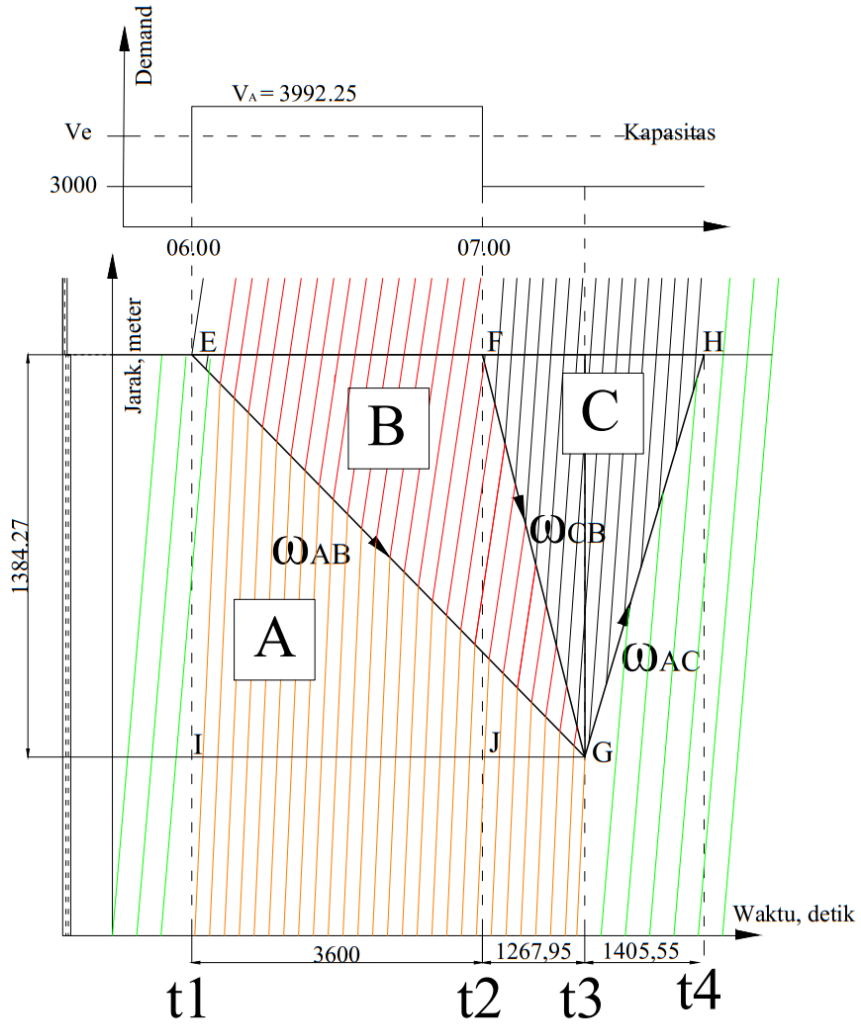
Berikut merupakan contoh perhitungan kecepatan gelombang kejut pada pukul 06.00 – 07.00.

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = \frac{3624{,}63 - 3992{,}25}{542{,}332 - 183{,}228} = -1{,}024\ km/jam$$

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{3624{,}63 - 4488{,}74}{542{,}332 - 322{,}472} = -3{,}93\ km/jam$$

$$\omega_{AC} = \frac{V_A - V_C}{D_A - D_C} = \frac{3992{,}25 - 4488{,}74}{183{,}228 - 322{,}472} = 3{,}566\ km/jam$$

Analisis gelombang kejut pada diagram ruang dan waktu dapat dilihat pada Gambar 5.19 di halaman selanjutnya.



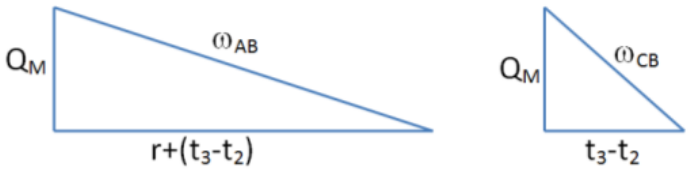
Gambar 5. 19 Gelombang Kejut pada *Space-Time Diagram* Lokasi 1 *On-ramp Flyover*

Gambar 5.19 menggambarkan gelombang kejut pada diagram ruang dan waktu. Fenomena gelombang kejut pada diagram ruang dan waktu dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Setiap satu garis mewakili satu kendaraan yang melalui kondisi kepadatan yang berubah-ubah. Kemiringan garis menggambarkan kecepatan kendaraan sehingga semakin landai garis, semakin rendah kecepatan kendaraan. Jarak horizontal antar garis menggambarkan waktu selang atau *headway* antar kendaraan. Sedangkan jarak vertikal antar garis menggambarkan jarak atau *spacing* antar kendaraan.

b. Garis berwarna hijau adalah kondisi arus *upstream* yang masuk ke lokasi *bottleneck* masih lebih kecil dari kapasitas di penggal jalan menyempit.
c. Daerah A atau garis berwarna oranye adalah kondisi arus *upstream* yang masuk ke lokasi *bottleneck* dimana nilainya telah melampaui kapasitas di penggal jalan menyempit.
d. Daerah B atau garis berwarna merah adalah kondisi arus di penggal jalan menyempit yang berada pada kondisi kepadatan yang sangat tinggi sehingga mulai membentuk antrian.
e. Daerah C atau garis berwarna hitam adalah kondisi ketika arus mulai berangsur-angsur pulih ke kondisi arus maksimum atau kapasitas pada penggal jalan normal dan kepadatan mulai menurun.
f. t_0-t_1 menunjukkan kondisi jalan ketika arus yang masuk dari jalan normal ke jalan menyempit masih lebih kecil dari kapasitas jalan menyempit.
g. t_1-t_2 atau r adalah durasi efektif terjadinya hambatan yang dalam kasus ini adalah durasi ketika *Va* > *Vmax* jalan menyempit. Arus yang masuk dari t_0 kemudian perlahan bertambah naik sampai akhirnya tiba pada waktu t_1 dimana antrian mulai terjadi sampai dengan t_2 akibat kapasitas pada jalan menyempit telah terlampaui.
h. t_2-t_3 merupakan rentang waktu dimana kepadatan berangsur-angsur menurun sampai waktu dimana kendaraan terakhir bergabung ke antrian.
i. t_2-t_4 adalah waktu penormalan yang dibutuhkan dimulai saat arus yang masuk lebih kecil atau sama dengan kapasitas atau arus maksimum jalan menyempit.

Panjang antrian dapat dihitung dengan menghitung tinggi dari ΔEGI dan ΔFGJ yang dapat dilihat pada Gambar 5.20 di bawah ini.



Gambar 5. 20 Segitiga ΔEGI dan ΔFGJ Untuk Perhitungan Panjang Antrian

Untuk mencari panjang antrian maksimum, perlu dicari terlebih dahulu waktu t3-t2. Berikut contoh perhitungan t3-t2 pada pukul 06.00 – 07.00.

$$\boldsymbol{\omega_{AB} = \frac{Q_m}{r+(t_3-t_2)}} \quad ; \tag{5. 2}$$

$$\omega_{CB} = \frac{Q_m}{t_3-t_2} \tag{5. 3}$$

$$Q_m = Q_m$$

$$\omega_{AB} \,.\, r + \omega_{AB}.\, (t_3 - t_2) = \omega_{CB} \,.\, (t_3 - t_2)$$

$$\omega_{CB} - \omega_{AB} = \frac{\omega_{AB} \,.r}{t_3 - t_2}$$

$$\boldsymbol{t_3 - t_2 = \frac{\omega_{AB} \,.r}{\omega_{CB} - \omega_{AB}}} \tag{5. 4}$$

$$t_3 - t_2 = \frac{-1{,}027.\ (3600)}{-3{,}93\ -(-1{,}024)} = 1267{,}95 \text{ detik}$$

Perhitungan panjang antrian yang dihitung adalah antrian yang terbentuk selama 1 jam. Durasi terjadinya hambatan (r) terjadi ketika arus yang masuk dari jalan normal 3 lajur lebih besar daripada kapasitas jalan menyempit 2 lajur. Pada penelitian ini, durasi r ditetapkan selama 1 jam atau 3600 detik.

$$Q_m = \omega_{CB} \,.\, (t_3 - t_2)$$

$$Q_m = \omega_{CB} \,.\, \frac{\omega_{AB} \,.\, r}{\omega_{CB} - \omega_{AB}}$$

$$Qm = -3{,}93 \,.\, \frac{-1{,}027 \,.\, (3600)}{-3{,}93\ -(-1{,}024)} = 1{,}384 \text{ km}$$

Arus yang dapat dilakukan analisis gelombang kejut adalah arus yang berada di atas kapasitas jalan menyempit, dan masih di bawah kapasitas jalan normal atau arus seperti pada kondisi A (V_A) seperti pada Gambar 5.18. Hasil survei lapangan menunjukkan nilai arus yang memenuhi syarat adalah arus periode pagi (07.00 – 09.00). Sedangkan semua nilai arus pada periode siang (11.00 – 14.00) dan periode sore (16.00 – 19.00) tidak dapat digunakan untuk analisis gelombang kejut karena lebih kecil dari kapasitas jalan menyempit (V_E) sehingga arus yang lewat masih bisa ditampung dan tidak terjadi antrian. Tabel 5.18 di halaman selanjutnya menampilkan rekapitulasi perhitungan gelombang kejut pada lokasi 1 *bottleneck on-ramp flyover* Lenteng Agung.

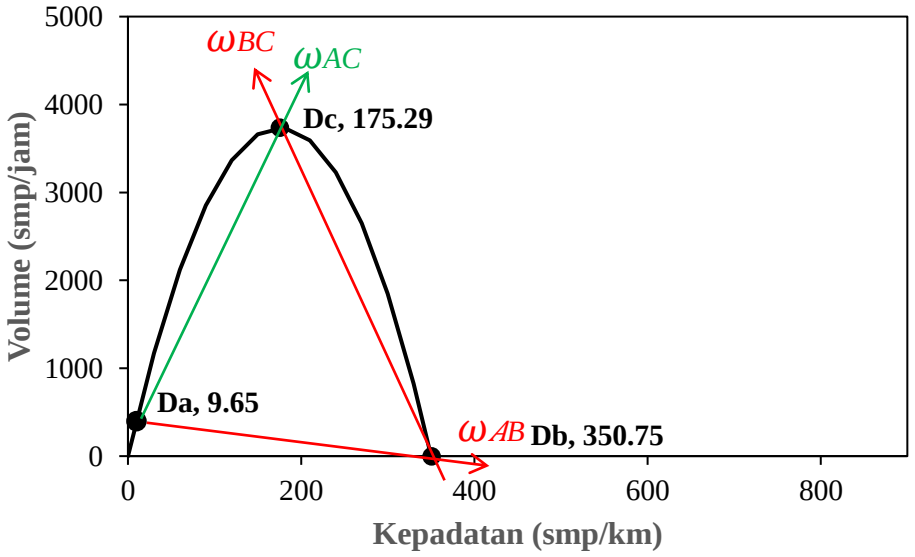
Tabel 5. 18 Hasil Analisis Panjang Antrian Metode Gelombang Kejut Lokasi 1

Jam	Va	Vb	Vc	Da	Db	Dc	ω_{AB}	ω_{CB}	ω_{AC}	r	t2-t3	Qm
	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/km)	(smp/km)	(smp/km)	(km/jam)	(km/jam)	(km/jam)	(detik)	(detik)	(km)
06.00 - 07.00	3992,25	3624.63	4488,74	183,23	542,33	322,47	-1,02	-3,93	3,57	3600	1267,95	1,38
06.15 - 07.15	3964,7	3624.63	4488,74	179,78	542,33	322,47	-0,94	-3,93	3,67	3600	1128,50	1,23
06.30 - 07.30	3977,5	3624.63	4488,74	181,37	542,33	322,47	-0,98	-3,93	3,62	3600	1191,89	1,3
06.45 - 07.45	3935,25	3624.63	4488,74	176,22	542,33	322,47	-0,85	-3,93	3,79	3600	991,09	1,08
07.00 - 08.00	3925,45	3624.63	4488,74	175,07	542,33	322,47	-0,82	-3,93	3,82	3600	947,76	1,03
07.15 - 08.15	3829,7	3624.63	4488,74	164,35	542,33	322,47	-0,54	-3,93	4,17	3600	576,53	0,63
07.30 - 08.30	3792	3624.63	4488,74	160,40	542,33	322,47	-0,44	-3,93	4,30	3600	451,77	0,49
07.45 - 08.45	3795,95	3624.63	4488,74	160,81	542,33	322,47	-0,45	-3,93	4,29	3600	464,36	0,51
08.00 - 09.00	3649,75	3624.63	4488,74	146,64	542,33	322,47	-0,06	-3,93	4,77	3600	59,10	0,06

2. Gelombang kejut pada perlintasan sebidang rel kereta api

Gelombang kejut pada lokasi 2 perlintasan sebidang kereta api Universitas Pancasila terjadi akibat adanya palang pintu kereta api yang melintas setiap 5 menit sekali. Penutupan palang pintu mengakibatkan gelombang kejut dan antrian di depan palang pintu. Pada tingkat arus tertentu, antrian yang terbentuk sering kali tidak habis karena disusul waktu penutupan selanjutnya.

Model *Greenshields* adalah model terpilih yang akan digunakan dalam analisis gelombang kejut pada lokasi 2 perlintasan sebidang kereta api. Pada lokasi ini, analisis gelombang kejut hanya dilakukan ketika pintu perlintasan ditutup sehingga hanya dibutuhkan satu model hubungan *Greenshields* (*V-D*) yaitu di titik 1 atau pada penggal jalan yang mengalami kecepatan arus bebas (130 m sebelum perlintasan). Hasil analisis gelombang kejut pada grafik hubungan arus-kepadatan di lokasi perlintasan dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut ini.



Gambar 5. 21 Gelombang Kejut pada Lokasi 2 Perlintasan Sebidang Kereta Api Universitas Pancasila

Dibandingkan dengan lokasi *on-ramp flyover*, terdapat perbedaan pada analisis gelombang kejut di perlintasan sebidang kereta api.

a. Pada kondisi A, arus yang dihitung (V_A) adalah arus kendaraan yang lewat di hulu dalam rentang waktu yang sama ketika pintu perlintasan tertutup di hilir.

b. Pada kondisi B, arus *downstream* bernilai 0 dan kondisi kepadatan bernilai maksimum (*Dj*). Hal ini disebabkan oleh palang pintu yang tertutup yang mengakibatkan terhentinya kendaraan dan tidak ada arus di hilir (*downstream*) yang bisa masuk melewati pintu perlintasan. Hal tersebut menyebabkan terjadinya antrian kendaraan tidak terlayani yang merambat ke arah hulu (*upstream*).

Untuk mengetahui nilai kecepatan gelombang kejut, dibutuhkan pengetahuan tentang perubahan kondisi volume dan kepadatan pada grafik di atas. Berikut merupakan analisis perhitungan kecepatan gelombang kejut pada perlintasan sebidang kereta api Universitas Pancasila pada jam 06.00 – 07.00.

a. Kondisi A

   Kondisi A adalah kondisi di hulu (*upstream*) dimana tingkat kepadatan masih cukup rendah dan pengemudi masih bisa memacu kendaraannya pada kecepatan arus bebas.

   $V_a =$ 400,345 smp/jam, $D_a =$ 9,649 smp/km

b. Kondisi B

   Kondisi B adalah kondisi di hilir (*downstream*) yaitu di depan palang pintu perlintasan pada saat palang pintu tertutup. Tingkat kepadatan maksimum (macet) dan nilai arus bernilai 0 yang artinya kendaraan benar-benar berhenti total.

   $V_b =$ 0 smp/jam, $D_b =$ 350,58 smp/km

c. Kondisi C

   Kondisi C adalah kondisi arus maksimum (V_m) dimana tingkat kepadatan optimum (D_m). Pada kondisi ini, pengemudi tidak bisa memacu kendaraanya pada kecepatan yang diinginkan.

   $V_c =$ 3739,27 smp/jam, $D_c =$ 175,29 smp/km

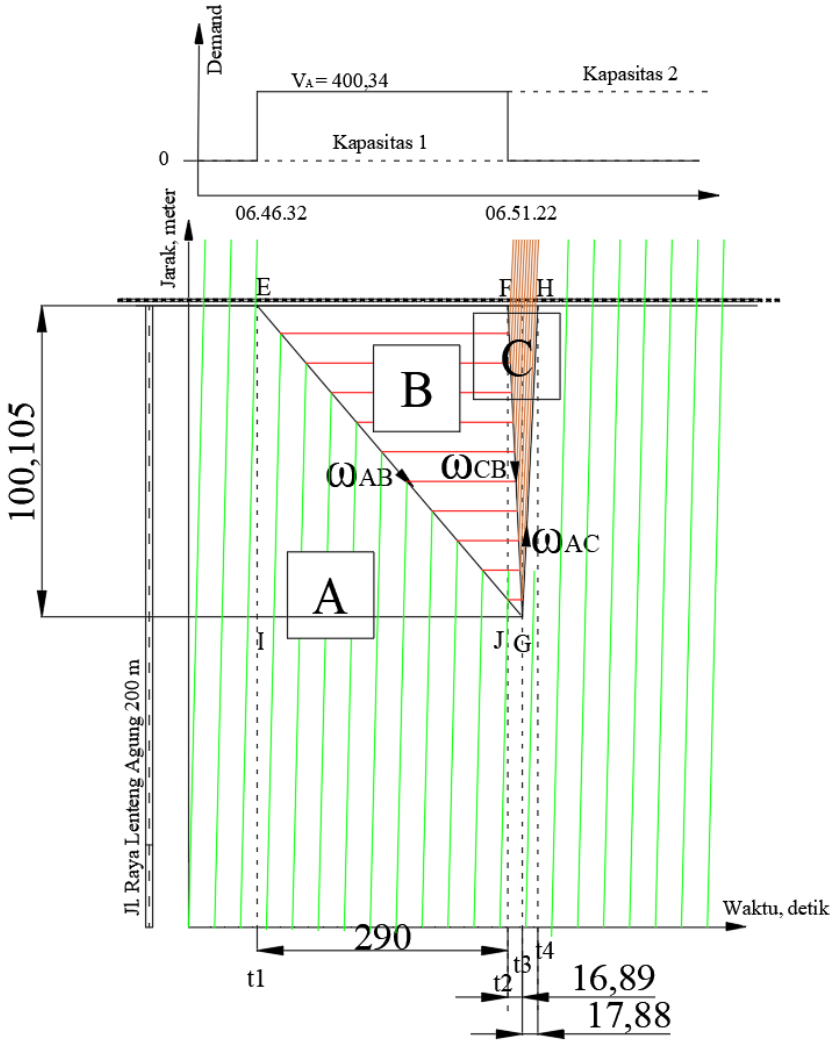
Berikut merupakan contoh perhitungan kecepatan gelombang kejut pada pukul 06.00 – 07.00.

$$\omega_{AB} = \frac{V_A - V_B}{D_A - D_B} = \frac{400{,}35 - 0}{9{,}64 - 350{,}58} = -1{,}174\ km/jam$$

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{0 - 350{,}58}{350{,}58 - 175{,}29} = -21{,}33\ km/jam$$

$$\omega_{AC} = \frac{V_A - V_C}{D_A - D_C} = \frac{400{,}35 - 3729{,}27}{9{,}65 - 175{,}29} = 20{,}16\ km/jam$$

Analisis gelombang kejut pada diagram ruang dan waktu dapat dilihat pada Gambar 5.22 di bawah ini.

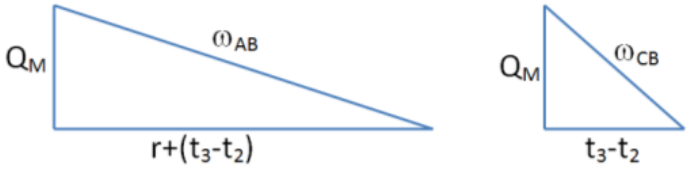


Gambar 5. 22 Gelombang Kejut pada *Space-Time Diagram* Lokasi 2 Perlintasan Kereta Api

Gambar 5.22 menggambarkan gelombang kejut pada diagram ruang dan waktu. Fenomena gelombang kejut pada diagram ruang dan waktu dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Setiap satu garis mewakili satu kendaraan yang melalui kondisi kepadatan yang berubah-ubah. Kemiringan garis menggambarkan kecepatan kendaraan sehingga semakin landai garis, semakin rendah kecepatan kendaraan. Jarak horizontal antar garis menggambarkan waktu selang atau *headway* antar kendaraan. Sedangkan jarak vertikal antar garis menggambarkan jarak atau *spacing* antar kendaraan.
b. Daerah A atau garis berwarna hijau adalah kondisi arus *upstream* yang melewati perlintasan ketika pintu perlintasan terbuka.
c. Daerah B atau garis berwarna merah adalah kondisi arus ketika pintu perlintasan tertutup sehingga tidak ada kendaraan yang lewat. Pada kondisi ini, kecepatan bernilai 0 sehingga garis kemiringan garis datar. Arus pada area ini berada pada kondisi kepadatan yang sangat tinggi sehingga mulai membentuk antrian.
d. Daerah C atau garis berwarna oranye adalah kondisi arus di depan pintu perlintasan ketika arus mulai berangsur-angsur pulih ke kondisi arus maksimum atau kapasitas sehingga kepadatan mulai menurun.
e. t_0-t_1 menunjukkan kondisi jalan ketika palang pintu kereta api masih terbuka sehingga arus dari hulu masih dapat masuk melewati perlintasan.
f. t_1-t_2 atau r adalah durasi efektif terjadinya hambatan yang dalam kasus ini adalah durasi palang pintu kereta api tertutup. Nilai arus pada t_0-t_1 kemudian perlahan bertambah naik sampai akhirnya tiba pada waktu t_1 dimana antrian akibat penutupan palang pintu mulai terjadi sampai dengan arus mulai pulih pada waktu t_2
g. t_2-t_3 merupakan rentang waktu dimana kepadatan berangsur-angsur menurun sampai waktu dimana kendaraan terakhir bergabung ke antrian.
h. t_2-t_4 adalah waktu penormalan yang dibutuhkan dimulai palang pintu terbuka sampai dengan arus kendaraan kembali normal dan tidak ada lagi penumpukan kendaraan di depan palang pintu kereta api.

Sama halnya seperti perhitungan panjang antrian pada lokasi *bottleneck on-ramp flyover*, panjang antrian pada lokasi perlintasan dapat dihitung dengan menghitung tinggi dari ΔEGI dan ΔFGJ yang dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut ini.



Gambar 5. 23 Segitiga ΔEGI dan ΔFGJ Untuk Perhitungan Panjang Antrian

Berikut contoh perhitungan t3-t2 pada pukul 06.46.32 – 06.51.22.

$$t_3 - t_2 = \frac{-1{,}17.\ (290)}{-21{,}32\ -(-1{,}17)} = 16{,}89 \text{ detik}$$

Durasi terjadinya hambatan (r) terjadi ketika palang pintu kereta api ditutup. Tabel 5.19 berikut ini adalah rekapitulasi waktu dan durasi penutupan palang pintu kereta api.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi

No	Waktu Penutupan		Lama Penutupan (detik)
	Awal	Akhir	
1	6:27:18	6:29:11	113
2	6:29:08	6:31:42	154
3	6:33:45	6:35:17	92
4	6:37:57	6:39:37	100
5	6:39:58	6:44:09	251
6	6:46:32	6:51:22	290
7	6:53:25	6:55:46	141
8	6:55:58	6:59:17	199
9	7:01:47	7:05:12	205
10	7:06:03	7:09:40	217
11	7:10:18	7:12:01	103
12	7:13:21	7:14:51	90
13	7:16:28	7:18:54	146
14	7:21:10	7:23:23	133
15	7:24:25	7:26:54	149
16	7:30:39	7:32:06	87
17	7:34:58	7:36:19	81
18	7:38:43	7:41:04	141
19	7:41:43	7:43:42	119

Lanjutan Tabel 5. 19 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi

No	Waktu Penutupan		Lama Penutupan (detik)
	Awal	Akhir	
20	7:46:48	7:47:57	69
21	7:48:38	7:52:11	213
22	7:52:29	7:53:28	59
25	7:55:08	7:56:19	71
26	7:56:54	7:57:58	64
27	7:59:21	8:02:03	162
28	8:05:12	8:06:25	73
29	8:11:31	8:13:46	135
30	8:18:03	8:19:09	66
31	8:20:14	8:21:57	103
32	8:26:21	8:29:00	159
33	8:30:55	8:32:24	89
34	8:34:13	8:35:48	95
35	8:38:24	8:39:08	44
36	8:44:12	8:45:12	60
37	8:49:04	8:49:46	42

Dengan mengetahui waktu penutupan palang pintu, dan nilai r atau waktu t_1-t_2, nilai panjang antrian dapat dihitung. Berikut contoh perhitungan panjang antrian metode gelombang kejut pada pukul 6.46.32 – 6.51.22.

$$Q_m = \omega_{CB} \cdot (t_3 - t_2)$$

$$Q_m = \omega_{CB} \cdot \frac{\omega_{AB} \cdot r}{\omega_{CB} - \omega_{AB}}$$

$$Qm = -21{,}33 \cdot \frac{-1{,}17 \cdot (290)}{-3{,}93 - (-1{,}024)} = 0{,}100105 \text{ km}$$

Nilai arus V_A yang dapat dilakukan analisis gelombang kejut adalah semua nilai arus yang masuk dari hulu pada periode yang sama ketika palang pintu tertutup. Rekapitulasi analisis gelombang kejut pada lokasi 1 *bottleneck on-ramp flyover* Lenteng Agung dapat dilihat pada Tabel 5.20 di halaman selanjutnya.

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi

Waktu Penutupan		Va	Vb	Vc	Da	Db	Dc	ω_{AB}	ω_{CB}	ω_{AC}	r	t2-t3	Qm
Awal	Akhir	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/km)	(smp/km)	(smp/km)	(km/jam)	(km/jam)	(km/jam)	(detik)	(detik)	(km)
6:27:18	6:29:11	1823,89	0	3739,27	49,83	350,58	175,29	-6,06	-21,33	15,27	113	44,89	0,27
6:29:08	6:31:42	361,17	0	3739,27	8,68	350,58	175,29	-1,06	-21,33	20,28	154	8,02	0,05
6:33:45	6:35:17	2048,48	0	3739,27	57,42	350,58	175,29	-6,99	-21,33	14,34	92	44,82	0,27
6:37:57	6:39:37	1071,00	0	3739,27	27,22	350,58	175,29	-3,31	-21,33	18,02	100	18,38	0,11
6:39:58	6:44:09	1038,41	0	3739,27	26,31	350,58	175,29	-3,20	-21,33	18,13	251	44,34	0,26
6:46:32	6:51:22	400,34	0	3739,27	9,65	350,58	175,29	-1,17	-21,33	20,16	290	16,89	0,10
6:53:25	6:55:46	637,02	0	3739,27	15,63	350,58	175,29	-1,90	-21,33	19,43	141	13,80	0,08
6:55:58	6:59:17	695,58	0	3739,27	17,14	350,58	175,29	-2,09	-21,33	19,25	199	21,57	0,13
7:01:47	7:05:12	760,39	0	3739,27	18,83	350,58	175,29	-2,29	-21,33	19,04	205	24,68	0,15
7:06:03	7:09:40	661,11	0	3739,27	16,25	350,58	175,29	-1,98	-21,33	19,35	217	22,17	0,13
7:10:18	7:12:01	2359,22	0	3739,27	68,80	350,58	175,29	-8,37	-21,33	12,96	103	66,54	0,39
7:13:21	7:14:51	2614,00	0	3739,27	79,13	350,58	175,29	-9,63	-21,33	11,70	90	74,06	0,44
7:16:28	7:18:54	1393,15	0	3739,27	36,44	350,58	175,29	-4,43	-21,33	16,90	146	38,32	0,23
7:21:10	7:23:23	952,78	0	3739,27	23,97	350,58	175,29	-2,92	-21,33	18,41	133	21,07	0,13
7:24:25	7:26:54	1484,70	0	3739,27	39,18	350,58	175,29	-4,77	-21,33	16,56	149	42,89	0,25
7:30:39	7:32:06	2060,69	0	3739,27	57,84	350,58	175,29	-7,04	-21,33	14,29	87	42,85	0,25
7:34:58	7:36:19	2206,67	0	3739,27	63,07	350,58	175,29	-7,68	-21,33	13,66	81	45,52	0,27
7:38:43	7:41:04	1184,68	0	3739,27	30,40	350,58	175,29	-3,70	-21,33	17,63	141	29,59	0,18
7:41:43	7:43:42	1716,81	0	3739,27	46,37	350,58	175,29	-5,64	-21,33	15,69	119	42,81	0,25

Lanjutan Tabel 5. 20 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi

Waktu Penutupan		Va	Vb	Vc	Da	Db	Dc	ω_{AB}	ω_{CB}	ω_{AC}	r	t2-t3	Qm
Awal	Akhir	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/jam)	(smp/km)	(smp/km)	(smp/km)	(km/jam)	(km/jam)	(km/jam)	(detik)	(detik)	(km)
7:46:48	7:47:57	2744,35	0	3739,27	84,87	350,58	175,29	-10,33	-21,33	11,00	69	64,77	0,38
7:48:38	7:52:11	952,39	0	3739,27	23,96	350,58	175,29	-2,92	-21,33	18,42	213	33,73	0,20
7:52:29	7:53:28	2797,63	0	3739,27	87,32	350,58	175,29	-10,63	-21,33	10,70	59	58,57	0,35
7:55:08	7:56:19	1761,97	0	3739,27	47,82	350,58	175,29	-5,82	-21,33	15,51	71	26,64	0,16
7:56:54	7:57:58	3290,63	0	3739,27	114,57	350,58	175,29	-13,94	-21,33	7,39	64	120,77	0,72
7:59:21	8:02:03	1287,78	0	3739,27	33,36	350,58	175,29	-4,06	-21,33	17,27	162	38,08	0,23
8:05:12	8:06:25	2749,32	0	3739,27	85,10	350,58	175,29	-10,36	-21,33	10,98	73	68,88	0,41
8:11:31	8:13:46	784,00	0	3739,27	19,46	350,58	175,29	-2,37	-21,33	18,96	135	16,85	0,10
8:18:03	8:19:09	1191,82	0	3739,27	30,61	350,58	175,29	-3,72	-21,33	17,61	66	13,96	0,08
8:20:14	8:21:57	2018,45	0	3739,27	56,38	350,58	175,29	-6,86	-21,33	14,47	103	48,83	0,29
8:26:21	8:29:00	1509,06	0	3739,27	39,91	350,58	175,29	-4,86	-21,33	16,47	159	46,88	0,28
8:30:55	8:32:24	1132,58	0	3739,27	28,93	350,58	175,29	-3,52	-21,33	17,81	89	17,60	0,10
8:34:13	8:35:48	2222,53	0	3739,27	63,65	350,58	175,29	-7,75	-21,33	13,59	95	54,16	0,32
8:38:24	8:39:08	3379,09	0	3739,27	120,89	350,58	175,29	-14,71	-21,33	6,62	44	97,77	0,58
8:44:12	8:45:12	2535,00	0	3739,27	75,81	350,58	175,29	-9,23	-21,33	12,11	60	45,73	0,27
8:49:04	8:49:46	3150,00	0	3739,27	105,70	350,58	175,29	-12,86	-21,33	8,47	42	63,80	0,38
8:53:24	8:55:17	1411,33	0	3739,27	36,98	350,58	175,29	-4,50	-21,33	16,83	113	30,21	0,18
8:59:31	9:00:35	1043,44	0	3739,27	26,45	350,58	175,29	-3,22	-21,33	18,11	64	11,37	0,07

Antrian pada setiap periode penutupan dapat tidak pulih atau tidak habis secara sepenuhnya. Hal ini disebabkan oleh pendeknya waktu antar dua periode penutupan atau terjadi arus berlebih pada hulu yang menyebabkan pemulihan antrian tidak terjadi sepenuhnya. Status antrian dapat diketahui dengan membandingkan total tundaan dengan selang waktu antara penutupan palang pintu pertama sampai penutupan palang pintu selanjutnya.

Waktu pemulihan (t_2-t_4) $= \frac{Qm}{\omega_{AC}} + t_2 - t_3$ (5. 5)

Waktu pemulihan (t_2-t_4) $= \left(\frac{(0{,}1001059062)}{20{,}1579}\right) \times 3600 + 16{,}8938$

Waktu pemulihan (t_2-t_4) $= 34{,}772\ detik$

Total tundaan $=$ **durasi penutupan pintu + waktu pemulihan**

Total tundaan $= r + (t_2 - t_4)$

Total tundaan $= 290 + 34{,}772$ detik

Total tundaan $= 324{,}772$ detik

Rekapitulasi status pemulihan antrian pada lokasi perlintasan sebidang kereta api Universitas Pancasila dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut ini.

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi

Waktu Penutupan		Total Tundaan	Waktu antara penutupan	Status kendaraan
Awal	Akhir			
6:27:18	6:29:11	220,60		
6:29:08	6:31:42	170,46	110	Belum Habis
6:33:45	6:35:17	203,46	277	Habis
6:37:57	6:39:37	140,14	252	Habis
6:39:58	6:44:09	347,50	121	Belum Habis
6:46:32	6:51:22	324,77	394	Habis
6:53:25	6:55:46	169,95	413	Habis
6:55:58	6:59:17	244,48	153	Belum Habis
7:01:47	7:05:12	257,33	349	Habis

Lanjutan Tabel 5. 21 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi

Waktu Penutupan		Total Tundaan	Waktu antara penutupan	Status kendaraan
Awal	Akhir			
7:06:03	7:09:40	263,61		
7:10:18	7:12:01	279,08	255	Belum Habis
7:13:21	7:14:51	299,07	183	Belum Habis
7:16:28	7:18:54	232,70	187	Belum Habis
7:21:10	7:23:23	178,48	282	Habis
7:24:25	7:26:54	247,12	195	Habis
7:30:39	7:32:06	193,80	374	Habis
7:34:58	7:36:19	197,63	259	Habis
7:38:43	7:41:04	206,39	225	Habis
7:41:43	7:43:42	220,02	180	Belum Habis
7:46:48	7:47:57	259,33	305	Habis
7:48:38	7:52:11	285,79	110	Belum Habis
7:52:29	7:53:28	234,29	231	Belum Habis
7:55:08	7:56:19	134,27	159	Belum Habis
7:56:54	7:57:58	533,42	106	Belum Habis
7:59:21	8:02:03	247,10	147	Belum Habis
8:05:12	8:06:25	275,74	351	Habis
8:11:31	8:13:46	170,81	379	Habis
8:18:03	8:19:09	96,88	392	Habis
8:20:14	8:21:57	223,81	131	Habis
8:26:21	8:29:00	266,59	367	Habis
			274	Habis

Lanjutan Tabel 5. 21 Rekapitulasi Waktu dan Durasi Penutupan Palang Pintu Periode Pagi

Waktu Penutupan		Total Tundaan	Waktu antara penutupan	Status kendaraan
Awal	Akhir			
8:30:55	8:32:24	127,67		
			198	Habis
8:34:13	8:35:48	234,21		
			251	Habis
8:38:24	8:39:08	456,80		
			348	Belum Habis
8:44:12	8:45:12	186,30		
			292	Habis
8:49:04	8:49:46	266,52		
			260	Belum Habis
8:53:24	8:55:17	181,51		
			367	Habis
8:59:31	9:00:35	88,77		
			0	

5.3.4 Pemodelan Simulasi Lalu Lintas dengan *Software VISSIM*

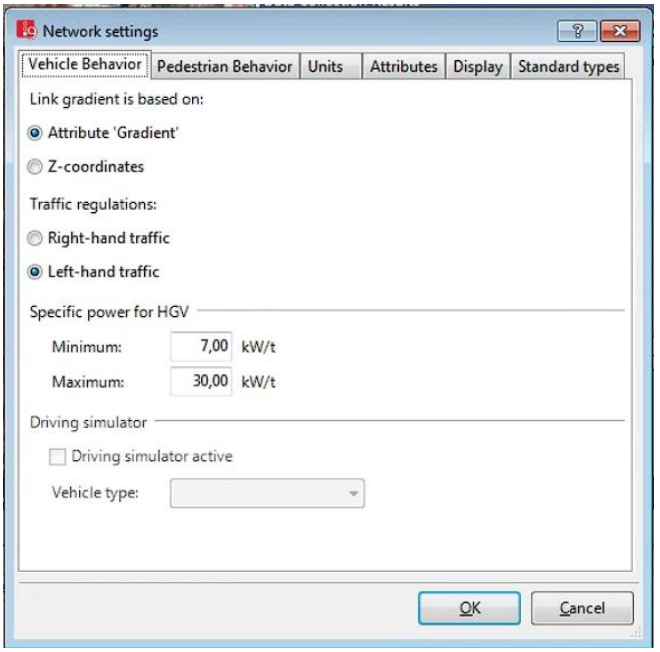
Sebagai *software* buatan negara Jerman, *PTV VISSIM* secara *default* mengatur beberapa parameter sesuai regulasi lalu lintas di Jerman maupun kondisi perilaku mengemudi yang diterapkan di Jerman. Sehingga untuk mereplikasi perilaku dan kondisi lalu lintas pada lokasi penelitian, dalam proses pembuatan model simulasi perlu adanya penyesuaian parameter agar simulasi yang dilakukan dapat mewakili kondisi lapangan. Semua parameter dan pengaturan yang tidak dijelaskan pada sub bab ini ditetapkan untuk mengikuti pengaturan *default* dari *software*. Berikut ini adalah tahapan pembuatan model dan parameter-parameter yang perlu diatur.

1. Pengaturan *Network Settings*

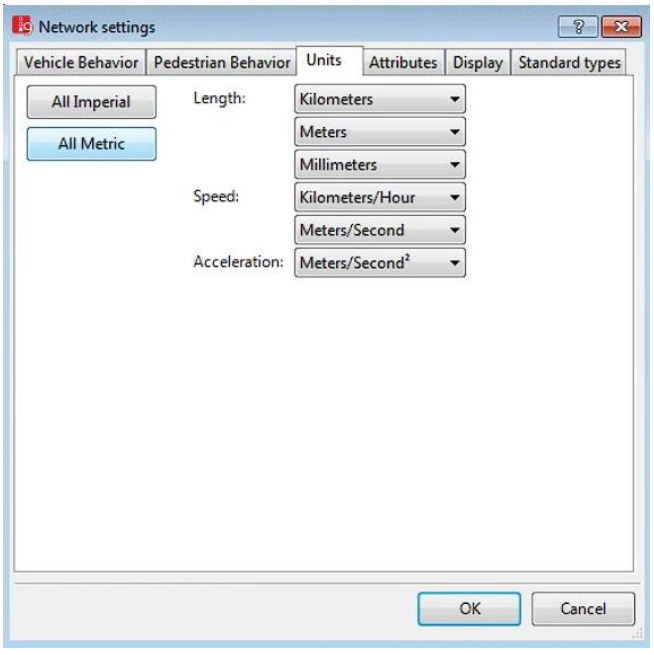
   Pengaturan Network Settings pada *VISSIM* dapat diakses pada menu *Base Data*. Pada pengaturan *Network Settings*, parameter yang diatur pada penelitian ini diantaranya adalah :

   a. Pada *Tab Vehicle Behaviour*, *Traffic Regulations* diatur menjadi *Left-hand traffic* untuk mengubah jalur berkendara menjadi jalur sebelah kiri.

   b. Pada *Tab Units* (satuan yang digunakan) diatur menjadi *All Metrics* untuk menggunakan Satuan Internasional (SI). Pengaturan Network Settings dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan 5.25 berikut di halaman selanjutnya.



Gambar 5. 24 Pengaturan *Vehicle Behaviour* pada *Network Settings*

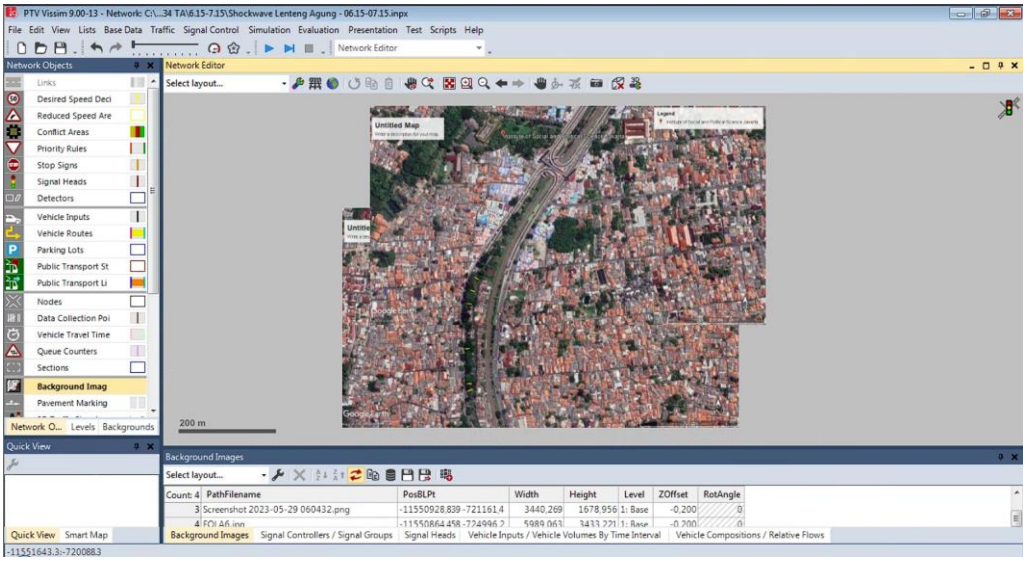


Gambar 5. 25 Pengaturan *Units* pada *Network Settings*

2. *Import Background*

   Sebelum pembuatan *link*, dapat dilakukan *import* gambar atau peta eksisting terlebih dahulu ke dalam *Vissim* sebagai acuan pembuatan *link*. *Background* yang dipakai dapat berupa *screenshot* dari layanan peta seperti *Google Maps* atau *Google Earth* yang menampilkan skala garis. Untuk import *screenshot*

sebagai *background*, klik *background images* pada *network objects*, kemudian klik kanan pada *network editor*, pilih "*add new background images*". Kemudian sesuaikan skala dengan klik kanan, lalu pilih "*set scale*" dan tarik garis sepanjang garis skala, lalu masukkan panjang sebenarnya sesuai dengan angka pada skala garis yang tertera pada *screenshot*. Pada penelitian ini, di-*import* beberapa *screenshot* gambar sebagai *background* pada lokasi 1 *bottleneck flyover* dan lokasi 2 perlintasan sebidang kereta. Hasil *import background images* dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5. 26 Proses *Import Background Images*

3. Pembuatan *Link* dan *Connectors*

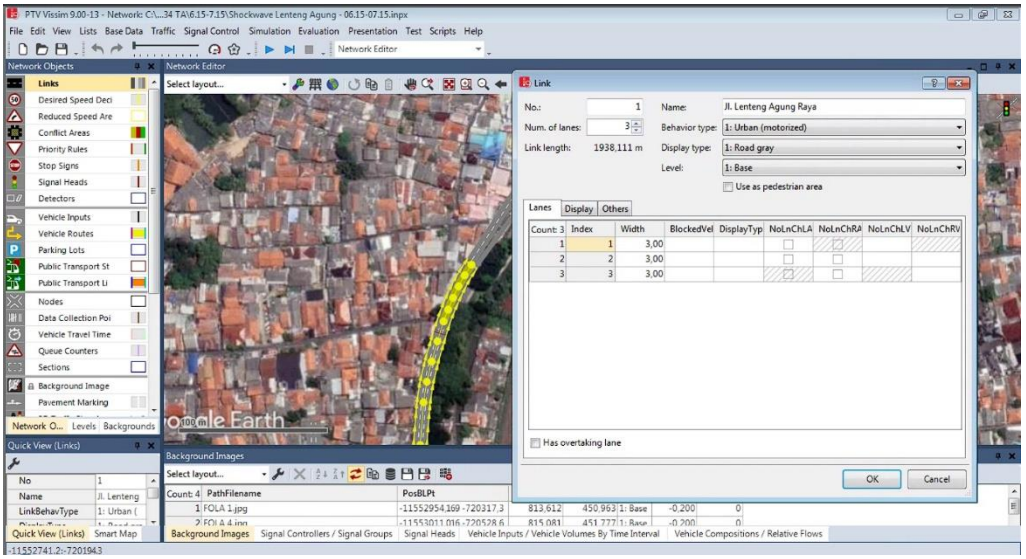
   Pembuatan link sendiri dapat dilakukan dengan mengeklik menu *Links* pada *Network Objects* yang tampak di sebelah kiri layar, setelah itu tahan tombol *shift* kemudian tahan klik kanan pada *mouse* lalu *drag* dan arahkan untuk meletakkan titik akhir *link. Window* pengaturan *link* akan muncul yang berisi pengaturan lajur yang disesuaikan sebagai berikut.

   a. Pada *Num. of lanes* diatur menyesuaikan jumlah lajur
   b. *Name* diatur sebagai nama lajur
   c. *Behaviour types* merupakan pilihan tipe *driving behaviour* (perilaku mengemudi) yang akan digunakan pada *link* tersebut. Penyesuaian

behaviour types dapat dilihat dan diatur pada parameter *driving behavours* dalam menu *Base Data*.

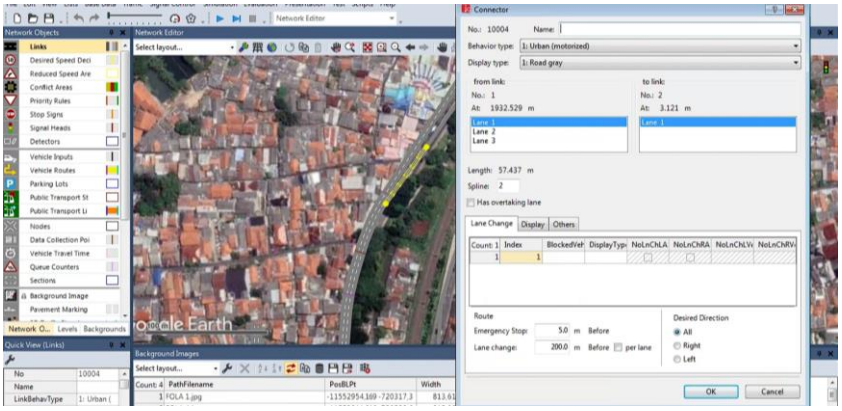
d. Pada tab *Lanes*, *Width* diatur menyesuaikan lebar lajur

Hasil pembuatan dan pengaturan *link* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.27 berikut.



Gambar 5. 27 Proses Pembuatan dan Pengaturan *Links*

Untuk menghubungkan dua link yang berbeda, dapat dilakukan dengan menahan tombol *shift* pada *keyboard*, lalu tahan klik kanan *mouse* pada daerah akhir *link* pertama, kemudian *drag* dan hubungkan pada titik awal link kedua yang ingin disambung. Selanjutnya *window connectors* akan muncul untuk mengatur ujung lajur yang ingin dihubungkan. Gambar 5.28 berikut adalah contoh hasil penghubungan *link* dengan *connectors.*



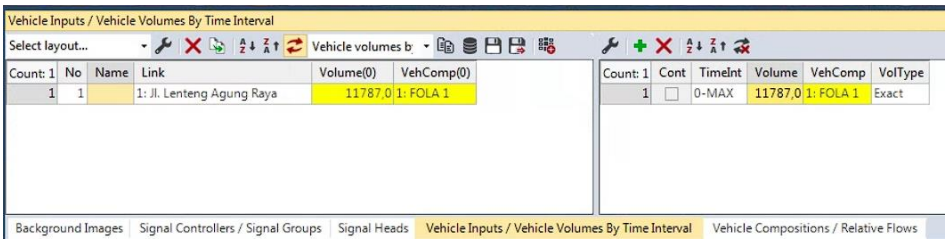
Gambar 5. 28 Proses Pembuatan dan Pengaturan *Connector*

4. Input *Vehicle Input*, *Vehicle Composition*, dan *Vehicle Routes*

   Pembuatan link sendiri dapat dilakukan dengan mengeklik menu *Links* pada *Network Objects* yang

   a. *Vehicle Input*

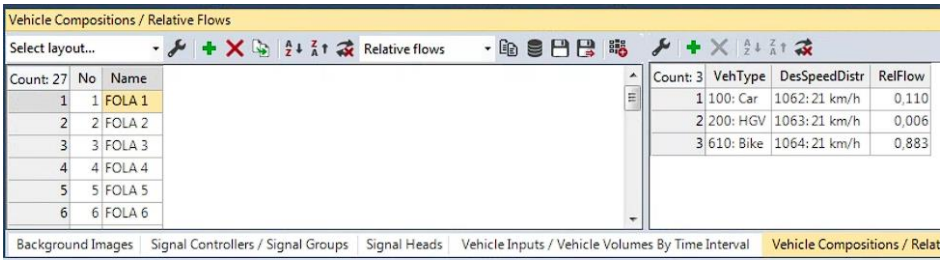
      Proses *vehicle input* dapat dilakukan dengan memilih *vehicle input* pada *Network Objects*, tahan tombol *shift*, kemudian klik *link* yang diinginkan. Posisi *vehicle input* secara otomatis akan selalu berada pada posisi hulu *link*. Satuan *vehicle input* adalah *vehicle per hours* atau kendaraan per jam. *Vehicle input* dapat dianalogikan sebagai *demand* atau *rate of flow* dari jalan sehingga tidak akan bergantung pada berapa lama simulasi dilakukan (*simulation period*), melainkan bergantung pada *time interval* yang ditentukan. *Vehicle input* dapat bersifat stokastik (akan terdapat fluktuasi pada *rate of flow*) atau *exact* (*rate of flow* konsisten pada nilai *vehicle input* yang dimasukkan). Hasil penginputan *vehicle input* dapat dilihat pada Gambar 5.29 di bawah.



Gambar 5. 29 Proses *Input Vehicle Input*

   b. *Vehicle Composition*

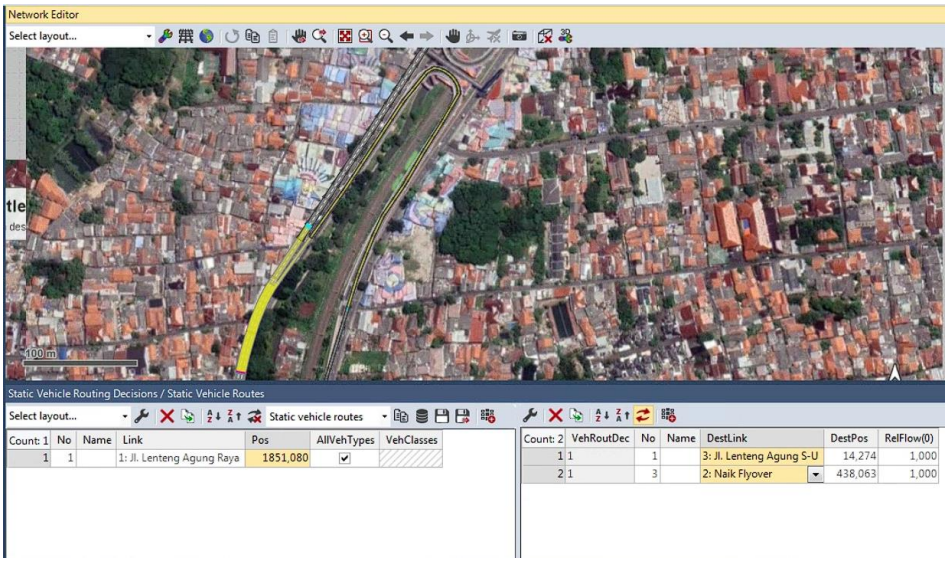
      Vehicle composition merupakan bagian dari parameter *vehicle input* yang mengatur perbandingan jenis kendaraan berdasarkan pada besar *vehicle input* yang dimasukkan. *Vehicle composition* mengatur persentase jumlah dan kecepatan pada setiap jenis kendaraan. Hasil pengaturan *vehicle composition* dapat dilihat pada Gambar 5.30 di halaman selanjutnya



Gambar 5. 30 Proses *Input Vehicle Compositions*

c. *Vehicle Routes*

Vehicle routes merupakan parameter untuk menentukan pergerakan kendaraan pada persimpangan atau lajur memisah. *Vehicle routes* bekerja dengan membagi arus yang lewat pada titik *vehicle routes* ke lajur *destination link* yang dituju berdasarkan pada rasio kendaraan yang diinput. Pada penelitian ini, *vehicle routes* digunakan untuk membagi antara kendaraan yang berbelok kanan untuk memutar balik lewat di *flyover* IISIP (lokasi-penelitian 1) maupun di *u-turn* perlintasan sebidang kereta api (lokasi penelitian 2), dengan kendaraan yang lurus tetap di Jalan Raya Lenteng Agung. Hasil pembuatan *vehicle routes* dapat dilihat pada Gambar 5.31 di bawah ini.



Gambar 5. 31 Proses *Input Static Vehicle Routing Decisions*

5. *Input Driving Behaviour*

Driving behaviour atau perilaku mengemudi adalah parameter mikroskopik dalam *software VISSIM* yang mengatur interaksi antar kendaraan dan lalu lintas di sekitarnya sehingga secara signifikan berkontribusi langsung terhadap hasil simulasi lalu lintas. Berikut merupakan penjelasan dari parameter *driving behaviour* yang dikalibrasi pada penelitian ini.

a. *Tab Following*

1) *Car-following model*

Model *car-following* oleh *Wiedemann* didasarkan pada asumsi bahwa terdapat empat keadaan mengemudi yang berbeda pada pengendara yaitu saat mengemudi bebas (*free driving*), saat mendekat (*approaching*), saat mengikuti (*following*), dan saat mengerem (*braking*). Terdapat 2 jenis model dalam *VISSIM*, yaitu *Wiedemann 74* dan *Wiedemann 91*. *Wiedemann 74* adalah model yang cocok untuk lalu lintas perkotaan, sedangkan model *Wiedemann 91* lebih cocok untuk jalan tanpa hambatan. Sehingga pada penelitian ini, digunakan model *car-following Wiedemann 74.* Berikut ini adalah parameter model *Wiedemann 74* yang akan dikalibrasi pada penelitian ini.

2) *Average standstil distance* : mengatur jarak rata-rata yang diinginkan antar kendaraan.

3) *Additive* dan *multiplicative part of safety distance* : mengatur faktor tambahan dan pengali untuk jarak yang diinginkan.

4) *Observed vehicles*: mengatur jumlah pergerakan kendaraan yang diamati dan diprediksi oleh satu kendaraan agar dapat bereaksi.

b. *Tab Lane Change*

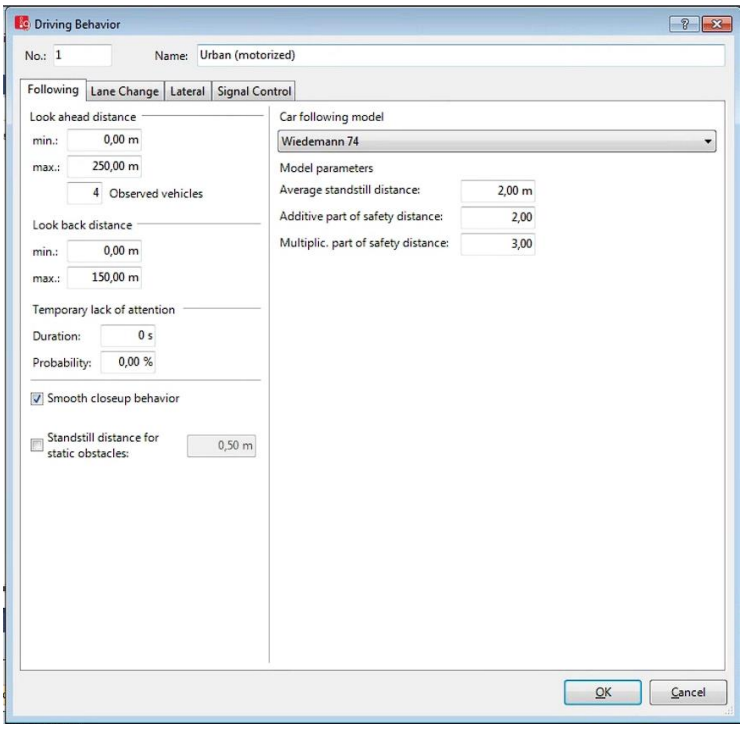
1) *Min. headway (front/rear)* : mengatur jarak depan belakang minimum antara dua kendaraan yang diperlukan oleh suatu kendaraan untuk menyiap.

2) *Safety distance reduction factor* : faktor pengali jarak aman menyiap

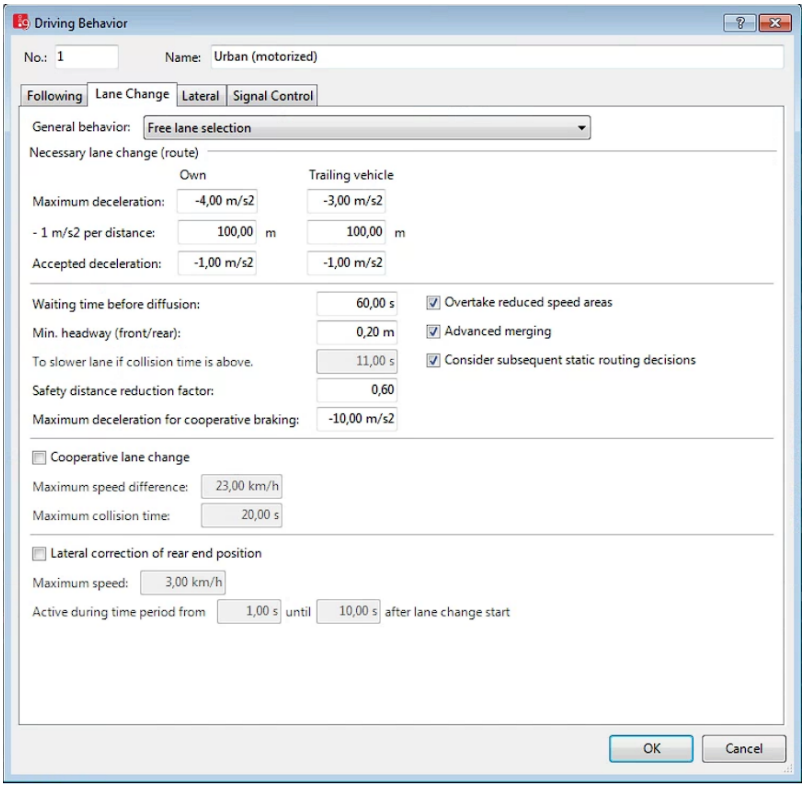
c. *Tab Lateral*

1) *Desired position at free flow* : orientasi posisi lateral kendaraan saat dalam arus bebas
2) *Safety distance reduction factor* : faktor pengali jarak aman menyiap
3) *Keep lateral distance to vehicles on next lane* : apabila opsi ini dicentang, kendaraan akan mempertahankan jarak lateralnya terhadap kendaraan di samping lajur.
4) *Diamond shaped queueing* : apabila opsi ini dicentang, antrian kendaraan akan mengambil posisi yang lebih realistis (diagonal).
5) *Consider next turning direction* : apabila opsi ini dicentang, kendaraan akan mempertimbangkan perilaku menyiap pada *connector* selanjutnya.
6) *Overtake on same lane* : apabila opsi ini dicentang, kendaraan akan menyiap di lajur yang sama. Jarak lateral minimum kiri dan kanan kendaraan untuk meyiap dapat diatur ketika kendaraan berhenti dan berjalan.

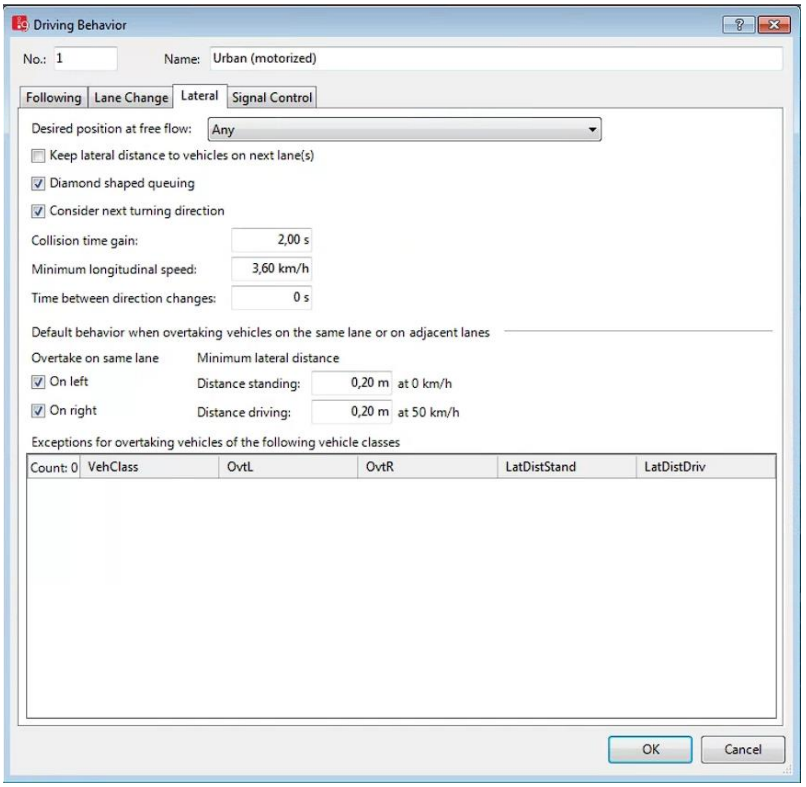
Proses kalibrasi *driving behaviour* dapat dilihat pada Gambar 5.32 Sampai gambar 5.34 berikut ini.



Gambar 5. 32 Proses Kalibrasi *Tab Following* pada *Driving Behaviour*



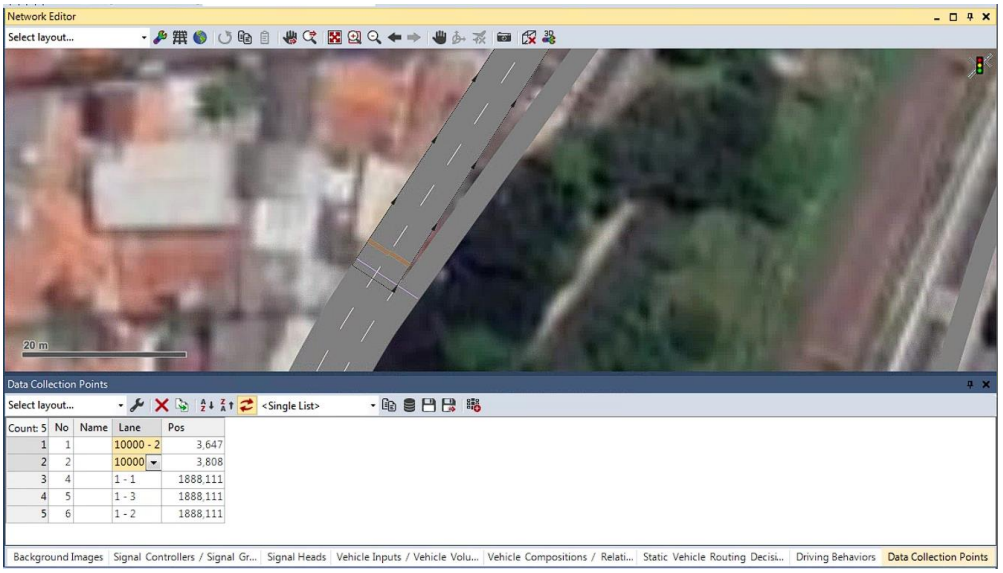
Gambar 5. 33 Proses Kalibrasi *Tab Lane Change* pada *Driving Behaviour*



Gambar 5. 34 Proses Kalibrasi *Tab Lateral* pada *Driving Behaviour*

6. *Input Data Collection Point*

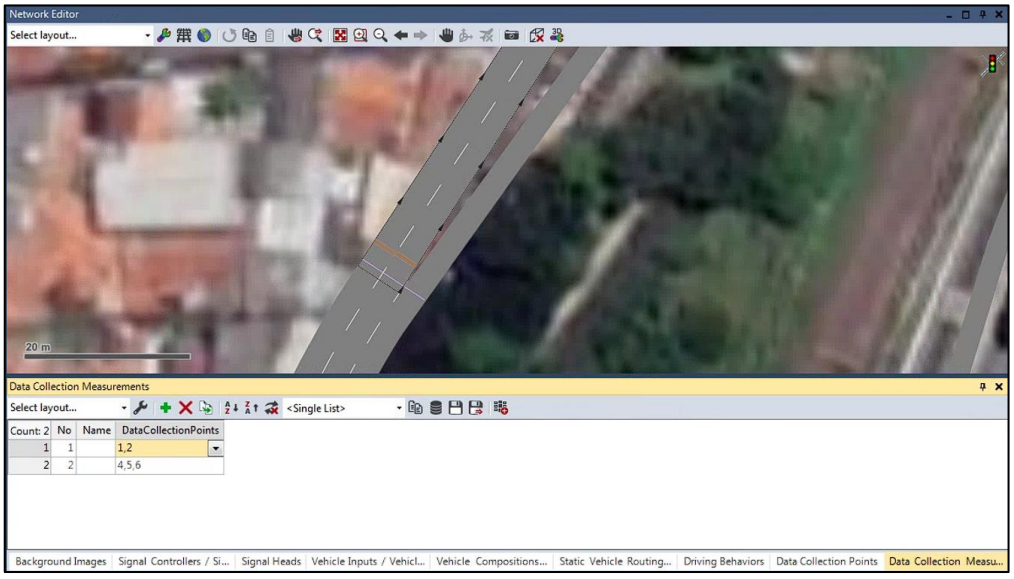
   Data collection point adalah parameter evaluasi pada simulasi yang dapat digunakan untuk mencari besar arus dan kecepatan yang pada titik dan lajur tertentu jalan. Pada model, titik *DCP* diletakkan sesuai titik posisi pengamatan arus lalu lintas di lapangan. Proses *input data collection point* dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut ini.



Gambar 5. 35 Proses Peletakkan *Data Collection Points*

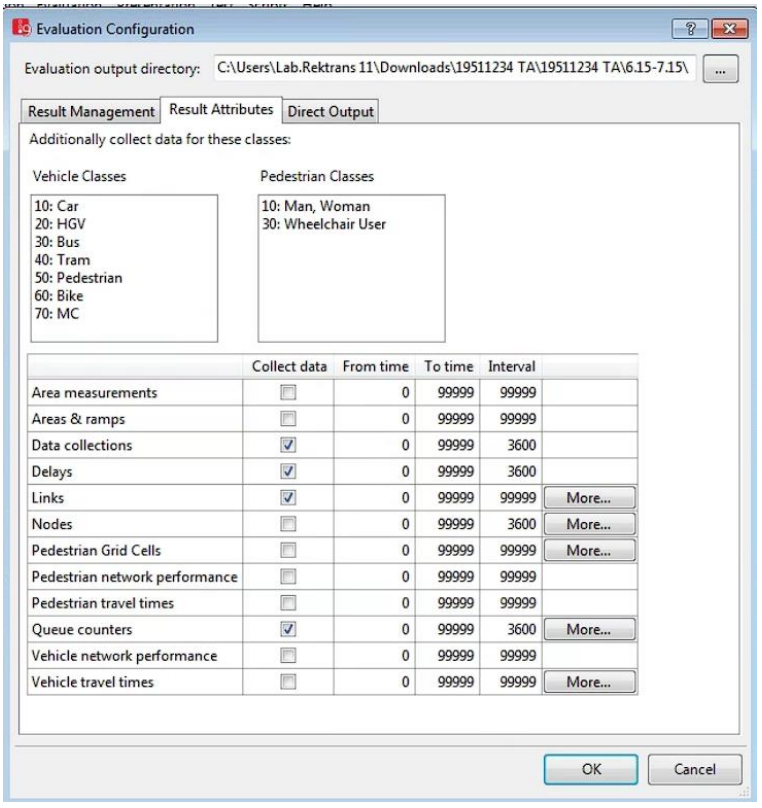
7. Pengaturan parameter *Evaluation*

   Setelah penempatan *data collection point* selesai maka selanjutnya mengelompokkan beberapa *data collection point* sebagai *data collection measurement.* Hal ini dilakukan agar titik-titik *DCP* dapat mengumpulkan data evaluasi menjadi tabel hasil rekapitulasi seperti jumlah, kecepatan aritmatik dan harmonik, akselerasi, dan okupansi dari kendaraan yang melewati titik *DCP*. Proses pengaturan parameter *DCM* dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut di halaman selanjutnya.



Gambar 5. 36 Proses Pengelompokkan *Data Collection Measurements*

Setelah pengaturan *data collection measurements* selesai maka dilanjutkan dengan melakukan pengaturan pada *evaluation* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.37 sebagai berikut.



Gambar 5. 37 Pengaturan Konfigurasi *Evaluation*

5.3.5 Kalibrasi Model

Kemungkinan untuk hasil simulasi *VISSIM* sama dengan analisis gelombang kejut pada percobaan pertama sangat kecil. Hal ini dikarenakan nilai *default* dari parameter *VISSIM* dibuat berdasarkan kondisi lalu lintas serta perilaku mengemudi di negara eropa seperti Jerman. Tabel 5.22 di bawah ini adalah hasil pemodelan *VISSSIM* menggunakan nilai *default* atau sebelum dilakukan kalibrasi.

Tabel 5. 22 Validasi *Output VISSIM* Sebelum Kalibrasi

Validasi Arus Jam Puncak Sebelum Kalibrasi				
Lokasi Pengamatan	**Titik Pengamatan**	**Volume Lapangan (kend)**	**Volume *VISSIM* (kend)**	***GEH***
Lokasi 1 *Bottleneck flyover* Lenteng Agung	Titik 1 Jalan Normal	11787	3061,2	98,16
	Titik 2 Jalan Menyempit	11410	3060,4	101,27
Lokasi 2 *U-turn p*erlintasan sebidang rel kereta api Universitas Pancasila	Titik 1 *Upstream* (130 m dari pintu perlintasan)	6241	2002	66,11

Oleh karena itu diperlukan kalibrasi parameter mikroskopik *driving behaviour* agar sesuai dengan kondisi eksisting yang ada di Indonesia khususnya di Jalan Raya Lenteng Agung. Hasil survei lapangan yang digunakan sebagai input kalibrasi adalah spasi kendaraan rata-rata dan geometrik jalan. Spasi kendaraan rata-rata diinput pada elemen *average standstill distance* dan *average part of standstill distance.* Sedangkan hasil survei geometrik jalan dapat dipakai dalam pemodelan *link* yaitu bentuk alinyemen horizontal dan lebar pada jalan. Parameter lainnya dikalibrasi menyesuaikan dengan hasil pengamatan kondisi perilaku lalu lintas di lapangan.

Perubahan nilai parameter *driving behaviour* serta visualisasi model sebelum dan sesudah proses kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 5.23 serta gambar 5.38 dan 5.39 berikut di halaman selanjutnya.

Tabel 5. 23 Kalibrasi Parameter *Driving Behaviour*

No.	Parameter yang Dikalibrasi	Elemen		Nilai	
				Sebelum	Sesudah
1	*Following*	*Car-following model*		*Wiedemann 74*	*Wiedemann 74*
2		*Average Standstill Distance (m)*		2 m	0,8 m
3		*Average Part of Safety Distance (m)*		2	0,2
4		*Multiplicative Part of Safety Distance (m)*		3	1
5		*Observed Vehicles*		4	9
6	*Lane Change*	*Min. Headway (front/rear)*		0,5	0,2
7		*Safety reduction factor*		0,6	0,6
8		*Desired position at free flow*		*Middle of lane*	*Any*
9	*Lateral*	*Diamond shaped queueing*		*Unchecked*	*Checked*
10		*Consider next turning direction*		*Unchecked*	*Checked*
		Overtake on Same Lane	*On left*	*Unchecked*	*Checked*
			On Right	*Unchecked*	*Checked*



Gambar 5. 38 Lalu Lintas Sebelum Kalibrasi



Gambar 5. 39 Lalu Lintas Setelah Kalibrasi

5.3.6 Validasi Model

Setelah dilakukan kalibrasi, validasi atau uji statistik dilakukan terhadap hasil simulasi model *VISSIM* dan hasil analisis gelombang kejut. Validasi hasil simulasi *VISSIM* dilakukan untuk mengecek kesesuaian model simulasi terhadap kondisi lapangan yang dalam hal ini ditinjau dari nilai arus. Untuk mementukan nilai *GEH* dibutuhkan nilai arus hasil observasi dan nilai arus hasil simulasi. Tabel di bawah ini adalah hasil validasi simulasi model *VISSIM* dengan nilai *GEH*. Perbandingan jumlah arus *input* dan *output* dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5. 24 Validasi *Output VISSIM* Setelah Kalibrasi

Validasi Arus Jam Puncak Setelah Kalibrasi					
Lokasi Pengamatan	**Titik Pengamatan**	**Volume Lapangan (kend)**	**Volume *VISSIM* (kend)**	***GEH***	**Panjang Antrian (m)**
Lokasi 1 *Bottleneck flyover* Lenteng Agung	Titik 1 Jalan Normal	11787	11461	3,024	1345,4
	Titik 2 Jalan Menyempit	11410	11385	0,234	
Lokasi 2 *U-turn* perlintasan sebidang rel kereta api	Titik 1 *Upstream* (130 m dari pintu perlintasan)	6247	6241	0,083	130,9

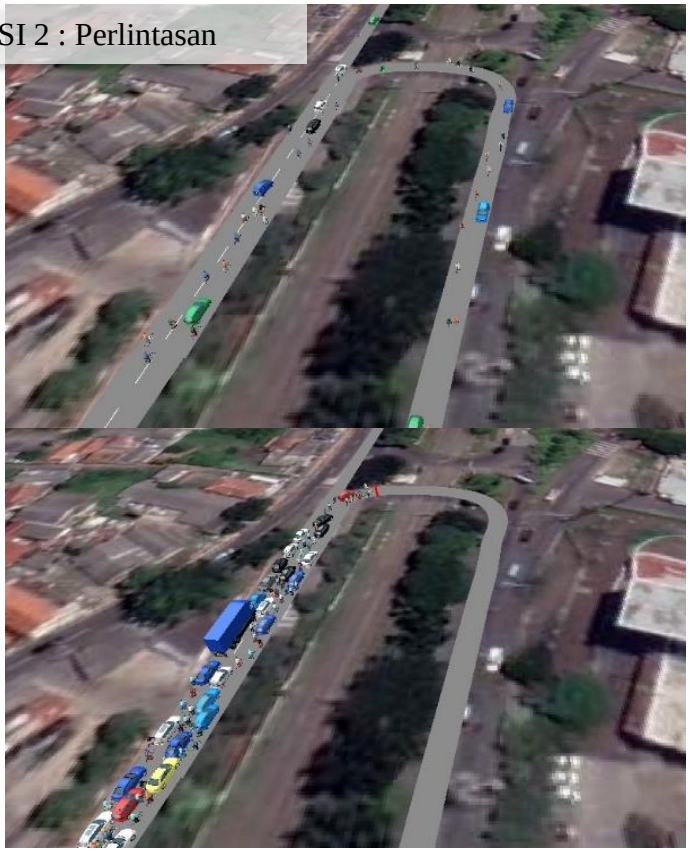
Berdasarkan Tabel 5.24 nilai *GEH* pada lokasi penyempitan jalan dan perlintasan sebidang kereta api sudah berada di bawah 5. Hal ini berarti model dapat dikatakan mewakili kondisi lapangan karena nilai arus yang disimulasikan sudah mendekati nilai arus observasi. Proses *running* simulasi *VISSIM* pada lokasi penyempitan dan perlintasan dapat dilihat pada Gambar 5.40 dan 5.41 berikut.

LOKASI 1 : *BOTTLENECK*



Gambar 5. 40 Simulasi Model pada Lokasi *Bottleneck*

LOKASI 2 : Perlintasan



Gambar 5. 41 Simulasi Model pada Lokasi Perlintasan

5.4 Solusi Pengurangan Panjang Antrian

Pada kasus di lokasi 1 *bottleneck flyover*, selama *demand* atau arus yang datang di hulu lebih besar daripada kapasitas jalan menyempit, akan mengakibatkan antrian yang cukup panjang karena hambatan akan terus terjadi selama *demand* > *capacity 2 lane.* Pada kasus di lokasi 2 perlintasan sebidang kereta api, antrian dapat menjadi lebih panjang apabila waktu pemulihan arus lebih besar dibanding waktu antar penutupan. Hal ini tentu akan mengakibatkan antrian tidak habis yang jauh lebih panjang di depan palang pintu perlintasan.

Pada penelitian ini, penulis melakukan simulasi yang dapat dijadikan solusi alternatif untuk mengurangi terjadinya antrian.

5.4.1 Jalur *Diverging* di Lokasi *Bottleneck Flyover*

Rencana lajur tambahan dapat dilihat pada Gambar 5.42 berikut ini. Jalur tambahan memisah 50 meter sebelum *bottleneck* untuk kembali bergabung dengan Jalan Raya Lenteng Agung pada 100 meter setelah *bottleneck.* Penambahan jalur ini untuk memberi pilihan bagi pengendara yang ingin tetap menuju arah utara pada Jalan Raya Lenteng Agung namun tidak ingin melewati *bottleneck.* Visualisasi jalur *diverging* dapat dilihat pada Gambar 5.42 berikut.



Gambar 5. 42 Visualisasi Solusi dengan Pembangunan Jalur *Diverging*

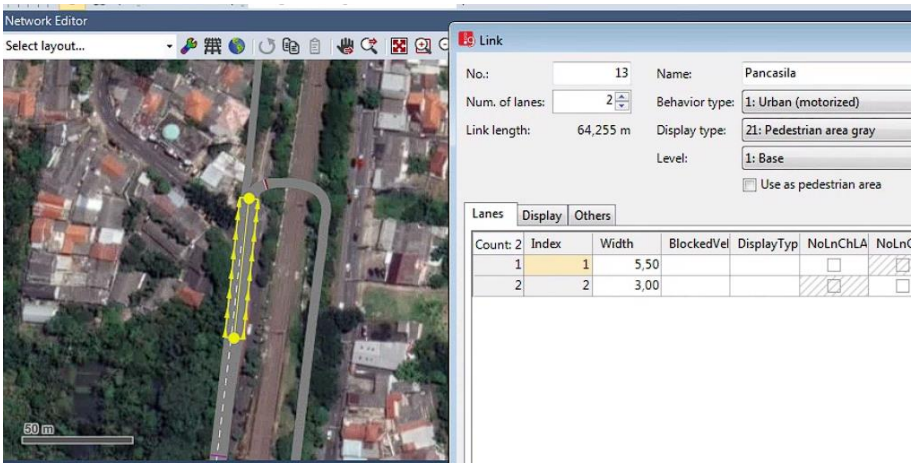
Simulasi dengan *VISSIM* dilakukan dengan asumsi jalur yang dibangun adalah 1 lajur selebar 4 meter. Arus yang digunakan dalam simulasi adalah arus jam puncak dengan asumsi 25% arus yang masuk ke jalur *diverging*. Tabel 5.25 berikut menunjukkan penurunan panjang antrian hasil simulasi untuk solusi jalur *diverging*.

Tabel 5. 25 Penurunan Panjang Antrian Setelah Penerapan Solusi *Diverging*

Lokasi Pengamatan	Titik Pengamatan	Panjang Antrian Awal (km)	Panjang Antrian Setelah Dibangun Diverging (km)	Penurunan Panjang antrian (%)
Lokasi 1 *Bottleneck flyover* Lenteng Agung	Titik 1 Jalan Normal	1,38	0,7	-50,72
	Titik 2 Jalan Menyempit			

5.4.2 Pelebaran jalan di Lokasi Perlintasan Sebidang Kereta Api

Pada lokasi perlintasan sebidang, solusi adalah berupa pelebaran jalan pada lajur kanan yang menuju perlintasan. Pelebaran yang direncanakan adalah 1,5 meter pada lajur kanan. Lebar awal 3 meter menjadi 4,5 meter pada jalan normal dan lebar awal 4 meter menjadi 5,5 meter pada di mulut simpang. Titik pelebaran dimulai sejauh 100 meter sebelum perlintasan. Visualisasi *flyover overpass* perlintasan dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut.



Gambar 5. 43 Visualisasi Solusi dengan Pelebaran Lajur Kanan

Tabel 5.26 berikut menampilkan hasil simulasi panjang antrian dan kecepatan untuk solusi pelebaran jalan.

Tabel 5. 26 Penurunan Panjang Antrian Setelah Penerapan Solusi Pelebaran Jalan

Lokasi Pengamatan	Titik Pengamatan	Panjang Antrian Awal (km)	Panjang Antrian Setelah Penerapan Solusi (km)	Penurunan Panjang antrian (%)
Lokasi 2 *U-turn* perlintasan sebidang rel kereta api	Titik 1 *Upstream* (130 m dari pintu perlintasan)	130,93	63,87	-51,22

5.5 Pembahasan

Penelitian ini memodelkan hubungan antar parameter makroskopik di lokasi penelitian untuk mengetahui karakteristik dari arus lalu lintas. Karakteristik lalu lintas dijelaskan dengan menganalisis parameter makroskopik dari model hubungan arus-kecepatan-kepadatan yaitu kecepatan optimum (*Sm*), kepadatan optimum (*Dm*) dan arus maksimum/kapasitas (*Vm*). *Sm* dapat diartikan sebagai kecepatan optimum yang dapat ditempuh kendaraan ketika arus yang lewat berada pada titik tertinggi. Dengan kata lain, meskipun terjadi penurunan kecepatan, kendaraan yang lewat dapat terlayani sepenuhnya. Dari hasil pemodelan, didapat kecepatan optimum pada lokasi *bottleneck* sebesar 13,92 km/jam di jalan normal, dan 11,74 km/jam di jalan menyempit. Sedangkan kecepatan optimum di hulu lokasi perlintasan diperoleh sebesar 21,33 km/jam. *Dj* merupakan tingkat kepadatan maksimum dari penggal jalan atau tingkat kepadatan dimana kemacetan terparah terjadi yang mengakibatkan kendaraan berhenti total. Tingkat kepadatan macet pada lokasi *bottleneck* diperoleh sebesar 876,57 smp/km di jalan normal, dan 839,26 smp/km di jalan menyempit. Sedangkan di lokasi hulu perlintasan sebidang, *Dj* diperoleh sebesar 350,58 smp/km. Selain itu, parameter paling penting dalam

pemodelan hubungan adalah untuk kapasitas jalan dalam menampung arus lalu lintas (*Vm*). Perhitungan kapasitas jalan pada penelitian ini berbeda dengan perhitungan kapasitas pada umumnya yang menggunakan faktor-faktor penyesuaian dari panduan kapasitas jalan yang diatur oleh Direktorat Jenderal Bina Marga. Kapasitas jalan pada penelitian ini dianalisis dengan mengetahui volume maksimum (*Vm*) dari model hubungan arus dan kepadatan. Berdasarkan hasil pemodelan hubungan, terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada kapasitas lalu lintas yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh bentuk persamaan yang diasumsikan oleh tiap model berbeda-beda. Hasil penelitian Model *Greenberg* dimana persamaan hubungan kecepatan-kepadatan diasumsikan berbentuk logaritmik, menghasilkan volume maksimum yang lebih kecil pada semua lokasi survei dibanding model *Greenshields* dan *Underwood.* Kapasitas jalan sangat penting dalam proses analisis gelombang kejut karena akan menentukan besarnya nilai kecepatan gelombang kejut. Untuk itu, koefisien determinasi ditentukan sebagai parameter untuk melihat kekuatan dari hubungan sehingga dapat ditentukan model mana yang lebih baik untuk digunakan. Hasil dari analisis volume maksimum atau kapasitas jalan masing-masing model dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut.

Tabel 5. 27 Hasil Analisis Kapasitas Jalan Dari Model Karakteristik Lalu Lintas

Lokasi Pengamatan	**Titik**	***Greenshields***		***Greenberg***		***Underwood***	
		Kapasitas (*Vm*) Smp/jam	**R^2**	**Kapasitas (*Vm*) Smp/jam**	**R^2**	**Kapasitas (*Vm*) Smp/jam**	**R^2**
Lokasi 1 *Bottleneck flyover* Lenteng Agung	Titik 1	6150,53	0,958	4488,74	**0,994**	5323,58	0,986
	Titik 2	4185,21	0,949	3624,63	**0,976**	4299,41	0,968
Lokasi 2 *U-turn* perlintasan sebidang rel kereta api Universitas Pancasila	Titik 1	3739,27	**0,9856**	2940,71	0,983	3157,51	0,9857

Berdasarkan analisis yang dilakukan, metode gelombang kejut mengidentifikasi titik dimana gelombang kejut bentukan bertemu dengan gelombang kejut pemulihan. Lokasi dari titik tersebutlah yang mewakili ekor dari antrian sehingga panjang antrian maksimum dapat diperoleh. Dari hasil analisis pada lokasi *bottleneck*, didapatkan gelombang kejut mundur bentukan terbesar (ω_{AB}) yang dialami oleh penggal jalan normal sebesar –1,024 km/jam dan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{AC}) sebesar –6,823 km/jam serta panjang antrian terbentuk sebesar 1,38 km selama 1 jam. Sedangkan pada lokasi perlintasan sebidang, didapatkan gelombang kejut bentukan terbesar –14,71 km/jam dan gelombang kejut pemulihan sebesar –21,332 serta panjang antrian terbentuk sebesar 0,579 km selama 44 detik. Dilihat dari hasil pada Tabel 5.20, panjang antrian tidak bergantung pada lama hambatan terjadi (r), melainkan gelombang kejut bentukan lah yang berkontribusi lebih besar pada panjang antrian.

Untuk mengetahui keakuratan analisis gelombang kejut dalam memprediksi panjang antrian, dilakukan simulasi model lalu lintas terhadap kondisi eksisting dengan *software VISSIM*. Berdasarkan hasil panjang antrian dengan simulasi *VISSIM*, nilai panjang antrian maksimum (*Qm*) lebih kecil dibanding panjang antrian maksimum yang dihasilkan dengan metode gelombang kejut. Perbedaan panjang antrian yang dihasilkan divalidasi dengan nilai *MAPE* sebagai tolak ukur hasil panjang antrian metode gelombang kejut dibandingkan dengan hasil simulasi kondisi eksisting dengan *VISSIM.*

Tabel 5. 28 Perbandingan Panjang Antrian Analisis Gelombang Kejut dan Pemodelan *VISSIM*

Lokasi Pengamatan	**Panjang Antrian (m)**		**Nilai MAPE**
	Metode Analisis Gelombang Kejut	**Metode Pemodelan *VISSIM***	
Lokasi 1 *Bottleneck flyover* Lenteng Agung	1384,3	1345,4	**2,81**
Lokasi 2 *U-turn* perlintasan sebidang rel kereta api Universitas Pancasila	100,1	130,9	**30,76**

Dilihat dari Tabel 5.28 di atas, dapat disimpulkan kemampuan peramalan panjang antrian maksimum dengan nilai *MAPE* 2,81% pada metode gelombang kejut sudah sangat baik di *bottleneck*. Sedangkan nilai *MAPE* 30,76% terlalu besar pada lokasi perlintasan karena *input* arus yang terlalu kecil. Perlu diingat pula bahwa terdapat keterbatasan pada metode analisis gelombang kejut dalam menjelaskan beberapa fenomena lalu lintas seperti disiplin antrian kendaraan serta perilaku pelepasan antrian. Selain itu, terdapat perbedaan pada dimensi kendaraan dimana metode gelombang kejut menggunakan nilai EMP dari Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia 2023 untuk menkonversi dimensi kendaraan.

Sebagai perbandingan dengan penelitian terdahulu, penelitian ini menjadikan hasil simulasi *VISSIM* sebagai nilai yang merepresentasikan kondisi ril di lapangan. *Input* yang dimasukkan dalam *VISSIM* adalah spasi kendaraan rata-rata, lebar jalan, dan hasil pengamatan perilaku mengemudi di lokasi survei. Solimin (2002) melakukan penelitian gelombang kejut pada perlintasan sebidang kereta api dengan membandingkan panjang antrian dari gelombang kejut dan panjang antrian ril yang diukur di lapangan. Hasil dari penelitian diperoleh dari analisis gelombang kejut, panjang antrian rata-rata sebesar 48,07 meter dan panjang antrian rata-rata yang terjadi di lapangan adalah 14,57 meter. Terdapat *error* terhadap hasil observasi dengan nilai *MAPE* sebesar 69,6%. Sedangkan Ramadhan (2017) melakukan analisis gelombang kejut pada penyempitan jalan. Dalam penelitiannya, nilai konversi EMP dihitung dengan analisis rasio *headway*. Serupa dengan Solimin, dilakukan perbandingan hasil panjang antrian dari analisis gelombang kejut dengan panjang antrian ril di lapangan. Hasil nilai *MAPE* pada perbandingan panjang antrian gelombang kejut terhadap hasil observasi ril sebesar 1,08%. Hasil nilai validasi *MAPE* terhadap kondisi lapangan pada penelitian gelombang kejut dapat dilihat pada Tabel 5.29 di halaman selanjutnya.

Tabel 5. 29 Perbandingan Nilai *MAPE* Panjang Antrian Metode Analisis Gelombang Kejut dengan Penelitian Terdahulu

Lokasi Pengamatan	**Nilai *MAPE* Panjang Antrian Metode Gelombang Kejut**		
	Solimin (2006)	**Ramadhan (2017)**	**Rizki (2023)**
	Terhadap Panjang Antrian Lapangan	**Terhadap Panjang Antrian Lapangan**	**Terhadap Panjang Antrian *VISSIM***
Lokasi 1 *Bottleneck*		1,08	2,81
Lokasi 2 Perlintasan Sebidang Kereta Api	69,69		30,76

Perbedaan yang cukup jauh pada nilai *MAPE* di ketiga penelitian menggambarkan bahwa masih kurangnya konsistensi dari analisis gelombang kejut untuk mendeskripsikan perilaku antrian. Antrian pada kondisi ril di lapangan melibatkan fenomena mikroskopik seperti perilaku mengemudi yang tidak dapat diperoleh pada analisis gelombang kejut.

Penelitian ini mensimulasikan beberapa solusi alternatif untuk mengurangi panjang antrian. Solusi didasarkan pada parameter yang berkontribusi terhadap terbentuknya antrian serta kondisi eksisting jalan. Kondisi eksisting di sebelah barat lokasi *bottleneck* berupa pemukiman padat dan di sebelah timur berupa area hijau bantaran Kalibaru selebar ± 6 m. Solusi yang disimulasikan adalah pembangunan jalur *diverging* baru sepanjang 150 m yang akan bergabung kembali (*merging*) ke Jalan Raya Lenteng Agung. Pembangunan jalur ini dimaksudkan agar arus yang datang dapat terbagi sehingga kepadatan menurun dan kecepatan tidak menurun drastis ketika terjadi penurunan kapasitas jalan. Selain itu, suksesnya jalur *diverging* yang telah ada di bawah *flyover* IISIP dalam mengurangi kepadatan di Jalan Raya Lenteng Agung membuat solusi ini dinilai memungkinkan untuk ditempuh. Simulasi solusi menggunakan arus tertinggi pada *VISSIM* menghasilkan pengurangan panjang antrian sebesar 50,72%.

Sementara pada *u-turn* perlintasan kereta api Universitas Pancasila, panjang antrian disebabkan oleh frekuensi kereta yang melintas terlalu tinggi yaitu setiap 5 menit sekali. Hal ini menyebabkan antrian yang terbentuk tidak sempat habis atau pulih sepenuhnya sebelum periode penutupan selanjutnya dimulai. Kondisi eksisting pada lokasi ini adalah berupa trotoar dengan penghijauan selebar ± 2 m di sebelah timur dan median jalan di sebelah barat. Solusi yang disimulasikan adalah berupa pelebaran jalan selebar 1,5 m sepanjang 100 m sebelum *u-turn*. Pelebaran jalan dimaksudkan untuk memperbesar kapasitas lajur sebelah kanan untuk menampung kendaraan yang mengantri sehingga antrian tidak terbentuk memanjang secara cepat melainkan dapat tersimpan lebih lama terlebih dahulu oleh lebarnya lajur. Solusi disimulasikan dengan waktu penutupan terlama pada *VISSIM* dan menghasilkan pengurangan panjang antrian sebesar 51,22%.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan survei lalu lintas pada lokasi *bottleneck* dan lokasi perlintasan sebidang dan dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari hasil analisis model *Greenberg*, pada lokasi *bottleneck* didapatkan kapasitas (*Vm*) di penggal jalan normal sebesar 4488,74 smp/jam dan kapasitas di penggal jalan menyempit sebesar 3624,63 smp/jam. Sedangkan hasil analisis model *Greenshields* pada lokasi perlintasan sebidang, didapatkan kapasitas jalan sebelum perlintasan adalah sebesar 3739,27 smp/jam. Tingkat kepadatan macet pada lokasi *bottleneck* diperoleh sebesar 876,57 smp/km di jalan normal, dan 839,26 smp/km di jalan menyempit. Sedangkan di lokasi hulu perlintasan sebidang, kepadatan macet diperoleh sebesar 350,58 smp/km. Kecepatan optimum (*Sm*) pada lokasi *bottleneck* didapatkan sebesar 13,92 km/jam di jalan normal, dan 11,74 km/jam di jalan menyempit. Sedangkan kecepatan optimum di hulu lokasi perlintasan diperoleh sebesar 21,33 km/jam.
2. Pada lokasi 1 yaitu jalan dengan *bottleneck*, *shockwave* terjadi akibat arus kendaraan yang lewat di jalan normal lebih besar daripada kapasitas di jalan menyempit. Sedangkan pada lokasi perlintasan palang pintu tertutup sehingga tidak ada arus yang bisa dilayani (V_B=0) sehingga kepadatan di hilir berada di titik maksimum (*Dj*). Dari hasil penelitian, diperoleh nilai gelombang kejut mundur bentukan (ω_{AB}) terbesar pada lokasi *bottleneck* sebesar -1,02 km/jam dan pada lokasi perlintasan 14,71 km/jam. Dari perbedaan yang cukup signifikan ini dapat ditarik kesimpulan bahwa efek gelombang kejut pada perlintasan lebih besar dibandingkan dengan gelombang kejut pada *bottleneck.*
3. Panjang antrian yang ditimbulkan dapat dipengaruhi oleh besarnya gelombang kejut (ω_{AB}) dan lamanya gelombang kejut terjadi (r). Pada *bottleneck*, gelombang kejut menghasilkan antrian sepanjang 1,38 km. Gelombang kejut

tersebut terjadi selama rentang waktu 1 jam yaitu lamanya kondisi nilai arus di hulu lebih besar ($V_A > V_B$) terjadi. Gelombang kejut terbesar pada perlintasan dapat menghasilkan panjang antrian sepanjang 712 m. Meskipun terjadi dalam waktu yang lebih singkat (hitungan menit) namun lokasi ini memiliki efek gelombang kejut yang lebih besar sehingga pelepasan antrian (*queue discharge*) akan terjadi lebih cepat. Namun, apabila tundaan kendaraan yang terjadi lebih lama dibanding waktu antara penutupan, maka panjang antrian dapat menjadi lebih panjang karena antrian tidak dapat pulih sepenuhnya.

4. Solusi diberikan pada kedua lokasi untuk mengurangi panjang antrian yang terjadi. Solusi pada lokasi *bottleneck* adalah berupa pembangunan jalur *diverging* dengan lebar 4 m sejauh 150 m yang berdasarkan simulasi dapat mengurangi panjang antrian sebesar 50,72%. Sementara pada lokasi *u-turn* perlintasan solusi yang diberikan berupa pelebaran lajur kanan selebar 1,5 m sejauh 100 m yang dapat mengurangi panjang antrian sebesar 51,22%.

6.2 Saran

Beberapa saran diberikan pada penelitian ini sebagai acuan agar dapat dilakukan penelitian yang lebih baik kedepannya.

1. Dalam analisis panjang antrian, dapat dilakukan pengambilan data gelombang kejut menggunakan data empiris di lapangan dengan cara mengamati waktu terjadinya penurunan kecepatan. Dengan begitu nilai kecepatan gelombang kejut akan lebih reliabel serta dapat mengatasi keterbatasan dan bias dibanding memperoleh gelombang kejut dari model karakteristik lalu lintas.
2. Survei perilaku disipilin antrian yang lebih mendetail dapat dilakukan untuk mendapatkan parameter mikroskopik yang lebih akurat sebagai input *VISSIM*.
3. Perlunya survei hambatan samping untuk memastikan data arus lalu lintas tidak terpengaruh oleh hambatan samping.
4. Solusi yang dapat diberikan kepada *stakeholder* atau instansi terkait dari penelitian ini adalah berupa pembangunan jalur *diverging* dan pelebaran jalan. Dimana kedua solusi tersebut diproyeksikan dapat mengurangi panjang antrian sebesar ± 50%.

DAFTAR PUSTAKA

Brilia, Rompis, S. Y. R. dan Jefferson, L., 2019. Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus: Jalan Wolter Monginsidi, Malalayang II, Kota Manado). *Jurnal Sipil Statik Vol.7 No.6 Juni 2019 (733-742).*

Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia.* Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.

Firmansyah, D. dan Tjahjani, T., 2012. Analisis Kemacetan Lalu Lintas Di Suatu Wilayah. *Seminar Nasional Teknik Sipil UMS 2012.*

Indrajaya, Y., 2002. Pengaruh Penyempitan Jalan Terhadap Karakteristik Lalu Lintas. *Tesis.* Universitas Diponegoro. Semarang.

Malau, R. H., 2016. Aplikasi Shock Wave Analysis Dan Queueing Analysis Untuk Menghitung Panjang Antrian Pada Perlintasan Sebidang. *Skripsi.* Program Sarjana Universitas Sumatera Utara. Medan

May, A. D., 1990. *Traffic Flow Fundamentals.* Prentice Hall. New Jersey.

Noviyanti, I., 2016. Studi Gelombang Kejut pada Persimpangan Jalan dan Jalan Rel dengan Menggunakan Emp atas Dasar Analisa Headway (Studi Kasus Perlintasan Kereta Purwosari Jl. Slamet Riyadi Surakarta. *Tugas Akhir*. Universitas Negeri Surakarta. Solo

PT. Intimulya Multikencana., 2018. *Dokumen Kajian Andalalin Pembangunan Flyover Lenteng Agung-IISIP*. Jakarta Selatan.

Rahim, M. Y., 2017. Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan M.T Haryono Dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus). *Tugas Akhir*. Program Sarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Medan

Rakha, H. dan Zhang, W., 2005. Consistency of Shock Wave and Queuing Theory Procedures For Analysis of Roadway Bottlenecks. *Proceedings CD-ROM for the 84th Annual Meeting of Transportation Research Board*. Washington D.C.

Ramadhan, L., 2017. Studi Gelombang Kejut pada Penyempitan Jalan. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil.*

Rompis, S. Y. R., 2018. Traffic Flow Model And Shockwave Analysis. *Jurnal Sipil Statik,* Volume 6, pp. 13-20.

Setiyaningsih, I., 2007. Karakteristik Lalu Lintas Pada Persilangan Sebidang Jalan dan Jalan Rel. *Tesis.* Program Magister Institut Teknologi Bandung. Bandung

Solimin dan Narusianto, I., 2002. Pengaruh Lama Penutupan Pintu Kereta Api Terhadap Panjang Antrian Dan Tundaan Kendaraan Aplikasi Teori Gelombang Kejut pada Ruas Jalan Mojo Baciro. *Tugas Akhir*. Program Sarjana Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

Tamin, O. Z., 2008. *Perencanaan, Pemodelan dan Rekayasa Transportasi Edisi 3*. ITB Press. Bandung

Untoro, S. W., Irawan, M. Z. dan Malkhamah, S., 2022. Analisis Dampak Lalu Lintas Dan Evaluasi Desain Pembangunan. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*.

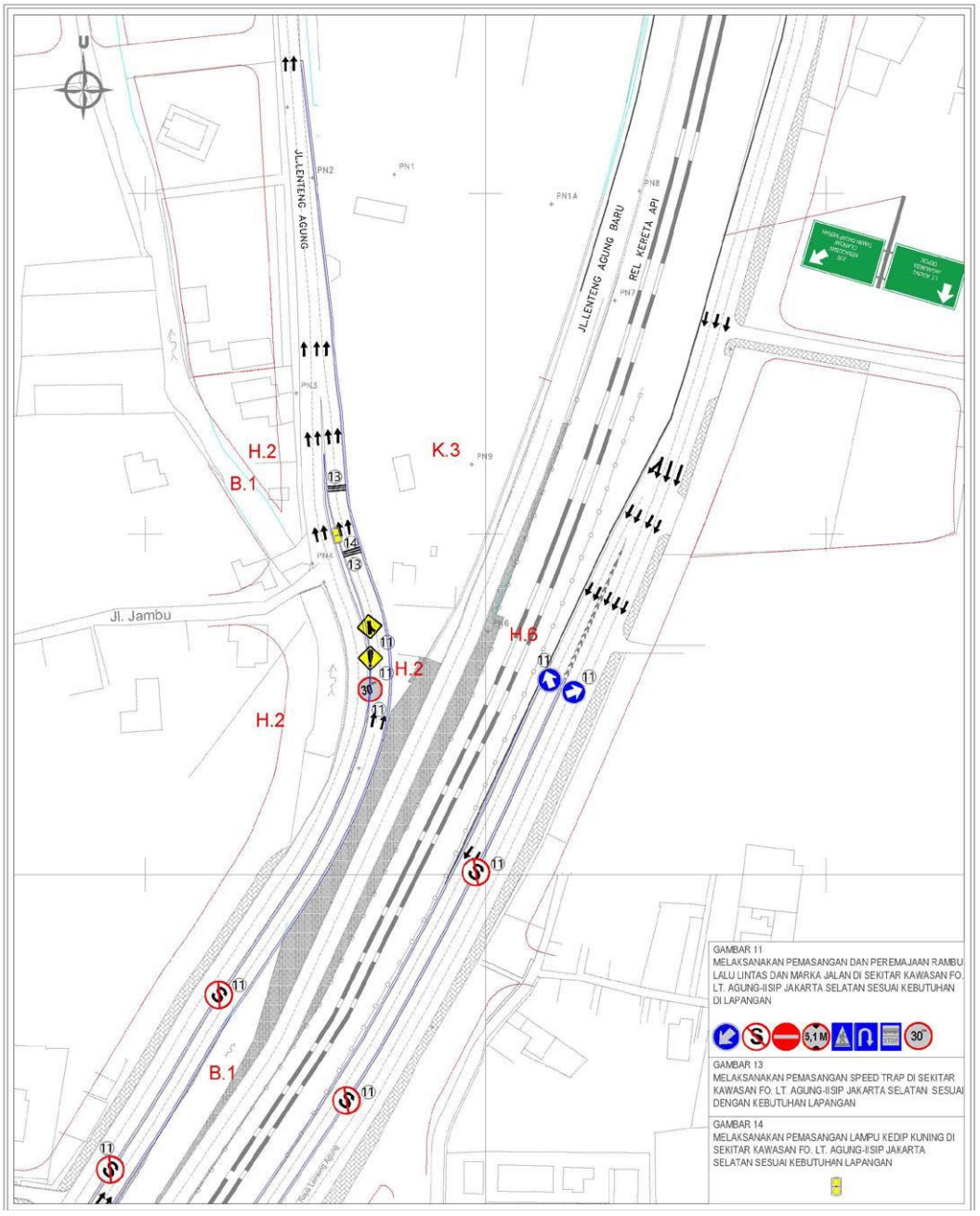
LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Gambar Geometrik Jalan

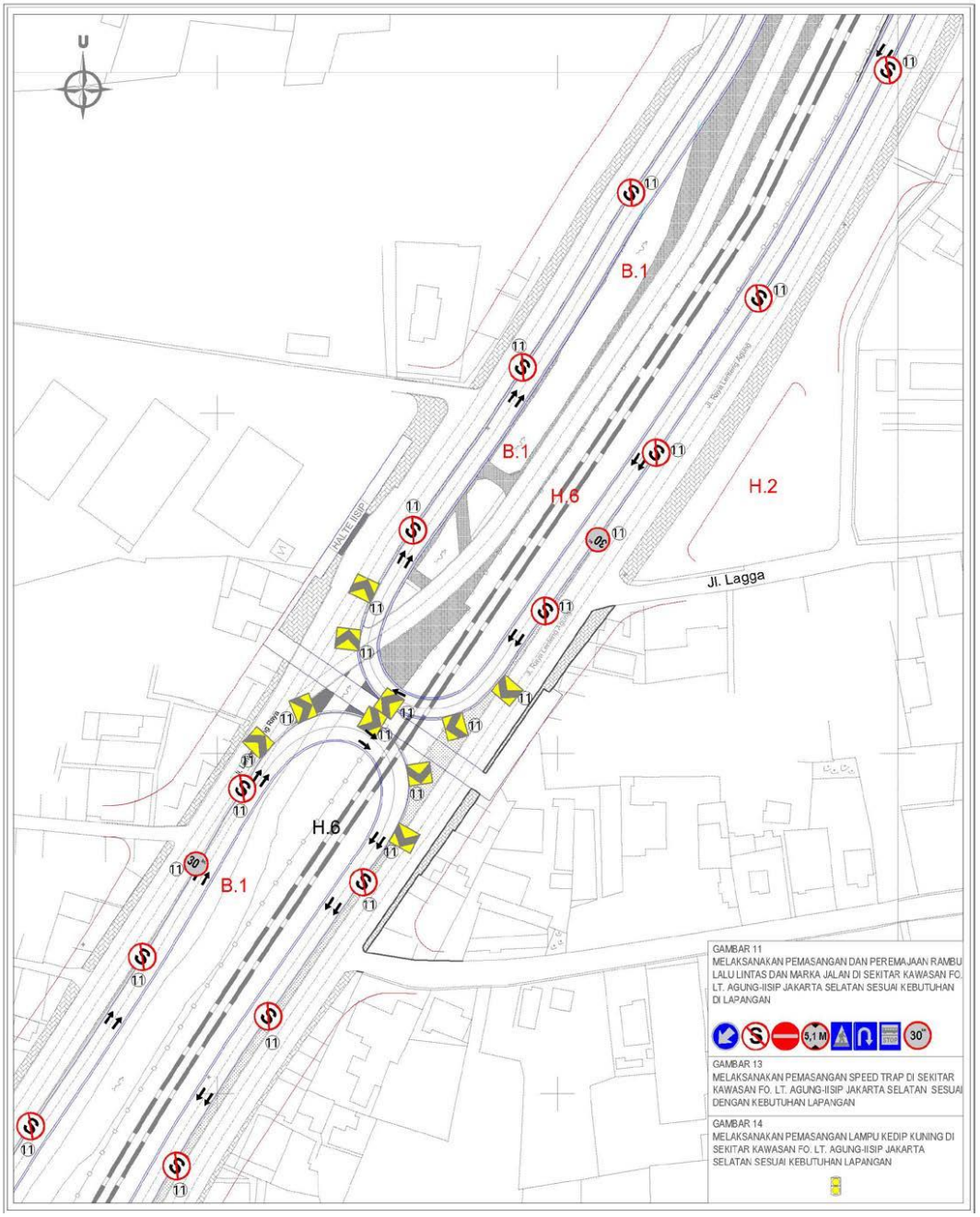
Lokasi Pengamatan

Lampiran 1 Gambar Geometrik Jalan Lokasi Pengamatan



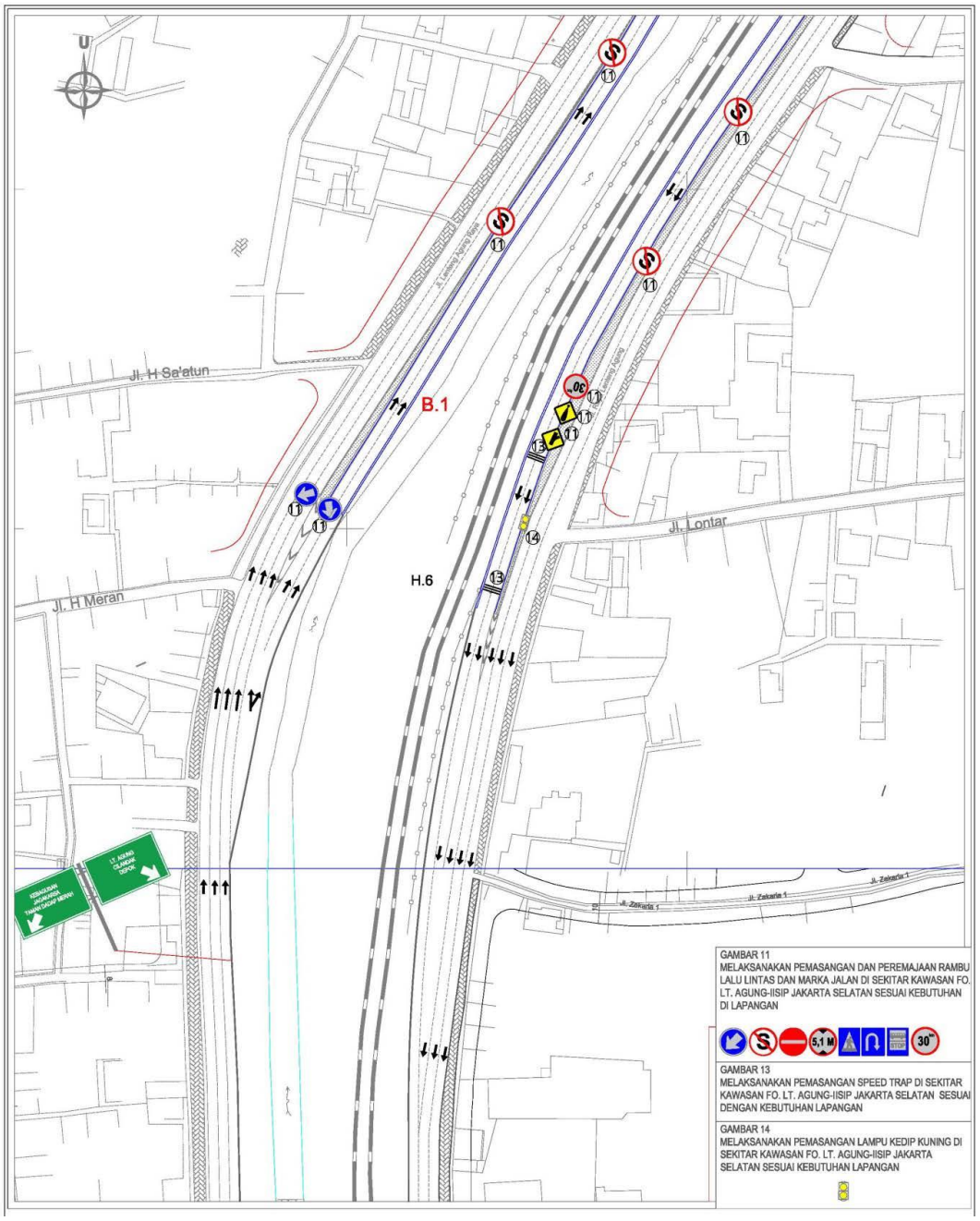
Gambar L1.1 Tampak Atas Geometrik *Flyover* Lenteng Agung Bagian *On-Ramp*
(Sumber: PT. Intimulya Multikencana, 2018)

Lampiran 1 Gambar Geometrik Jalan Lokasi Pengamatan



Gambar L1. 2 Tampak Atas Geometrik *Flyover* Lenteng Agung Bagian *U-Turn*
(Sumber: PT. Intimulya Multikencana, 2018)

Lampiran 1 Gambar Geometrik Jalan Lokasi Pengamatan



Gambar L1. 3 Tampak Atas Geometrik *Flyover* Lenteng Agung Bagian *Off Ramp*

(Sumber: PT. Intimulya Multikencana, 2018)

LAMPIRAN 2

Formulir Survei

Lampiran 2.1 Formulir *Traffic Counting*

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : _____ Arah Lalu Lintas : _____

Hari/tgl : _____ Periode : _____

Lokasi : _____

No	Waktu (Per 15 menit)		LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
			Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	

Lampiran 2.2 Formulir *Spot Speed*

FORMULIR SPOT SPEED

Surveyor : _____ Arah Lalu Lintas : _____

Hari/tgl : _____ Periode : _____

Lokasi : _____

Waktu (Per 15 menit)		Sampel	Jenis Kend.	Jarak (meter)	Waktu Tempuh (detik)	Waktu Tempuh Rata-rata (detik)

Lampiran 2.3 Formulir Lama Penutupan Palang Pintu

FORMULIR LAMA PENUTUPAN PALANG PINTU KERETA

Surveyor : _____ Periode : _____

Hari/tgl : _____ Lokasi : _____

No	Waktu penutupan		Lama Penutupan (detik)	Arah kereta	Nama Kereta
	Awal	Akhir			

LAMPIRAN 3

Data Survei Arus Lalu Lintas

Lampiran 3.1 Data Survei Arus Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : RIZKI Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SENIN, 10/04/23 Periode : PAGI-SIANG

Lokasi : *BOTTLENECK* – TITIK 1

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
PAGI					
1	06.00-06.15	343	20	2425	2788
2	06.15-06.30	332	23	2346	2701
3	06.30-06.45	369	21	2606	2996
4	06.45-07.00	388	18	2519	2925
5	07.00-07.15	274	15	1947	2236
6	07.15-07.30	316	22	2248	2586
7	07.30-07.45	289	20	2058	2367
8	07.45-08.00	301	22	2040	2363
9	08.00-08.15	294	24	1995	2313
10	08.15-08.30	330	19	2236	2585
11	08.30-08.45	321	24	2176	2521
12	08.45-09.00	337	14	2082	2433
SIANG					
13	11.00-11.15	341	10	1198	1549
14	11.15-11.30	417	20	1098	1535
15	11.30-11.45	362	14	1070	1446
16	11.45-12.00	350	14	1102	1466
17	12.00-12.15	315	8	1109	1432
18	12.15-12.30	337	7	975	1319
19	12.30-12.45	369	17	1067	1453
20	12.45-13.00	332	11	1150	1493

Lanjutan lampiran 3.1 Data Survei Arus Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : RIZKI Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SENIN, 10/04/23 Periode : SIANG-SORE

Lokasi : *BOTTLENECK* – TITIK 1

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
SIANG					
21	13.00-13.15	347	9	1184	1540
22	13.15-13.30	337	17	1126	1480
23	13.30-13.45	321	15	1164	1500
24	13.45-14.00	316	16	1015	1347
SORE					
25	16.00-16.15	316	11	1266	1593
26	16.15-16.30	287	15	1089	1391
27	16.30-16.45	299	11	1181	1491
28	16.45-17.00	319	9	1172	1500
29	17.00-17.15	275	12	1074	1361
30	17.15-17.30	284	11	982	1277
31	17.30-17.45	328	13	1055	1396
32	17.45-18.00	323	10	1210	1543
33	18.00-18.15	299	14	1284	1597
34	18.15-18.30	310	10	1098	1418
35	18.30-18.45	283	11	1113	1407
36	18.45-19.00	255	4	1201	1460

Lampiran 3.2 Data Survei Arus Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : MIRZA Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SENIN, 10/04/23 Periode : PAGI-SIANG

Lokasi : *BOTTLENECK* – TITIK 2

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
PAGI					
1	06.00-06.15	366	19	2960	3345
2	06.15-06.30	347	21	2634	3002
3	06.30-06.45	310	19	2818	3147
4	06.45-07.00	425	16	2801	3242
5	07.00-07.15	410	15	2699	3124
6	07.15-07.30	339	10	2743	3092
7	07.30-07.45	361	14	2545	2920
8	07.45-08.00	436	17	2619	3072
9	08.00-08.15	279	15	2773	3067
10	08.15-08.30	333	9	2565	2907
11	08.30-08.45	343	10	2644	2997
12	08.45-09.00	339	11	2549	2899
SIANG					
13	11.00-11.15	399	11	1270	1680
14	11.15-11.30	373	12	1527	1912
15	11.30-11.45	364	19	1278	1661
16	11.45-12.00	367	8	1610	1985
17	12.00-12.15	378	26	1277	1681
18	12.15-12.30	397	17	1431	1845
19	12.30-12.45	405	13	1427	1845
20	12.45-13.00	380	19	1587	1986

Lanjutan lampiran 3.2 Data Survei Arus Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : MIRZA Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SENIN, 10/04/23 Periode : SIANG-SORE

Lokasi : *BOTTLENECK* – TITIK 2

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
SIANG					
21	13.00-13.15	396	18	1535	1949
22	13.15-13.30	373	11	1459	1843
23	13.30-13.45	385	20	1404	1809
24	13.45-14.00	345	16	1289	1650
SORE					
25	16.00-16.15	413	11	1323	1747
26	16.15-16.30	410	12	1340	1762
27	16.30-16.45	319	9	1336	1664
28	16.45-17.00	348	15	1373	1736
29	17.00-17.15	278	11	1285	1574
30	17.15-17.30	421	13	1353	1787
31	17.30-17.45	396	14	1477	1887
32	17.45-18.00	375	14	1384	1773
33	18.00-18.15	416	12	1439	1867
34	18.15-18.30	306	14	1381	1701
35	18.30-18.45	346	8	1275	1629
36	18.45-19.00	297	10	1304	1611

Lampiran 3.3 Data Survei Arus Lokasi 2 (*U-turn* Perlintasan Kereta Api Universitas Pancasila)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : YAYAT Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SENIN, 10/04/23 Periode : PAGI-SIANG

Lokasi : PERLINTASAN K.A. – TITIK 2

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
PAGI					
1	06.00-06.15	267	12	1412	1691
2	06.15-06.30	350	12	1248	1610
3	06.30-06.45	381	11	1281	1673
4	06.45-07.00	324	12	937	1273
5	07.00-07.15	322	16	1123	1461
6	07.15-07.30	357	12	947	1316
7	07.30-07.45	397	12	861	1270
8	07.45-08.00	271	11	887	1169
9	08.00-08.15	366	14	1025	1405
10	08.15-08.30	306	10	1172	1488
11	08.30-08.45	307	15	954	1276
12	08.45-09.00	255	10	1107	1372
SIANG					
13	11.00-11.15	267	12	933	1212
14	11.15-11.30	265	7	880	1152
15	11.30-11.45	237	11	823	1071
16	11.45-12.00	242	9	919	1170
17	12.00-12.15	301	9	860	1170
18	12.15-12.30	385	8	891	1284
19	12.30-12.45	346	5	855	1206
20	12.45-13.00	349	13	926	1288

Lanjutan lampiran 3.3 Data Survei Arus Lokasi 2 (*U-turn* Perlintasan Kereta Api Universitas Pancasila)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : YAYAT Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SENIN, 10/04/23 Periode : SIANG-SORE

Lokasi : PERLINTASAN K.A. – TITIK 2

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
SIANG					
21	13.00-13.15	399	5	858	1262
22	13.15-13.30	375	9	838	1222
23	13.30-13.45	339	4	913	1256
24	13.45-14.00	293	8	846	1147
SORE					
25	16.00-16.15	256	11	768	1035
26	16.15-16.30	223	10	829	1062
27	16.30-16.45	232	7	822	1061
28	16.45-17.00	250	4	883	1137
29	17.00-17.15	216	5	799	1020
30	17.15-17.30	291	5	734	1030
31	17.30-17.45	272	7	1105	1384
32	17.45-18.00	305	2	1080	1387
33	18.00-18.15	262	3	905	1170
34	18.15-18.30	277	12	833	1122
35	18.30-18.45	303	10	729	1042
36	18.45-19.00	282	9	788	1079

Lampiran 3.4 Data Survei Arus Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : RIZKI Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SABTU, 15/04/23 Periode : PAGI-SIANG

Lokasi : *BOTTLENECK* – TITIK 1

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
PAGI					
1	06.00-06.15	236	10	1334	1580
2	06.15-06.30	224	12	1581	1817
3	06.30-06.45	186	5	1990	2181
4	06.45-07.00	225	36	2221	2482
5	07.00-07.15	150	29	1895	2074
6	07.15-07.30	299	25	1344	1668
7	07.30-07.45	170	16	1239	1425
8	07.45-08.00	270	28	1160	1458
9	08.00-08.15	230	21	1144	1395
10	08.15-08.30	277	9	1420	1706
11	08.30-08.45	207	48	1177	1432
12	08.45-09.00	177	11	1815	2003
SIANG					
13	11.00-11.15	580	10	611	1201
14	11.15-11.30	231	12	1065	1308
15	11.30-11.45	240	10	1008	1258
16	11.45-12.00	200	6	1035	1241
17	12.00-12.15	299	2	1101	1402
18	12.15-12.30	195	5	499	699
19	12.30-12.45	339	7	1010	1356
20	12.45-13.00	168	8	641	817

Lanjutan lampiran 3.4 Data Survei Arus Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : RIZKI Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SABTU, 15/04/23 Periode : SIANG-SORE

Lokasi : *BOTTLENECK* – TITIK 1

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
SIANG					
21	13.00-13.15	333	3	620	956
22	13.15-13.30	202	10	1122	1334
23	13.30-13.45	174	7	598	779
24	13.45-14.00	163	11	551	725
SORE					
25	16.00-16.15	313	5	999	1317
26	16.15-16.30	267	9	856	1132
27	16.30-16.45	268	6	954	1228
28	16.45-17.00	315	6	919	1240
29	17.00-17.15	270	7	784	1061
30	17.15-17.30	213	4	763	980
31	17.30-17.45	299	5	699	1003
32	17.45-18.00	250	4	730	984
33	18.00-18.15	208	1	708	917
34	18.15-18.30	213	1	604	818
35	18.30-18.45	212	8	731	951
36	18.45-19.00	202	3	876	1081

Lampiran 3.5 Data Survei Arus Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : MIRZA Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SABTU, 15/04/23 Periode : PAGI-SIANG

Lokasi : *BOTTLENECK* – TITIK 2

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
PAGI					
1	06.00-06.15	251	12	1485	1748
2	06.15-06.30	288	28	1625	1941
3	06.30-06.45	266	11	2009	2286
4	06.45-07.00	280	16	2456	2752
5	07.00-07.15	342	9	2257	2608
6	07.15-07.30	271	8	2707	2986
7	07.30-07.45	338	7	2535	2880
8	07.45-08.00	276	17	2214	2507
9	08.00-08.15	171	15	2431	2617
10	08.15-08.30	264	7	1495	1766
11	08.30-08.45	252	18	1765	2035
12	08.45-09.00	256	7	1425	1688
SIANG					
13	11.00-11.15	610	22	694	1326
14	11.15-11.30	211	11	891	1113
15	11.30-11.45	232	15	735	982
16	11.45-12.00	238	4	888	1130
17	12.00-12.15	219	21	1259	1499
18	12.15-12.30	252	12	840	1104
19	12.30-12.45	328	10	1383	1721
20	12.45-13.00	206	11	930	1147

Lanjutan lampiran 3.5 Data Survei Arus Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : MIRZA Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SABTU, 15/04/23 Periode : SIANG-SORE

Lokasi : *BOTTLENECK* – TITIK 2

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
SIANG					
21	13.00-13.15	215	6	845	1066
22	13.15-13.30	200	8	798	1006
23	13.30-13.45	382	7	769	1158
24	13.45-14.00	337	8	684	1029
SORE					
25	16.00-16.15	347	5	982	1334
26	16.15-16.30	377	7	1071	1455
27	16.30-16.45	249	9	1022	1280
28	16.45-17.00	179	9	1025	1213
29	17.00-17.15	267	10	1089	1366
30	17.15-17.30	327	3	1007	1337
31	17.30-17.45	357	3	964	1324
32	17.45-18.00	191	6	993	1190
33	18.00-18.15	212	6	995	1213
34	18.15-18.30	217	3	845	1065
35	18.30-18.45	233	5	962	1200
36	18.45-19.00	262	5	1035	1302

Lampiran 3.6 Data Survei Arus Lokasi 2 (*U-turn* Perlintasan Kereta Api Universitas Pancasila)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : YAYAT Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SABTU, 15/04/23 Periode : PAGI-SIANG

Lokasi : PERLINTASAN K.A. – TITIK 2

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
PAGI					
1	06.00-06.15	154	0	896	1050
2	06.15-06.30	185	10	866	1061
3	06.30-06.45	205	0	807	1012
4	06.45-07.00	268	0	606	874
5	07.00-07.15	213	0	772	985
6	07.15-07.30	183	10	700	893
7	07.30-07.45	282	5	700	987
8	07.45-08.00	143	6	714	863
9	08.00-08.15	186	11	834	1031
10	08.15-08.30	179	3	1145	1327
11	08.30-08.45	180	0	507	687
12	08.45-09.00	255	3	588	846
SIANG					
13	11.00-11.15	601	9	795	1405
14	11.15-11.30	221	4	751	976
15	11.30-11.45	224	5	624	853
16	11.45-12.00	237	5	740	982
17	12.00-12.15	276	7	629	912
18	12.15-12.30	362	6	705	1073
19	12.30-12.45	294	2	641	937
20	12.45-13.00	283	10	720	1013

Lanjutan lampiran 3.6 Data Survei Arus Lokasi 2 (*U-turn* Perlintasan Kereta Api Universitas Pancasila)

FORMULIR TRAFFIC COUNTING

Surveyor : YAYAT Arah Lalu Lintas : JAKARTA

Hari/tgl : SABTU, 15/04/23 Periode : SIANG-SORE

Lokasi : PERLINTASAN K.A. – TITIK 2

No	Waktu (Per 15 menit)	LV	HV	MC	Total Arus (kend/15 menit)
		Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	
SIANG					
21	13.00-13.15	315	4	632	951
22	13.15-13.30	334	7	538	879
23	13.30-13.45	277	1	631	909
24	13.45-14.00	222	7	573	802
SORE					
25	16.00-16.15	168	3	709	880
26	16.15-16.30	165	6	733	904
27	16.30-16.45	163	6	718	887
28	16.45-17.00	184	3	763	950
29	17.00-17.15	166	2	720	888
30	17.15-17.30	203	2	650	855
31	17.30-17.45	225	5	963	1193
32	17.45-18.00	313	2	595	910
33	18.00-18.15	243	2	847	1092
34	18.15-18.30	187	11	738	936
35	18.30-18.45	201	5	376	582
36	18.45-19.00	215	7	418	640

LAMPIRAN 4

Data Survei Waktu Tempuh

Rata-rata Kendaraan

Lampiran 4.1 Data Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*) Titik 1 Periode Pagi

Jam	W.ten	Jam	W.ten	Jam	W.ten	Jam	W.ten	Jam	W.ten	Jam	W.ten
06.00-06.15	9.51	07.00-07.15	15.8	08.00-08.15	20.9	06.30-06.45	22.4	07.30-07.45	15	08.30-08.45	19.8
rata-rata	10.7	**rata-rata**	16.1	**rata-rata**	19.5	**rata-rata**	20.5	**rata-rata**	24.3	**rata-rata**	16.2
17.076	13.7	**21.443**	23.4	**19.4993333**	14.2	**21.3553333**	26.7	**20.2746667**	20.2	**15.4626667**	19.2
10.5 km/jam	7.82	8.4 km/jam	24	9.2 km/jam	14.6		20.2		19.1		9.13
	7.22		24.4		15.8		25.5		22.1		16.2
	9.64		14.1		21.2		24.3		20.2		9.48
18.6829167	8.23		22.4		18.3		12.2		24.8		18.6
	13.1		26.1		19		16.6		24.1		18.4
	11.4		15.7		14.9		25.3		23		17.6
	12.2		20.8		14.8		24		19.5		16.6
	19.5		24.8		17.8		24.5		17.2		9.11
	13.5		23.1		16.8		11.1		16.9		10.1
	11.5		15.4		15.2		24.8		17.4		11.4
	11.3		24.7		18		25.7		14.9		9.34
	9.26		25.9		23.7		12.8		25		19.7
	24.6		23.6		17.1		20.1		16.1		17.9
	14.1		26.8		24.6		20.8		23.2		16.9
	25.5		24.1		19.2		19.3		15.4		19.3
	18.8		22.9		20.9		25.2		23.1		19.3
	13.1		20.8		24.3		10.3		22.1		12.4
	21.2		21.4		25.4		28.2		20.9		16.9
	20.7		19.2		18.4		15.9		20		18
	26.3		27.1		22.2		25.9		25		20.9
	29.4		15.2		19.5		13.8		19.1		8.85
	26.1		19.1		25.7		18		14.5		14.9
	21.6		20.2		17.4		29.4		20.5		20.6
	22.9		20.2		18.5		22.2		22.3		14.1
	21.2		25.9		24.6		19.7		17.1		17.5
	33.7		15.4		19.9		26.6		22.3		11.6
	24.6		25		22.8		28.6		23.3		14
06.15-06.30	12.2	07.15-07.30	19.2	08.15-08.30	11.4	06.45-07.00	18.2	07.45-08.00	22	08.45-09.00	17.9
rata-rata	14	**rata-rata**	16	**rata-rata**	9.27	**rata-rata**	24.8	**rata-rata**	19.1	**rata-rata**	15.8
17.685	10.7	**18.6733333**	20.4	**14.9586667**	17.5	**18.6153333**	11.8	**19.2303333**	21.2	**14.5626667**	20.1
	11.6		18.4		12		26.1		18.7		17.8
	11.5		19.5		19.3		10.1		22.1		18.3
	11.4		15.6		16		23.9		15		14.7
	12.4		18.3		20.1		17.1		21.8		18.3
	10.3		19.7		18.4		13		23.6		12.8
	13.2		20.4		8.36		19.7		19.4		20.4
	12.1		20.1		16.5		12.2		18		12.2
	11.2		18.4		12.4		12.9		18.1		13.9
	13.5		15.5		18.5		10.3		16.8		9.08
	10.7		14.5		11.8		20.7		18.7		13.5
	11.5		20.3		8.49		22.4		18.4		17.4
	10.5		20.3		15.8		19.5		25.7		8.88
	30.5		14.2		12.7		9.6		19.4		8.56
	29.8		21		17.1		13.8		22		12.7
	20.3		20.2		19.7		25.4		14.8		17.9
	20.4		19.3		10.8		23.2		18.1		10.9
	30.3		21.2		12.8		26		18.6		14.3
	21.3		19.1		14.6		25.1		15.4		15.1
	18.9		19.6		10.6		11.7		24.1		10.7
	16		18.8		17.8		20.9		24		20.2
	22.2		21		20.3		20.7		14.6		14.6
	24.2		18.2		17.9		21.8		15.2		8.68
	23.7		15.5		18.3		21.3		23.9		19.4
	19.2		19.6		8.45		12.9		14.7		13.8
	32		15.8		19		13.7		17.9		16.8
	26.7		19.7		19.9		25.2		17.5		9.68
	18.4		20.4		13.2		24.7		18.1		12.8

Lampiran 4.2 Data Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*) Titik 1 Periode Siang

Jam	W.ten	Jam	W.ten	Jam	W.tempuh	Jam	W.ten	Jam	W.ten	Jam	W.tempuh
11.00-11.15	9.5	12.00-12.15	6.48	13.00-13.15	5.61	11.30-11.45	6.63	12.30-12.45	7.7	13.30-13.45	8.18
rata-rata	7.55	**rata-rata**	5.33	**rata-rata**	8.63	**rata-rata**	6.99	**rata-rata**	6.67	**rata-rata**	7.71
9.25066667	9.56	**5.56133333**	6.67	**6.63833333**	8.19	**7.06033333**	7.1	**8.184**	7.17	**7.22866667**	7.72
19.5 km/jam	8.2	32.4 km/jam	5.23		4.41		5.69		9.11		9.27
	11.2		5.92		6.73		8.03		10.7		4.29
	6.27		6.5		9.09		6.9		6.51		4.99
	10.5		4.24		5.88		6.88		4.83		6.41
	8.05		4.97		5.82		6.29		11.6		8.7
	9.77		5.51		9.73		8.74		10.2		7.14
	6.65		6.35		5.65		6.86		8.43		8.08
	7.61		6.56		5.78		6.64		8.69		8.64
	8.45		5.34		5.07		8.59		5.6		9.73
	11.5		5.88		7.19		6.27		9.26		7.27
	8.78		6.28		5.83		8.85		11.3		4.44
	7.2		5.52		5.73		7.04		10.2		8.12
	8.91		4.64		5.37		6.68		7.09		6.11
	11.9		6.03		5.74		5.86		10.2		6.09
	11		5.13		4.23		7.14		4.53		4.43
	11.7		4.85		6.31		5.68		7.47		6.56
	8.67		5.91		8.09		6.43		9.49		8.4
	11		4.97		5.38		8.93		7.73		5.41
	10.8		4.92		9.33		6.77		9.04		9.1
	9.25		6.46		7.65		7.56		4.83		8.29
	10.2		5.52		4.42		6.07		10.1		4.52
	8.24		4.38		6.32		5.73		6.45		7.66
	9.64		5.24		6.64		8.19		9.93		5.93
	9.26		4.87		9.72		6.08		5.54		7.81
	10.6		6.62		5.22		7.41		5.81		9.54
	8.58		4.8		8.7		8.12		10.6		9.05
	7.14		5.72		6.69		7.66		8.81		7.27
11.15-11.30	10.4	12.15-12.30	5.2	13.15-13.30	7.53	11.45-12.00	7.38	12.45-13.00	7.87	13.45-14.00	4.45
rata-rata	12.9	**rata-rata**	4.38	**rata-rata**	9.76	**rata-rata**	6.68	**rata-rata**	5.96	**rata-rata**	4.74
9.46733333	9.29	**5.37**	4.26	**6.89633333**	5.44	**6.97066667**	5.89	**7.223**	5.68	**5.89633333**	4.32
	8.18		6.07		9.42		7.68		4.65		7.12
	7.9		4.27		5.17		6.19		8.87		6.5
	6.96		5.23		4.86		5.87		8.05		4.85
	8.95		5.04		7.4		8.65		9.51		6.73
	13.1		5.17		8.28		5.61		5.08		7.67
	6.16		4.48		4.77		7		4.69		6.15
	12.7		4.69		9.68		6.4		6.86		4.66
	7.69		4.62		6.65		6.7		4.37		5.66
	7.83		5.79		4.56		8.59		4.29		6.2
	9.4		5.32		5.73		8.62		9.76		5.07
	6.29		5.9		4.65		5.84		9.71		7.17
	10.1		6.74		8.77		6.85		6.66		4.92
	10.7		6.15		8.4		6.74		8.99		5.3
	13.1		5.37		7.77		9		9.56		4.89
	6.18		6.91		4.84		5.82		6.38		6.57
	11		5.01		4.73		8.64		6.32		7.45
	12.8		4.39		4.52		6.41		4.53		4.9
	13.1		5.52		6.24		7.18		8.79		5.74
	12		4.42		6.98		5.63		9.19		4.45
	7.38		6.37		6.11		7.59		4.85		4.99
	12.7		5.08		9.51		7.55		7.61		5.44
	8.54		6.51		4.76		7.14		4.68		7.29
	11.2		5.41		7.31		5.64		9.43		7.44
	7.05		5.4		9.78		6.82		7.49		7.38
	5.94		6.65		9.15		6.96		9.42		5.87
	7.62		5.95		5.7		6.4		9.7		7.26
	6.74		4.8		8.42		7.65		7.74		5.71

Lampiran 4.3 Data Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*) Titik 1 Periode Sore

Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu
16.00-16.15	9.61	17.00-17.15	6.3	18.00-18.15	8.9	16.30-16.45	6.56	17.30-17.45	9.85	18.30-18.45	7.86
rata-rata	8.1	**rata-rata**	5.31	**rata-rata**	8.94	**rata-rata**	6.03	**rata-rata**	6.72	**rata-rata**	5.77
7.90766667	7.88	**7.09966667**	6.12	**8.22**	9.42	**8.54733333**	10.38	**8.236**	8.16	**6.72166667**	7.32
22.8 km/jam	8.57	25.4 km/jam	7.96	21.9 km/jam	9.84		6.27		9.48		8.12
	6.42		8.67		5.92		9		8.54		8.08
	6.72		4.42		8.4		9.58		10.22		7.92
	6.89		5.35		6.57		8.57		8.05		4.25
	7.35		7.43		9.73		8.32		8.6		4.44
	9.66		8.85		9.11		9.58		6.84		6.82
	7.03		4.61		9.62		8.14		9.13		6.65
	5.79		9.08		6.54		9.37		7.37		5.23
	6.65		8.15		6.08		6.02		6.67		7.53
	7.66		5.05		8.14		9.56		9.81		7.8
	7.5		8.07		6.92		6.25		9.49		6.81
	9.66		8.81		7.15		5.62		9.49		7.5
	7.25		7.88		7.74		7.18		5.64		4.57
	8.17		6.06		8.51		9.92		9.9		7.52
	8.02		7.31		9.89		7.71		8.58		7.84
	6.85		5.14		5.68		9.51		5.98		4.73
	7.25		7.86		9.41		7.4		10.37		5.2
	7.01		4.66		6.65		10.48		6.9		5.02
	5.9		8.99		10.01		9.85		9.39		4.69
	8.79		8.81		10.12		10.4		5.74		6.45
	9.6		5.35		9.66		9.13		7.34		10.29
	9.04		5.52		7.45		9.07		9.01		4.64
	9.43		8.4		6.49		8.47		6.98		5.3
	9.25		7.92		7.75		9.57		8.5		8.7
	7.2		7.48		9.86		8.93		10.23		5.24
	9.69		8.79		6.29		9.41		7.44		9.07
	8.29		8.64		9.81		10.14		6.66		10.29
16.15-16.30	6.09	17.15-17.30	4.47	18.15-18.30	5.45	16.45-17.00	8.19	17.45-18.00	9.07	18.45-19.00	6.38
rata-rata	8.75	**rata-rata**	4.55	**rata-rata**	8.06	**rata-rata**	8.08	**rata-rata**	9.94	**rata-rata**	8.94
8.233	9.28	**6.448**	8.2	**6.888**	5.44	**8.33366667**	8.49	**8.36933333**	10.25	**6.182**	7.15
	8.38		5.41		8.37		7.65		10.15		4.38
	8.71		6		5.21		9.52		6.31		6.68
	10.39		4.64		6.75		6.46		5.9		4.88
	7.23		7.19		6.7		10.48		9.8		5.12
	7.97		7.36		5.77		9.41		7.49		8.08
	10.48		8.27		9.95		7.19		9.94		3.66
	7.71		6.51		8.37		10.27		9.25		4.91
	5.74		5.75		8.31		9.18		10.09		6.15
	10.12		5.61		7.46		10.23		10.2		8.06
	6.54		6.21		6.94		9.76		8		5.96
	7.77		7.65		7.98		6.08		7.45		4.77
	9.4		5.1		5.82		7.58		6.23		6.13
	9.93		5.07		6.96		6.29		5.95		6.11
	5.89		7.99		5.25		8		6.75		7.29
	6.49		8.9		5.18		9.31		7.9		5.05
	9.66		7.42		8.62		9.36		6.86		6.35
	7.85		6.24		7.43		9.76		9.63		3.63
	8.75		8.37		5.86		5.95		9.71		8.78
	6.71		4.24		5.96		8.73		6.8		3.57
	8.73		7.49		7.49		10.47		7.89		4.85
	10.06		4.61		5.63		10.23		9.61		3.88
	8.53		8.18		10.2		6.38		10.47		6.8
	7.2		4.53		6.62		6.24		6.08		6.91
	9.63		8.94		5.84		6.14		9.62		6.24
	7.1		6.84		5.05		9		6.96		7.25
	7.07		7.16		8.57		8.09		8.54		8.79
	8.83		4.54		5.4		7.49		8.24		8.71

Lampiran 4.4 Data Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*) Titik 2 Periode Pagi

Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu
06.00-06.	25	07.00-07.	20.94	08.00-08.	16.4	06.30-06.	21.36	07.30-07.	25.2	08.30-08.	19.5
rata-rata	24.62	**rata-rata**	21.62	**rata-rata**	18.96	**rata-rata**	27.88	**rata-rata**	25.5	**rata-rata**	20.2
22.0773	21.46	**25.2927**	31.46	**17.9373**	14.74	**27.6693**	31.52	**25.2727**	24.46	**16.1313**	13.78
	25.48		18.18		19.7		22.28		30.42		16.54
	22.84		25.14		17.54		39.58		31.78		12.34
	27.44		29.84		12.42		23.6		17.14		16.7
	15.26		29.94		21.74		31.48		23.9		14.22
	14.96		17.5		21.66		35.7		23.02		12.42
	22.54		28.1		21.68		33.92		29.36		17.02
	20.22		31.48		17.26		23.46		29.54		14.76
	19.96		17.76		14.9		38.66		21.3		14.02
	24.62		28.02		15.9		31.98		28.5		14.34
	21.22		29.76		20.18		16.78		30.4		18.94
	14.96		26.44		18.02		20.34		25.7		21.88
	23.08		23.9		20.18		33		31.34		13.12
	20		29.14		16.5		28.82		25.04		14.46
	27.22		20.34		16.76		21.42		26.82		19.66
	21		18.6		16.26		23.7		30.46		12.04
	14.06		25.44		21.66		23.68		17.16		20.44
	27.52		19.52		14.44		26.78		27.7		12.72
	27		25.64		20.82		31.26		28.04		13.14
	22		23.9		15.74		18.94		18.24		21.7
	20.9		31.7		17.12		27.36		17.4		13.96
	20.24		27.68		17.94		31.68		18.92		19.18
	25.5		30.24		20.5		34.26		18.62		17.96
	23.86		17.72		18.42		19.16		20.62		12.72
	17.78		21.54		22		28.14		22.34		12.78
	26.26		31.82		18.8		19.2		31.58		15.48
	18.02		27.56		15.26		31.18		31		19.76
	27.3		27.86		14.62		32.96		26.68		18.16
06.15-06.	37.48	07.15-07.	20.74	08.15-08.	21.1	06.45-07.	32.78	07.45-08.	29.14	08.45-09.	15.08
rata-rata	27.96	**rata-rata**	28.72	**rata-rata**	18.48	**rata-rata**	21.7	**rata-rata**	16.02	**rata-rata**	12.34
29.0647	24.36	**26.1473**	31.84	**16.8867**	17.56	**24.86**	26.6	**23.908**	31.28	**14.8733**	14.9
	28.68		18.24		20.52		16.56		16.56		12.66
	27.7		25.38		21.4		21.02		20.84		17.54
	16.78		16.54		16.92		23.16		17.3		15.78
	36.34		23.16		14.08		23.32		20.78		12.28
	36.94		32.72		13.06		30.12		28.82		12.08
	22.6		24.72		13.94		17.86		22.48		13.82
	29.42		22.66		13.54		19.48		30.7		17.94
	30.16		23.74		17.22		26.64		21.48		12.08
	32.32		29.46		19.16		27.58		26.06		16.52
	32.04		30.88		18.02		20.02		20.2		16.26
	29.66		31.76		15.56		20.64		19.9		13.58
	25.18		26.2		20.88		25.92		21.52		16.52
	16.58		31.34		18.14		35.68		24.5		12.72
	34.28		19.26		17.06		18.16		27.32		12.4
	39.54		32.08		21.52		32.86		31.36		14.54
	39.5		16.18		15.38		24.44		24.2		17
	20.6		19.9		14.3		29		24.14		15.14
	36.96		29.56		20.38		33.34		30.12		15.78
	21.88		24.6		16.16		23.2		18.1		16.24
	22.28		25.66		12.24		16.92		26.38		14.7
	22.92		33.84		13.48		30.38		28		12.56
	29.26		18.84		12.58		35.5		19.6		17.24
	25.32		28		19.8		25.2		24.64		13.56
	39.94		25.84		13.64		17.66		30.32		15.72
	34.58		29.4		17.64		20.72		31.26		14.28
	30.08		29.2		19.92		27.26		16.32		17.56
	20.6		33.96		12.92		22.08		17.9		17.38

Lampiran 4.5 Data Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*) Titik 2 Periode Siang

Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu
11.00-11.	3.91	12.00-12.	4.48	13.00-13.	5.58	11.30-11.	3.5	12.30-12.	3.25	13.30-13.	4.63
rata-rata	6.1	**rata-rata**	7.22	**rata-rata**	2.08	**rata-rata**	5.27	**rata-rata**	3.46	**rata-rata**	5.5
4.61367	5.43	**6.21533**	7.66	**5.345**	7.94	**4.53933**	5.88	**5.61167**	5.16	**5.414**	3.6
	3.95		7.16		3.36		2.95		4.28		3.29
	4.43		5.75		5.49		3.46		6.12		6.37
	4.15		8.39		6.31		4.38		4.45		7.42
	4.84		3.84		7.53		3.85		5.72		4.28
	3.15		4.41		4.55		4.12		6.06		4.11
	5.66		4.11		2.61		6.33		3.43		6.03
	3.67		7.44		7.42		4.47		7.65		3.38
	4.77		7.46		4.03		3.48		8.11		4.72
	3		4.45		8.2		6.15		5.7		6.16
	3.32		4.15		5.1		3.76		7.35		7.72
	4.48		5.89		5.51		4.31		6.73		6.36
	4.98		8.44		6.1		3.92		5.02		5.75
	5.26		7.23		5.62		5.8		4.56		6.32
	4.13		3.58		6.73		5.19		7.85		7.17
	6.36		7.11		7.61		5.88		7.46		6.51
	6.33		8.44		4.21		4.54		4.14		7.33
	5.45		3.81		3.54		3.42		3.55		5.19
	5.1		6.16		3.43		2.94		7.44		4.65
	2.99		8.18		5.91		5.79		4.75		4.27
	4.39		4.17		5.21		5.07		4.98		4.96
	3.87		8.14		2.34		3.49		5.41		4.96
	5.54		8.15		8.07		6.44		8.11		4.4
	3.21		5.84		7.07		4.29		6.63		6.23
	6.02		7.61		2.65		3.39		6.44		4.78
	4.6		4.08		7.89		5.64		4.82		7.77
	3.66		5.28		2.28		3.57		3.38		3.41
	5.66		7.83		5.98		4.9		6.34		5.15
11.15-11.	4.87	12.15-12.	7.32	13.15-13.	7.37	11.45-12.	8.48	12.45-13.	4.2	13.45-14.	5.75
rata-rata	4.6	**rata-rata**	7.62	**rata-rata**	4.42	**rata-rata**	8.71	**rata-rata**	5.12	**rata-rata**	5.2
4.64267	4.01	**5.80867**	3.82	**5.93067**	4.59	**6.34733**	4.41	**5.073**	4.17	**5.78**	7.58
	5.15		5.43		4.97		3.28		2.77		7.83
	2.94		6.14		7.17		8.16		2.37		4.56
	3.93		4.35		7.74		6.73		2.99		6.5
	2.99		5.84		7.91		3.99		2.94		4.14
	5.79		4.87		4.8		8.08		7.48		7.22
	4.86		6.14		5.3		7.74		7.67		5.25
	3.09		4.15		6.6		7.56		6.72		7.3
	5.06		7.8		3.67		8.1		4.21		4.56
	4.6		5.37		9.39		6.69		4.28		4.32
	4.45		5.77		8.11		7.36		2.42		3.53
	4.12		7.44		6.56		7.99		4.75		5.1
	4.46		8.07		8.2		7.4		6.04		6.37
	4		7.99		4.64		6.05		5.96		5.69
	5.15		7.84		4.01		6.98		1.97		5.56
	6.19		6.12		5.23		6.82		7.22		5.95
	5.78		3.93		6.88		3.23		4.99		4.51
	4.32		3.54		8.01		6.49		6.64		8.04
	5.82		5.3		7.25		6.35		6.79		5.47
	3.9		7.36		6.09		6.61		8.31		5.15
	6.47		4.05		3.5		4.63		6.79		3.32
	5.06		4.05		4.95		3.95		4.01		3.62
	4.62		7.03		6.28		9		3.68		5.28
	4.24		4.33		3.87		4.74		8.36		7.47
	5.67		8.4		4.36		5.1		6.12		7.34
	4.86		3.52		6.07		4.34		6.57		6.95
	4.93		6.77		5.23		7.23		4.19		6.75
	3.35		3.9		4.75		4.22		2.46		7.09

Lampiran 4.6 Data Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi 1 (*Bottleneck On-ramp Flyover*) Titik 2 Periode Sore

Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu	Jam	W.tempu
16.00-16.	4.56	17.00-17.	4.33	18.00-18.	6.9	16.30-16.	4.6	17.30-17.	6.47	18.30-18.	3.62
rata-rata	4.32	**rata-rata**	3.97	**rata-rata**	7.09	**rata-rata**	4.37	**rata-rata**	4.6	**rata-rata**	5.23
5.04733	6.47	**5.01667**	4.55	**5.70233**	5.48	**4.42833**	5.36	**5.45633**	4.51	**4.89633**	4.47
35.7 km/j	4.43		4.73		5.06		4.68		5.01		6.06
	6.1		3.82		7.03		4.06		6.18		4.05
	3.56		5.8		5.53		3.98		3.98		3.53
	5.4		4.16		4.11		5.18		6.6		4.56
	6.01		3.6		6		4.03		4.54		4.65
	5.36		5.66		5.82		4.88		5.29		3.56
	6.29		5.31		4.99		4.27		6.84		4.12
	5.38		5.28		4.8		4.8		6.43		5.75
	5.76		6.25		4.58		3.29		5.06		6.14
	5.62		6.22		7.72		3.81		6.79		5.41
	6.47		4.1		4.49		5.43		5.56		6.18
	4.99		5.39		4.34		3.48		4.11		6.36
	5.54		6.23		4.97		3.7		5.17		5.51
	4.72		6.13		6.75		4.85		4.22		5.12
	3.32		3.39		6.31		4.06		4.41		5.17
	4.91		6.12		4.24		4.49		5.41		4.7
	6.1		6.19		7.25		4.23		7.02		4.75
	5.84		5.81		7.51		5.52		4.34		3.58
	3.8		3.85		4.3		3.73		6.81		5.51
	3.72		4.95		4.44		3.98		3.99		5.22
	6.32		3.34		6.88		4.69		4.45		6.05
	4.41		5.8		5.41		3.77		5.71		5.2
	4.91		5.51		6.87		5.61		5.88		4.43
	4.16		3.89		7.74		4.32		6.84		3.91
	4.01		5.28		4.4		4.05		6.74		5.24
	4.21		4.65		4.7		4.5		5.67		5.29
	4.73		6.19		5.36		5.13		5.06		3.52
16.15-16.	3.8	17.15-17.	4.17	18.15-18.	6.03	16.45-17.	4.43	17.45-18.	3.4	18.45-19.	6.42
rata-rata	3.57	**rata-rata**	4.29	**rata-rata**	6.36	**rata-rata**	3.5	**rata-rata**	6.44	**rata-rata**	4.83
5.31833	6.08	**5.932**	7.49	**4.786**	3.92	**4.931**	5.51	**4.931**	6.19	**4.888**	3.35
	4.1		4.8		3.49		4.89		4.69		3.38
	4.73		7.79		4.08		5.86		5.54		4.04
	6.94		7.39		5.01		4.64		4.29		3.87
	7.14		5.6		5.08		4.88		3.76		5.77
	5.67		7.25		3.44		4.77		5.2		6.15
	4.23		7.55		5.03		3.84		5.22		5.98
	3.41		5.51		4.68		4.23		5.97		5.95
	5.08		5.15		3.81		4.01		4.6		5.35
	6.43		4.52		4.1		5.09		5.05		3.43
	4.95		6.78		6.35		6.31		3.44		3.66
	5.8		4.6		5.88		3.37		3.83		5.27
	6.72		6.83		4.37		5.71		4.23		6
	6.16		5.49		3.84		5.64		5.84		4.1
	5.07		4.77		4.3		6.38		4.82		6.42
	5.03		6.75		6.37		4.46		4.45		6.5
	3.51		6.32		4.19		5.36		4.22		4.95
	3.39		5.43		5.53		6.27		3.89		3.43
	5.13		7.22		4.68		3.74		4.25		3.35
	6.16		6.93		3.37		5.54		3.95		5.9
	5.54		6.15		4.49		5.12		3.36		4.19
	6.92		4.21		4.54		6.1		5.84		3.44
	6.03		4.06		5.69		5.75		5.84		3.54
	6.23		5.36		6.39		5.5		3.67		6.13
	4.99		5.34		6.28		5.43		5.83		5.32
	5.27		7.39		4.93		3.33		5.7		5.08
	5.81		7.13		4.06		3.89		3.38		4.37
	5.66		5.69		3.29		4.38		4.24		6.47

Lampiran 4.7 Data Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi 2 (*U-turn* Perlintasan Kereta Api Universitas Pancasila) Titik 2 Periode Pagi

Jam	Waktu Ten	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T	Jam	Waktu Ten	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T
06.00-06.15	16.86	07.00-07.	19.31	08.00-08.	15.63	06.30-06.45	19.08	06.30-06.	25.07	06.30-06.	22.40
rata-rata	18.97	**rata-rata**	22.33	**rata-rata**	23.95	**rata-rata**	21.90	**rata-rata**	18.10	**rata-rata**	18.59
18.426318	21.01	**19.3136**	16.72	**20.7391**	18.78	**21.206449**	18.05	**19.0534**	16.25	**21.096**	27.04
	16.30		23.35		25.97		24.80		15.60		27.32
	13.38		19.83		19.20		21.60		17.37		18.85
	22.57		16.54		22.01		17.62		20.28		24.46
	16.26		22.00		18.27		20.33		15.59		22.77
	23.00		23.86		18.25		20.56		14.66		23.21
	15.33		15.76		21.53		20.98		22.67		22.55
	14.73		15.93		23.20		23.02		18.66		20.67
	14.62		16.93		25.31		20.74		20.39		19.13
	12.35		15.28		23.88		18.06		18.03		15.09
	19.78		20.34		14.23		25.85		14.32		27.89
	16.19		16.18		25.55		25.03		24.04		15.65
	18.20		16.79		16.94		22.53		18.07		24.18
	15.44		15.69		20.42		25.37		15.67		14.19
	14.33		20.03		24.33		23.51		23.55		18.52
	19.08		21.59		16.24		17.50		20.65		16.42
	14.13		23.97		18.16		23.59		18.99		24.01
	20.60		23.78		17.25		21.34		24.77		18.97
	22.79		16.09		22.98		17.69		17.92		22.97
	16.36		23.80		17.84		20.44		15.54		25.07
	20.11		14.54		18.48		20.76		23.26		19.88
	17.10		14.78		19.96		25.63		23.29		14.92
	22.13		22.85		23.74		21.16		24.09		15.07
	20.99		22.86		25.80		17.15		14.72		17.52
	24.32		22.31		17.06		19.50		17.86		27.40
	23.17		16.09		18.84		17.61		14.82		27.39
	22.72		16.97		22.75		25.94		22.79		21.20
	19.99		22.92		25.62		18.84		14.57		19.53
06.15-06.30	24.56	06.15-06.	16.95	06.15-06.	16.90	06.45-07.00	22.14	06.45-07.	17.23	06.45-07.	17.16
rata-rata	22.49	**rata-rata**	18.50	**rata-rata**	19.65	**rata-rata**	25.76	**rata-rata**	28.29	**rata-rata**	22.64
19.296606	23.23	**20.4002**	15.58	**21.2192**	23.99	**22.22744**	21.10	**21.6735**	17.54	**21.146**	21.48
	22.84		22.12		15.55		22.11		24.12		16.11
	21.14		15.25		16.74		26.87		18.62		27.31
	15.41		20.13		18.36		24.67		18.66		26.57
	24.71		24.09		21.44		20.03		23.82		24.96
	16.72		25.60		19.75		17.61		19.18		16.55
	16.17		16.59		25.78		25.83		23.54		23.25
	23.29		14.36		19.41		22.15		22.03		22.69
	23.04		16.19		27.99		17.58		27.08		16.12
	24.34		25.20		26.20		21.44		27.98		14.13
	16.58		21.51		20.92		25.04		16.76		14.98
	17.28		14.22		24.17		21.72		19.29		14.19
	23.14		23.69		26.25		24.97		27.66		27.53
	22.75		25.76		15.69		23.19		20.49		24.67
	13.07		23.02		18.44		26.49		25.00		24.39
	24.33		25.05		27.14		17.99		18.19		27.37
	17.71		16.29		20.18		19.63		15.29		15.54
	14.55		22.08		26.33		20.11		26.17		23.00
	12.72		20.90		16.29		21.83		18.44		25.76
	14.54		25.53		24.90		19.44		23.59		17.61
	14.92		15.36		25.46		18.69		21.26		15.44
	15.38		17.85		14.05		22.85		15.99		27.70
	13.62		23.60		15.92		24.26		14.15		20.80
	24.23		23.07		17.29		19.98		16.64		18.47
	12.72		25.88		25.54		20.28		23.90		20.44
	20.70		21.78		24.57		23.17		25.49		24.18
	19.52		15.50		19.86		26.33		26.52		16.42
	23.20		20.35		21.85		23.56		27.29		26.92

Lampiran 4.8 Data Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi 2 (*U-turn* Perlintasan Kereta Api Universitas Pancasila) Titik 2 Periode Siang

Jam	Waktu T	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T
11.00-11.	6.34	12.00-12.	4.05	13.00-13.	6.50	06.30-06.	4.92	12.30-12.	4.76	13.30-13.	3.13
rata-rata	9.78	**rata-rata**	5.05	**rata-rata**	6.14	**rata-rata**	5.82	**rata-rata**	4.18	**rata-rata**	6.89
11.8759	7.41	**4.35134**	3.80	**5.07138**	4.39	**4.80968**	4.25	**4.2822**	5.14	**5.57418**	4.01
	8.08		3.47		5.07		5.37		4.39		6.47
	9.15		4.20		6.79		6.14		3.62		6.46
	7.47		3.46		5.29		6.23		3.87		7.26
	4.82		4.64		3.26		6.41		5.15		5.55
	11.50		4.07		5.64		6.26		4.52		5.97
	5.51		5.35		5.36		4.98		4.38		7.34
	8.31		5.18		3.13		3.90		4.44		4.16
	18.95		5.25		3.97		5.80		4.75		4.89
	17.58		4.39		6.48		4.46		4.34		6.60
	19.80		4.27		7.34		4.90		3.71		6.52
	16.12		4.15		4.00		4.10		4.87		4.32
	20.60		4.20		3.82		4.13		3.10		5.78
	18.02		4.13		5.26		5.44		3.57		3.29
	23.97		4.67		3.76		3.90		4.57		5.91
	20.02		5.51		3.42		3.99		3.25		4.49
	25.42		5.34		7.20		5.27		4.61		5.40
	24.03		4.11		4.05		3.25		4.85		6.21
	16.77		5.15		7.31		4.56		4.96		6.92
	5.28		3.99		6.12		4.17		4.16		7.38
	8.17		4.02		6.13		3.79		5.24		4.48
	9.92		3.89		5.00		3.77		4.76		7.45
	6.87		5.13		6.04		4.00		4.62		5.66
	3.69		3.37		3.52		3.76		3.33		4.40
	6.54		4.26		4.36		3.82		3.76		5.59
	4.93		4.01		4.55		3.81		3.15		4.20
	5.51		3.83		3.92		6.71		5.04		3.43
	5.70		3.59		4.33		6.41		3.39		7.04
06.15-06.	4.72	12.15-12.	4.68	13.15-13.	3.42	06.45-07.	4.35	12.45-13.	5.49	13.45-14.	7.43
rata-rata	5.98	**rata-rata**	4.51	**rata-rata**	4.53	**rata-rata**	3.42	**rata-rata**	3.97	**rata-rata**	6.88
5.22237	4.75	**5.34305**	6.06	**4.91082**	4.33	**4.80464**	3.49	**5.444**	7.21	**5.37571**	3.72
	3.59		6.42		4.44		5.70		6.00		5.94
	6.40		6.13		3.23		4.87		6.82		6.28
	5.86		4.62		5.10		5.05		5.18		4.99
	4.82		6.72		5.05		6.00		3.90		3.92
	6.02		4.60		6.77		6.77		6.97		6.88
	5.53		4.80		3.48		5.52		5.60		3.40
	5.27		5.59		6.06		4.20		5.29		3.55
	5.94		6.54		6.82		3.78		3.15		3.15
	5.01		5.03		5.70		3.61		3.02		4.93
	4.65		5.08		4.47		5.28		3.27		3.61
	4.97		3.88		3.14		4.33		5.43		5.22
	5.12		5.20		3.57		5.23		4.33		4.53
	4.43		4.66		5.15		4.76		7.27		7.57
	5.91		6.04		5.05		4.18		6.50		3.08
	5.18		5.24		6.12		6.48		7.60		6.41
	6.06		6.23		5.49		3.63		7.33		3.01
	4.20		4.06		7.31		4.24		5.78		6.87
	5.47		5.05		3.71		3.58		3.01		4.31
	4.42		5.98		3.35		3.43		6.56		6.46
	4.78		5.85		4.90		4.00		5.89		5.80
	6.11		5.70		3.30		3.92		6.61		6.83
	5.34		5.13		5.19		3.31		3.63		4.28
	5.62		5.34		6.86		4.94		3.47		5.64
	5.05		5.12		6.91		5.69		5.22		6.99
	4.24		5.04		3.48		7.17		4.67		5.87
	5.90		5.17		7.07		6.66		7.28		6.75
	5.33		5.84		3.32		6.53		6.89		6.98

Lampiran 4.9 Data Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi 2 (*U-turn* Perlintasan Kereta Api Universitas Pancasila) Titik 2 Periode Sore

Jam	Waktu T	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T	Jam	Waktu T
16.00-16.	5.20	17.00-17.	3.79	18.00-18.	4.77	16.30-16.	5.75	17.30-17.	6.71	18.30-18.	6.25
rata-rata	6.68	**rata-rata**	5.91	**rata-rata**	6.35	**rata-rata**	4.16	**rata-rata**	6.54	**rata-rata**	6.44
4.73426	4.37	**5.28792**	6.05	**4.71612**	3.70	**5.08182**	5.24	**5.10706**	4.18	**5.1274**	4.48
	5.02		3.52		5.14		3.63		4.64		4.15
	5.12		7.26		6.59		5.99		6.12		5.60
	3.09		3.67		5.87		6.83		5.58		4.83
	3.53		4.77		5.02		6.13		3.76		3.07
	6.21		3.13		3.43		3.19		3.79		6.53
	4.34		4.15		6.89		3.97		6.29		6.06
	3.19		5.73		4.52		6.78		6.94		6.27
	6.89		7.01		3.64		4.10		5.10		6.95
	4.77		3.79		5.21		3.20		4.72		6.98
	5.59		4.71		3.29		6.48		3.28		4.06
	3.33		4.24		4.57		6.36		3.42		5.27
	5.00		4.72		4.77		3.85		4.46		3.36
	3.08		7.16		5.59		6.19		4.30		5.44
	4.78		6.75		3.55		4.77		6.01		4.00
	4.05		6.05		4.65		5.19		7.00		6.68
	5.67		5.73		3.41		5.69		6.14		3.86
	4.93		6.02		4.20		5.77		7.03		5.21
	3.33		7.06		6.33		6.32		4.01		3.08
	4.09		3.89		3.36		3.63		7.02		4.21
	4.54		3.19		5.32		4.06		3.09		6.76
	5.39		4.20		6.35		3.51		4.35		3.41
	4.92		3.29		4.39		4.77		3.07		4.76
	4.42		5.52		3.09		6.59		3.28		5.22
	4.20		6.77		3.56		4.72		6.09		4.94
	3.97		6.70		3.11		6.47		4.91		3.15
	6.67		7.06		5.22		4.11		6.81		6.38
	5.66		6.79		5.59		5.00		4.57		6.40
16.15-16.	5.62	17.15-17.	7.23	18.15-18.	5.79	16.45-17.	5.97	17.45-18.	5.22	18.45-19.	4.88
rata-rata	5.59	**rata-rata**	5.49	**rata-rata**	6.12	**rata-rata**	3.33	**rata-rata**	3.65	**rata-rata**	5.17
4.97499	3.52	**5.30596**	4.91	**5.3771**	6.15	**5.21278**	5.94	**5.37371**	6.29	**4.93259**	5.80
	3.57		4.01		4.21		6.87		4.10		4.62
	6.46		3.08		3.35		5.66		5.31		6.19
	3.02		7.28		3.97		6.24		6.66		3.93
	4.86		7.00		3.14		6.75		5.28		3.81
	6.85		6.47		5.20		5.58		4.17		3.04
	5.16		6.57		6.58		5.85		6.28		5.09
	3.38		6.51		5.35		5.03		5.65		4.39
	6.30		3.50		5.74		3.23		6.91		6.05
	4.19		4.86		6.35		5.03		4.50		6.77
	4.18		5.82		6.12		5.11		6.78		5.67
	3.83		6.63		6.21		5.46		5.22		4.93
	3.49		5.65		6.90		5.47		4.49		3.15
	3.15		6.40		6.73		3.79		4.97		4.69
	5.12		5.80		6.89		4.87		6.75		4.36
	6.37		7.12		3.33		4.14		4.26		5.18
	6.79		5.74		3.76		5.50		4.85		4.43
	6.18		5.34		5.26		6.63		5.86		6.90
	6.19		3.52		6.31		3.18		5.64		5.69
	5.88		3.03		6.18		4.34		6.25		4.68
	6.59		3.35		3.07		4.95		5.96		3.79
	4.49		4.22		5.60		5.76		7.18		5.29
	4.30		3.74		5.35		6.33		3.61		5.08
	5.90		3.38		3.52		4.11		6.71		5.85
	5.30		7.05		6.92		6.45		4.64		5.78
	3.04		4.86		6.92		4.42		4.81		3.77
	4.64		6.44		3.70		4.72		5.99		4.20
	5.32		4.18		6.60		5.66		3.23		4.81