

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PERLINTASAN SEBIDANG JALAN M.T
HARYONO DENGAN REL KERETA API TERHADAP
KARAKTERISTIK LALU LINTAS
(Studi Kasus)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

M. YASIR RAHIM
1207210155



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : M. YASIR RAHIM

NPM : 1207210155

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh perlintasan sebidang jalan M.T Haryono Dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas

Bidang ilmu : Transportasi.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Oktober 2017

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Peguji

Ir. Zurkiyah, M.T

Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Peguji

Ir. Sri Asfiati, M.T

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : M. YASIR RAHIM

Tempat /Tanggal Lahir: Medan /28 November 1995

NPM : 1207210155

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

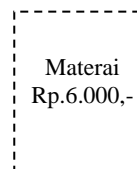
“Pengaruh perlintasan sebidang jalan M.T Haryono Dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas”,

bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Maret 2017



Saya yang menyatakan,

M. Yasir Rahim

ABSTRAK

PENGARUH PERLINTASAN SEBIDANG JALAN DENGAN REL KRETA API TERHADAP KARAKTERISTIK LALULINTAS

M. Yasir Rahim

1207210155

Ir. Zurkiyah, M.T.

Mizanuddin Sitompul, S.T.,M.T.

Suatu persimpangan biasanya terbentuk dari pertemuan antara dua ruas jalan dengan arah yang berbeda. Pertemuan antara dua jenis prasarana transportasi seperti jalan raya dengan rel kereta api merupakan bentuk pertemuan yang menimbulkan masalah. Peranan sistem kontrol pada pertemuan dua jalur prasarana transportasi tersebut yang di Indonesia disebut dengan perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api, saat ini banyak yang telah dioperasikan secara semi otomatis. Permasalahan yang tampak adalah walaupun sistem kontrol tersebut telah dioperasikan dengan benar, tapi bila volume kendaraan pada pendekatan lintasan sedemikian besar maka akan menimbulkan tundaan dan panjang antrian yang cukup berarti dan risiko terjadinya kecelakaan lalulintas antara kendaraan jalan raya dengan kereta api akan semakin besar. Dari hasil analisis yang dilakukan pada lokasi tanpa hambatan lalulintas nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 37.20 km/jam, nilai kerapatan macet D_j 116.808 dan volume maksimum 1086.403 smp/jam dan pada lokasi dengan hambatan nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 22.57 km/jam, nilai kerapatan macet D_j 213.035 dan volume maksimum 1202 smp/jam, periode penutupan pada jam 16.45.45- 16.47.45 merupakan kondisi maksimum dimana menghasilkan, panjang antrian maksimum = 77 meter, jumlah kendaraan antri $N = 39$ smp, serta rata-rata tundaan sebesar 79 detik. dapat diketahui bahwa kondisi antrian dan tundaan yang terjadi tergantung pada jumlah kendaraan yang masuk dan durasi penutupan perlintasan.

Kata kunci: Perlintasan sebidang, volume lalu lintas, tundaan, antrian.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF A JOINT STREET M.T HARYONO WITH RAIL RAILS ON TRAFFIC CHARACTERISTICS

M. Yasir Rahim

1207210155

Ir. Zurkiyah, M.T.

Mizanuddin Sitompul, S.T.,M.T.

An intersection is usually formed from a meeting between two streets in different directions. The meeting between two types of transportation infrastructure such as highways with railways is a form of encounter that causes problems. The role of the control system at the meeting of the two lanes of transportation infrastructure which in Indonesia is called crossing a plot of road with railway, now many have been operated semi-automatic. The apparent problem is that although the control system has been operated correctly, but if the volume of the vehicle on the approach of the trajectory is so great it will cause delays and the length of the queue is quite significant and the risk of traffic accidents between highway vehicles with trains will be greater. From the results of the analysis conducted at the location without traffic barriers, the free-flow rate \bar{U}_f 37.20 km / h, the value of jam density D_j 116.808 and the maximum volume of 1086,403 smp / hour and at locations with the resistance of free-flow rate \bar{U}_f 22.57 km / h, the value of the jam density D_j 213.035 and the maximum volume of 1202 smp / hour, the closing period at 16.45.45- 16.47.45 is the maximum condition that produces, the maximum queue length = 77 meters, the number of vehicles queuing $N = 39$ smp, and the average delay of 79 seconds . it can be seen that the queue and delay conditions that occur depend on the number of vehicles entering and the duration of the closing crossings.

Keywords: parcel alignment, traffic volume, delays, queues.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan M.T Haryono Dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus)” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Ibu Ir. Zurkiyah, M.T selaku Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi, motivasi dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T selaku Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi, masukan, dan bantuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Ir. Sri Afiati, M.T selaku Pembimbing I.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc selaku Pembimbing II dan selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Rahmatullah, S.T, M.Sc selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Dosen/staff pengajar dan pegawai Fakultas Teknik Program Studi Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Kedua orang tua yaitu Ayahanda H Abdul Rahim dan Ibunda tercinta Dra. Zulaika serta abanganda Azhary Rahim. ST dan Adinda Saarah Yasmin dan Habibi Rahim beserta keluarga yang telah memberikan dukungan dan membantu baik secara doa, nasihat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2012 yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan.

Medan, Maret 2017

M. Yasir Rahim

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Karakteristik Lalulintas	5
2.1.1. Arus dan Volume Lalulintas (<i>Flow</i>)	6
2.1.2. Kecepatan (<i>Speed</i>)	7
2.1.2. Kerapatan (<i>Desinty</i>)	7
2.2. Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan	9
2.2.1 Perhitungan Volume	9
2.2.2 Ekuivalensi Mobil Penumpang	9
2.2.3 Perhitungan Kecepatan	11
2.2.4 Perhitungan Kerapatan	13
2.3. Pemodelan Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan	13

2.3.1 Model Linier Menurut <i>Greenshields</i>	13
2.4. Tundaan	17
2.5. Antrian	19
2.6. Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api	20
2.7. Gelombang kejut	20
2.7.1 Klasifikasi Gelombang Kejut	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Tahapan Pekerjaan	32
3.2. Pemilihan Lokasi Penelitian	32
3.3. Pilot Survey	33
3.4. Variabel-Variabel Yang Diukur	33
3.5. Pengumpulan Data	31
3.5.1. Surveyor dan Peralatan	31
3.5.2. Priode Pengamatan	32
3.5.3. Pengumpulan Data Primer	32
BAB 4 ANALISIS DATA	
4.1. Data Lalu Lintas	34
4.2. Data Kecepatan Rata Rata Ruang Kendaraan	36
4.3. Perhitungan Kerapatan	39
4.4. Data Waktu Dan Lama Penutupan Pintu Perlitanan	40
4.5. Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan	41
4.5.1. Hubungan Antara Kecepatan Dan Kerapatan	44
4.5.1. Hubungan Antara Volume Dan Kecepatan	44
4.5.2. Hubungan Antara Volume Dan Kerapatan	45
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	50

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kerangka Dasar Karakteristik Lalulintas	5
Tabel 2.2	Rekomendasi Panjang Jalan untuk Studi Kecepatan Setempat(Direktorat Jendral Bina Marga ,1990)	8
Tabel 2.3	Emp Untuk Jalan Perkotaan Terbagi dan Satu Arah	11
Tabel 2.4	Contoh Perhitungan Kecepatan Rata-Rata Waktu dan Kecepatan Rata-Rata Ruang	12
Tabel 4.1	Volume lalu lintas selama satu minggu	34
Tabel 4.2	Volume kendaraan perjam pada hari Senin	35
Tabel 4.4	Volume maksimum pada lokasi pengamatan 1	35
Tabel 4.5	Volume maksimum pada lokasi pengamatan 2	36
Tabel 4.5	Perhitungan Kecepatan Ruang Rata-rata dari Hasil Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi Pengamatan 1	38
Tabel 4.6	Perhitungan Kecepatan Ruang Rata-rata dari Hasil Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi Pengamatan 2	38
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan Lokasi Pengamatan 1	39
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan Lokasi Pengamatan 2	39
Tabel 4.9	Data Waktu dan Lama Penutupan Pintu Perlintasan Hasil Survey	40
Tabel 4.10	Variabel dan Konstanta Regresi Linier	41
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Regresi Linier Lokasi Pengamatan 1	43
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Regresi Linier Lokasi Pengamatan 1	43
Tabel 4.13	Resume Perhitungan Regresi Linier	44
Tabel 4.14	Persamaan Hubungan antara Kecepatan (\bar{U}_{sr}), Volume V dan Kerapatan D	44
Tabel 4.15	Kecepatan Arus Bebas (U_f) dan Kerapatan Macet (D_j)	44
Tabel 4.16	Nilai Volume Maksimum	45
Tabel 4.17	Perhitungan Antrian dan Tundaan pada Kondisi Pintu Perlintasan Tertutup dengan Analisis Gelombang Kejut	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan Antara Arus, Kecepatan Dan Kerapatan	16
Gambar 2.2	Klasifikasi Gelombang Kejut	22
Gambar 2.3	Gelombang Kejut Pada Saat Kondisi Pintu Perlintasan Ditutup	24
Gambar 2.4	Gelombang Kejut Pada Perlintasan Kereta Api Pada Saat Pintu Perlintasan Ditutup	28
Gambar 2.5	Lokasi Antrian dan Lokasi Hilangnya Antrian	27
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	29
Gambar 3.2	Denah lokasi penelitian	35

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

C	= Kapasitas
Emp	= Ekuivalensi mobil penumpang
K	= Faktor k faktor volume lalu lintas jam sibuk
HV	= Kendaraan Berat
LHRT	= Laju harian rata-rata tahunan (smp)
LHR	= Laju harian rata-rata (smp)
LV	= Mobil penumpang
MKJI	= Manual kapasitas jalan indonesia
MC	= Sepeda Motor
n	= jumlah kendaraan yang diamati
SMP	= Satuan mobil penumpang
ti	= waktu tempuh kendaraan (jam)
\bar{U}_t	= kecepatan rata-rata waktu (km/jam)
\bar{U}_{sr}	= kecepatan rata-rata ruang (km/jam)
X	= jarak tempuh (km)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem transportasi yang terbentuk dari komponen sarana, prasarana dan manusia adalah bagian hidup masyarakat saat ini. Permasalahan yang timbul seperti kemacetan, kecelakaan, penurunan kualitas lingkungan dan transportasi biaya tinggi menjadi pemandangan sehari-hari di kota-kota besar di Indonesia. Dalam suatu sistem jaringan jalan raya, persimpangan merupakan titik terjadinya konflik antara moda transportasi dan tingkat efisiensi jaringan jalan sangat ditentukan oleh kinerja persimpangan.

Suatu persimpangan biasanya terbentuk dari pertemuan antara dua ruas jalan dengan arah yang berbeda. Pertemuan antara dua jenis prasarana transportasi seperti jalan raya dengan rel kereta api merupakan bentuk pertemuan yang menimbulkan masalah. Peranan sistem kontrol pada pertemuan dua jalur prasarana transportasi tersebut yang di Indonesia disebut dengan perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api, saat ini banyak yang telah dioperasikan secara semi otomatis. Permasalahan yang tampak adalah walaupun sistem kontrol tersebut telah dioperasikan dengan benar, tapi bila volume kendaraan pada pendekatan lintasan sedemikian besar maka akan menimbulkan tundaan dan panjang antrian yang cukup berarti dan resiko terjadinya kecelakaan lalulintas antara kendaraan jalan raya dengan kereta api akan semakin besar.

Hal tersebut disebabkan karena pada perlintasan sebidang antara jalan dengan rel kereta api terdapat pertemuan antara moda transportasi jalan raya dan kereta api pada satu bidang yang sama yang memiliki karakteristik pergerakan yang berbeda sehingga memiliki tingkat resiko tinggi untuk terjadinya kecelakaan lalulintas. Potensi terjadinya kecelakaan lalulintas pada perlintasan kereta api sebidang akan semakin tinggi jika perlintasan kereta api sebidang tersebut berpotongan pada satu bidang yang sama dengan ruas jalan yang memiliki intensitas kepadatan lalu lintas yang tinggi.

Dengan mempertimbangkan karakteristik pergerakannya, kereta api mendapat prioritas pada perlintasan dan pengemudi harus mendahulukan kereta api karena berdasarkan pasal 91 ayat 1 Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian, perpotongan antara jalur kereta api dengan jalan raya sebaiknya dibuat dengan prinsip tidak sebidang yang berarti menggunakan *Fly over* atau *Underpass* sehingga tidak terjadi persimpangan sebidang dan dapat meminimalisasi terjadinya kecelakaan lalulintas.

Hal tersebut mengingat karakter dari kereta api yang tidak dapat diberhentikan secara mendadak berbeda dengan moda transportasi jalan raya. Untuk pengecualian dari pasal 91 ayat 1 Undang-Undang Republik Indonesia diatas yaitu pada ayat 2 yaitu untuk persimpangan sebidang hanya dapat dilakukan dengan tetap menjamin keselamatan dan kelancaran perjalanan kereta api dan lalulintas jalan. Sedangkan berdasarkan Pasal 110 Ayat 1 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 72 Tahun 2009 Tentang Lalulintas dan Angkutan Kereta Api, Pada perpotongan sebidang antara jalur kereta api dengan jalan yang selanjutnya disebut dengan perpotongan sebidang yang digunakan untuk lalulintas umum atau lalulintas khusus, pemakai jalan wajib mendahulukan perjalanan kereta api.

Mengingat karakteristik kereta api yang tidak dapat langsung berhenti jika ada penghalang di depannya, kereta api membutuhkan jarak tertentu untuk mengerem sebelum berhenti. Jika terdapat penghalang di depan kereta api yang sedang melaju, masinis biasanya justru akan semakin menambah kecepatan karena dengan kecepatan yang lebih tinggi diharapkan pada saat terjadi benturan tidak akan mengakibatkan kereta api terguling dan benda yang berada di depan kereta api tersebut akan lebih mudah tersingkir dan pengendara kendaraan jalan raya juga diwajibkan untuk lebih mendahulukan perjalanan kereta api.

Karakteristik rel kereta api dapat dikatakan sama dengan jalan tol, yaitu jalur yang bebas terhadap hambatan selama perjalanan kereta api berlangsung. Karakteristik kereta api masih kurang dipahami oleh sebagian besar pengguna jalan, ditambah lagi dengan faktor kedisiplinan berlalulintas yang masih rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang sebagaimana disajikan di atas maka rumusan masalah yang terjadi adalah:

1. Bagaimana hubungan antar volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas pada ruas jalan tanpa hambatan dan ruas jalan yang dipengaruhi hambatan geometrik lalu lintas dengan menggunakan pendekatan model linear Greenshilds
2. Bagaimana nilai tundaan dan antrian yang terjadi pada saat pintu perlintasan ditutup dengan metode gelombang kejut.

1.3 Ruang Lingkup

Untuk menyederhanakan penelitian ini mengingat akan keterbatasan waktu, tenaga, serta biaya, maka ruang lingkup permasalahan pada penelitian ini dibatasi secara spesifik hanya mencakup kondisi sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah ruas Jalan M. T. Haryono yaitu pada perlintasan sebidang Jalan M. T.Haryono arah pergerakan lalu lintas dari Jalan Palang Merah menuju Jalan M. T. Haryono, dimana lokasi titik pengamatan dibedakan menjadi dua, yaitu pada bagian ruas tanpa dipengaruhi hambatan dan yang dipengaruhi hambatan.
2. Kecepatan kendaraan didasarkan pada kecepatan rata-rata ruang, interval waktu pengamatan dan pencatatan volume lalu lintas adalah setiap 15 menit

1.4 Tujuan Penelitian

Berubungan dengan rumusan masalah yang dibuat, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas pada ruas jalan tanpa hambatan dan ruas jalan yang dipengaruhi hambatan geometrik lalu lintas.
2. Mengetahui nilai tundaan dan antrian yang terjadi pada saat pintu perlintasan ditutup dengan metode gelombang kejut.

1.5 Manfaat Penelitian

Berubungan dengan tujuan yang dibuat, maka manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengetahui bagaimana tundaan dan antrian selama pintu perlintasan ditutup, yaitu ketika kereta memasuki perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api.
2. Mengetahui bagaimana kecepatan dan kerapatan lalulintas pada ruas Jalan M. T. Haryono tanpa hambatan dan ruas jalan yang dipengaruhi hambatan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri atas 5 bab, dengan perincian masing-masing bab adalah sebagai berikut:

BAB 1: PENDAHULUAN

Bab ini memberikan penjelasan mengenai latar belakang penelitian, maksud dan tujuan penelitian, ruang lingkup dan batasan masalah, metodologi yang digunakan dalam penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan-tinjauan teoritis dari para ahli mengenai perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api, karakteristik lalulintas dan persoalan lalulintas yang ditimbulkannya seperti tundaan dan antrian kendaraan.

BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang pendiskripsian dan langkah – langkah kerja yang akan dilakukan dengan cara memperoleh data–data yang relevan dengan penelitian ini.

BAB 4: PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA

Bab ini membahas tentang penyajian data–data yang kita peroleh, selanjutnya data–data tersebut dianalisis untuk mendapatkan beberapa kesimpulan dengan menggunakan analisis.

BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang beberapa temuan studi, kesimpulan, saran, dan studi lebih lanjut yang diperlukan sehubungan dengan penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Lalu Lintas

Karakteristik dasar arus lalu lintas adalah arus, kecepatan, dan kerapatan. Karakteristik ini dapat diamati dengan cara makroskopik atau mikroskopik. Pada tingkat mikroskopik analisis dilakukan secara individu sedangkan pada tingkat makroskopik analisis dilakukan secara kelompok (Soedirdjo, 2002). Tabel 2.1 menggambarkan kerangka dasar dari karakteristik lalulintas.

Tabel 2.1: Kerangka dasar karakteristik lalulintas (MKJI 1997).

Karakteristik lalulintas	Mikroskopik	Makroskopik
Arus	Waktu antrean (<i>time headway</i>)	Tingkat arus
Kecepatan	Kecepatan individu	Kecepatan rata-rata
kerapatan	Jarak antran (<i>distance headway</i>)	Tingkat kerapatan

Karakteristik arus makroskopik dinyatakan dengan tingkat arus dan pembahasan akan ditekankan pada pola variasi dalam waktu, ruang dan jenis kendaraan. Karakteristik kecepatan makroskopik menganalisis kecepatan dari kelompok kendaraan yang melintas suatu titik pengamat atau suatu potongan jalan pendek selama periode waktu tertentu. Penekanan diberikan pada variasi waktu, ruang dan jenis kendaraan. Karakteristik kerapatan makroskopik dinyatakan sebagai sejumlah kendaraan yang menempati suatu potongan jalan. Kerapatan merupakan karakteristik penting yang dapat digunakan dalam menilai kinerja lalulintas dari sudut pandang pemakai jalan dan pengelola jalan.

2.1.1 Arus dan Volume Lalulintas (*Flow*)

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) arus lalulintas disebut sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melewati satu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan per jam. Arus lalulintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya akan bervariasi baik berdasarkan lokasi maupun waktunya.

Sedangkan volume adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tiap satuan waktu (Alamsyah, 2008). Volume biasanya dihitung dalam kendaraan/hari atau kendaraan/jam. Volume dapat juga dinyatakan dalam periode waktu yang lain.

Volume lalulintas umumnya rendah pada malam hari, tetapi meningkat secara cepat sewaktu orang mulai pergi ke tempat kerja. Volume jam sibuk biasanya terjadi di jalan perkotaan pada saat orang melakukan perjalanan ke dan dari tempat kerja atau sekolah. Volume jam sibuk pada jalan antar-kota lebih sulit untuk diperkirakan.

Dalam pembahasannya volume dibagi menjadi 3 (tiga) (Soedirdjoe, 2002) yaitu:

1. Volume harian (*Daily Volume*)

Ada empat parameter volume harian yang banyak digunakan yaitu :

Lalulintas harian rata-rata tahunan (LHRT) atau *average annual daily traffic* (AADT) yaitu volume lalulintas 24 jam rata-rata disuatu lokasi tertentu selama 365 hari penuh, yaitu jumlah total kendaraan yang melintas lokasi dalam satu tahun dibagi 365.

Lalulintas hari kerja rata-rata tahunan (LHKRT) atau *average annual weekday traffic* (AAWT) yaitu volume lalulintas 24 jam rata-rata terjadi pada hari kerja selama satu tahun penuh.

Lalulintas harian rata-rata (LHR) atau *average daily traffic* (ADT) yaitu volume lalulintas 24 jam rata-rata disuatu lokasi untuk periode waktu kurang dari satu tahun. Sementara AADT dihitung selama satu tahun penuh.

Lalulintas hari kerja rata-rata (LHKR) atau *average weekday traffic* (AWT) adalah volume lalulintas 24 jam rata-rata terjadi pada hari kerja selama periode kurang dari setahun, seperti selama satu bulan atau satu periode.

2. Volume jam-an (*Hourly Volumes*)

Yaitu suatu pengamatan terhadap arus lalulintas untuk menentukan jam puncak selama periode pagi dan sore yang biasanya terjadi kesibukan akibat orang pergi dan pulang kerja. Dari pengamatan tersebut dapat diketahui arus yang paling besar yang disebut sebagai jam puncak.

3. Volume per sub jam (*Sub Hourly Volumes*)

Yaitu pengamatan terhadap arus lalulintas lebih kecil dari satu jam.

2.1.2 Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan adalah besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh (Soedirdjo, 2002). Kecepatan dari suatu kendaraan dipengaruhi oleh faktor-faktor manusia, kendaraan, prasarana dan juga dipengaruhi oleh arus lalulintas, kondisi cuaca dan lingkungan alam disekitarnya.

Menurut Direktorat Bina Sistem Lalulintas dan Angkutan Kota (1999), ada empat klasifikasi utama yang sering digunakan dalam mempelajari kecepatan arus lalulintas, yaitu:

1. Kecepatan titik/sesaat (*spot speed*)

Yaitu kecepatan kendaraan sesaat pada waktu kendaraan tersebut melintasi suatu titik tetap tertentu di jalan.

2. Kecepatan perjalanan (*journey speed*)

Yaitu kecepatan rata-rata kendaraan efektif antara dua titik tertentu di jalan, yang dapat ditentukan dari jarak perjalanan dibagi dengan total waktu perjalanan.

3. Kecepatan bergerak (*running speed*)

Yaitu kecepatan rata-rata kendaraan untuk melintasi suatu jarak tertentu dalam kondisi kendaraan tetap berjalan, yaitu kondisi setelah dikurangi oleh waktu hambatan terjadi (misalnya hambatan pada persimpangan). Kecepatan bergerak ini dapat ditentukan dari jarak perjalanan dibagi dengan total waktu perjalanan

yang telah dikurangi dengan waktu berhenti karena adanya hambatan yang disebabkan gangguan yang terjadi pada lalulintas.

4. Hambatan (*delay*)

Hambatan tetap (*fixed delay*)

Hambatan bergerak (*running delay*)

Dalam pergerakan arus lalulintas, tiap kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda. Dengan demikian dalam arus lalulintas 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 lalulintas. Dan dibutuhkan panjang jalan untuk mencari kecepatan ,rekomendasi panjang jalan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Rekomendasi panjang jalan untuk studi kecepatan setempat (Direktorat Jendral Bina Marga, 1990).

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

2.1.3 Kerapatan (*Density*)

Kerapatan adalah sebagai jumlah kendaraan yang menempati panjang ruas jalan tertentu atau lajur yang umumnya dinyatakan sebagai jumlah kendaraan per kilometer (Alamsyah, 2008).

Menurut Soedirdjoe (2002), kerapatan adalah jumlah kendaraan yang menggunakan suatu panjang jalan, pada umumnya ditentukan panjang 1 km dan satu lajur jalan. Kerapatan lalulintas 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. Batas atas ini disebut kerapatan macet, dan umumnya antara 115 sampai 156 kendaraan per km.

Kerapatan sukar diukur secara langsung (karena diperlukan titik ketinggian tertentu yang dapat mengamati jumlah kendaraan dalam panjang ruas jalan tertentu), sehingga besarnya ditentukan dari dua parameter sebelumnya, yaitu kecepatan dan volume (Alamsyah, 2008). Dimana kerapatan, kecepatan dan volume mempunyai hubungan seperti pada Pers. 2.1 dan Pers. 2.2.

$$V = \bar{U}_{sr} \times D \quad (2.1)$$

$$D = V / \bar{U}_{sr} \quad (2.2)$$

Dimana:

V = volume (smp/jam)

\bar{U}_{sr} = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

D = kerapatan (smp/km)

2.2 Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan

2.2.1 Perhitungan Volume

Volume kendaraan adalah parameter yang menjelaskan keadaan arus lalulintas di jalan. Kendaraan yang melewati suatu ruas jalan dijumlahkan dengan mengalikan faktor konversi kendaraan yang telah ditetapkan sehingga nantinya diperoleh jumlah kendaraan yang lewat pada ruas jalan tersebut. Nilai tersebut kemudian dikonversikan ke dalam smp/jam untuk mendapatkan nilai volume kendaraan yang lewat setiap jamnya.

2.2.2 Ekuivalensi Mobil Penumpang

Untuk keperluan analisa dan perhitungan dari volume lalulintas yang terdiri dari berbagai tipe, maka perlu dikonversikan kedalam satuan kendaraan ringan yang dikenal sebagai satuan mobil penumpang dengan menggunakan faktor ekuivalensi mobil penumpang.

MKJI (1997), mendefenisikan satuan mobil penumpang dan ekivalensi mobil penumpang sebagai berikut:

1. Satuan Mobil Penumpang, yaitu satuan arus, dimana arus dari berbagai tipe kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan emp.
2. Ekivalensi Mobil penumpang, yaitu faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalulintas.

Menurut MKJI (1997), untuk jalan perkotaan dan persimpangan, kendaraan pada arus lalulintas dibagi dalam 3 (tiga) tipe yaitu:

Kendaraan ringan (LV) adalah kendaraan bermotor ber as dua dengan empat roda dan dengan jarak as 2,0 – 3,0 m, meliputi mobil penumpang, oplet, mikro bis, pick-up dan truk kecil sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.

Kendaraan berat (HV) adalah kendaraan bermotor dengan lebih dari empat roda, meliputi bis, trus 2as, truk 3as dan truk kombinasi sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.

Sepeda motor (MC) adalah kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda, meliputi sepeda motor dan kendaraan roda tiga sesuai sistem klasifikasi Bina Marga, Untuk tipe kendaraan ringan, faktor emp adalah 1 (satu) sedangkan tipe kendaraan berat serta sepeda motor dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Emp untuk jalan perkotaan terbagi dan satu arah (MKJI 1997).

Tipe jalan:	Arus lalulintas per lajur (kend/jam)	EMP	
		HV	MC
Jalan Satu Arah dan Terbagi			
Dua Lajur Satu Arah (2/1)	0	1.3	0.40
Empat Lajur Terbagi (4/2D)	≥1050	1.2	0.25
Tiga lajur 1 arah (3/1)	0	1.3	0.40
Enam lajur dua arah (6/2D)	≥1100	1.2	0.25

Dari Tabel 2.3 dapat diketahui volume lalulintas yang melewati suatu titik dihitung melalui Pers. 2.3.

$$V = \sum (V_i \text{ EMP}_i) \quad (2.3)$$

Dimana:

V = Volume (Smp/jam)

V_i = Arus kendaraan tipe ke-i

EMP_i = Faktor emp kendaraan tipe ke-i

2.2.3 Perhitungan Kecepatan

Kecepatan merupakan laju pergerakan yang ditandai dengan besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi dengan waktu tempuh. Kecepatan dapat didefinisikan dengan Pers. 2.4.

$$\bar{U} = \frac{x}{t} \quad (2.4)$$

Dimana :

\bar{U} = kecepatan (km/jam)

x = jarak tempuh kendaraan (km)

t = waktu tempuh kendaraan (jam)

Kecepatan kendaraan pada suatu bagian jalan, akan berubah-ubah menurut waktu dan besarnya lalulintas. Ada 2 (dua) hal penting yang perlu diperhatikan dalam menilai hasil studi kecepatan yaitu :

- a. Kecepatan rata-rata ruang (sr), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan dalam suatu bagian jalan pada suatu interval waktu tertentu dinyatakan dalam km/jam.
- b. Kecepatan rata-rata waktu (t), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan yang melewati suatu titik dalam interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam km/jam.

Kecepatan rata-rata ruang dan kecepatan rata-rata waktu dapat dihitung dari pengukuran waktu tempuh dan jarak menurut Pers. 2.5 dan Pers. 2.6 sebagai berikut:

$$\bar{U}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x}{t_i}}{n} \quad (2.5)$$

$$\bar{U}_{sr} = \frac{x \cdot n}{\sum_{i=1}^n t_i} \text{ atau } \bar{U}_{sr} = \frac{x}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.6)$$

Dimana:

\bar{U}_t = kecepatan rata-rata waktu (km/jam)

\bar{U}_{sr} = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

X = jarak tempuh (km)

t_i = waktu tempuh kendaraan (jam)

n = jumlah kendaraan yang diamati

Kedua jenis kecepatan di atas sangat berguna dalam studi mengenai hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan. Penggunaan rumus di atas dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Contoh perhitungan kecepatan rata-rata waktu dan kecepatan rata-rata ruang (Said, 2004).

No.kendaraan	Jarak (meter) (xi)	Waktu Tempuh (detik) (ti)	Kecepatan (km/jam) xi / ti *(3,6)
1	25	4.3	20.9
2	25	4.6	19.6
3	25	5.5	16.4
4	25	5.8	15.5
5	25	6.5	13.8
	125	36.7	86.2
Rata-rata		26.7/5 = 5.34	86.2/5 = 17.24
$U_t = 17.24 \text{ km/jam}$			
$U_{sr} = (125/26.7)3.6 = 16.8 \text{ km/jam}$			

Disebabkan karena sampel data yang diambil adalah terbatas pada periode waktu tertentu pada suatu titik dan harus mengikutsertakan beberapa kendaraan yang berjalan cepat, akan tetapi pada saat pengambilan data dilaksanakan kendaraan yang berjalan lambat juga harus diikutsertakan. Oleh karena itu, pendekatan antara kecepatan setempat dan dan kecepatan rata-rata ruang digunakan Pers. 2.7 sebagai berikut:

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_{sr} - s^2 / \bar{U}t \quad (2.7)$$

$$S = \frac{\sum(x_i - \bar{x})}{n-1} \quad (2.8)$$

Dimana:

S = deviasi standar dari kecepatan setempat

X = rata-rata

2.2.4 Perhitungan Kerapatan

Kerapatan merupakan parameter yang menjelaskan keadaan lalu lintas dimana terdapat banyaknya jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas tertentu. Nilai kerapatan dapat dihitung jika nilai volume dan kecepatan kendaraan telah diperoleh sebelumnya dengan Pers. 2.9.

$$D = \frac{v}{\bar{U}_{sr}} \quad (2.9)$$

Dimana:

D = kerapatan (smp/km)

V = volume lalu lintas (smp/jam)

\bar{U}_{sr} = kecepatan rata-rata ruang

2.3 Pemodelan Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan

Analisis untuk suatu ruas jalan didasarkan pada hubungan antara ketiga variabel parameter di atas, yaitu volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas dalam keadaan jalan lalu lintas yang ideal. Hubungan tersebut mengikuti definisi dari

kriteria tingkat pelayanan didasarkan pada faktor penyesuaian untuk kendaraan yang tidak sejenis.

2.3.1 Model Linier Menurut *Greenshields*

Pemodelan ini merupakan model paling awal yang tercatat dalam usaha mengamati perilaku lalu lintas. *Greenshields* mengadakan studi pada jalur jalan di kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tanpa gangguan dan bergerak secara bebas (*steady state condition*). *Greenshields* mendapat hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan bersifat linier. Berdasarkan penelitian-penelitian selanjutnya terdapat hubungan yang erat antara model linier dengan keadaan data di lapangan. Hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan ini menjadi hubungan yang paling populer dalam tinjauan pergerakan lalu lintas, mengingat fungsi hubungannya adalah yang paling sederhana sehingga mudah diterapkan. Adapun persamaan umum hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan cara regresi linier pada Pers. 2.10 - 2.12.

$$Y = A + Bx \quad (2.10)$$

Dengan nilai:

$$A = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.11)$$

$$B = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.12)$$

Dengan diperolehnya persamaan $Y = A + Bx$ maka hubungan antara kecepatan dan kerapatan dapat dirumuskan. Garis hasil persamaan ini akan memotong skala kecepatan pada f dan memotong skala kerapatan pada D_j . Oleh karena itu, persamaan garis yang didapat tersebut dapat dilihat pada Pers. 2.13 sebagai berikut:

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_f - \frac{\bar{U}_f}{D_j} \cdot D \quad (2.13)$$

Dimana:

\bar{U}_{sr} = kecepatan rata-rata ruang

\bar{U}_f = kecepatan rata-rata ruang keadaan arus bebas (free flow)

D_j = kerapatan pada saat macet (jam density)

D = kerapatan

Pada saat kecepatan merupakan kecepatan arus bebas (*free flow*), pengemudi dapat memacu kendaraannya pada kecepatan yang diinginkannya sedangkan pada saat kondisi kerapatan macet (*jam density*), kendaraan tidak dapat bergerak sama sekali atau kondisi kecepatan sangat kecil.

tuk mendapatkan nilai konstanta \bar{U}_f dan D_j , maka Pers. 2.13 diubah menjadi persamaan linier $Y = A + Bx$, dengan memisalkan :

$$Y = \bar{U}_{sr}$$

$$X = D$$

$$A = \bar{U}_f$$

$$B = \frac{\bar{U}_f}{D_j}$$

Hubungan antara volume dan kerapatan diperoleh dari substitusi $sr =$

Ke Pers. 2.13 didapat :

$$V = D \bar{U}_f - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) D^2 \quad (2.14)$$

Hubungan antara volume dan kecepatan diperoleh dari substitusi $D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}}$ ke Pers.

2.13 didapat:

$$V = \bar{U}_{sr} D_j - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) \bar{U}_{sr}^2 \quad (2.15)$$

Harga volume maksimum dapat dicari dengan menurunkan Pers. 2.14 terhadap kerapatan (D) dan nilai volume maksimum terjadi pada saat nilai kerapatan maksimum yakni pada saat nilai turunan pertama (diferensial ke-1) tersebut sama dengan nol.

Untuk nilai $\frac{\partial V}{\partial D} = 0$ maka :

$$D_m = \frac{D_j \bar{U}_f}{4} \quad (2.16)$$

Nilai D_m disubstitusikan ke dalam Pers. 2.14 dengan kondisi V berubah menjadi V_m dan D menjadi D_m , diperoleh :

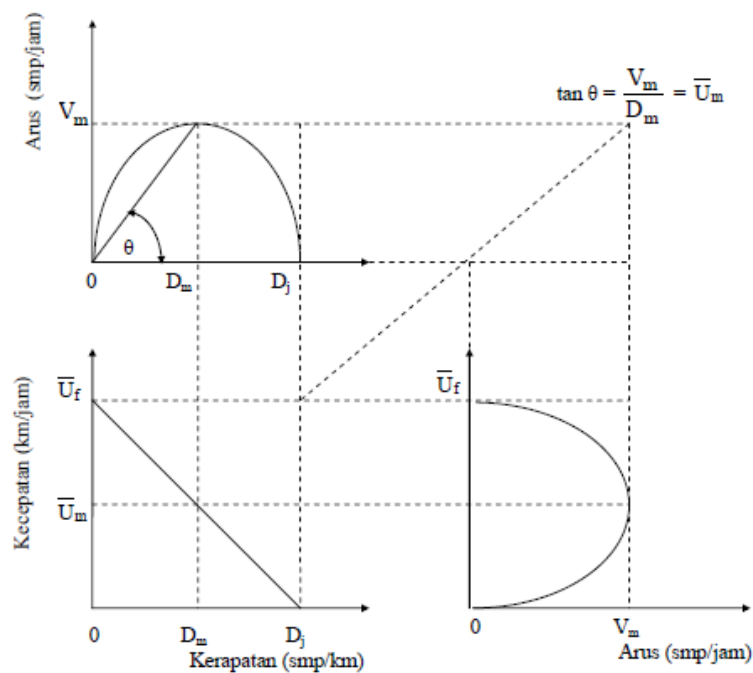
$$V_m = \frac{D_j}{2} \quad (2.17)$$

Dimana:

$V_m =$ Arus maksimum (kend/jam)

$D_m =$ Kerapatan pada saat arus maksimum (kend/km)

Selanjutnya hubungan antara ketiga kecepatan, volume dan kerapatan digambarkan pada Gambar 2.1. Gambar ini menunjukkan bentuk umum hubungan antara volume dengan kecepatan, volume dengan kerapatan dan kecepatan dengan kerapatan. Hubungan antara kecepatan dengan kerapatan adalah monoton ke bawah yang artinya apabila kerapatan naik, maka kecepatan akan turun. Volume menjadi nol ketika kerapatan sangat tinggi sehingga tidak memungkinkan kendaraan untuk bergerak lagi. Ketika kerapatan nilainya nol, maka tidak terdapat kendaraan di jalan sehingga volume juga nol. Antara kedua nilai-nilai ekstrim tersebut dikembangkan hubungan antara kedua parameter tersebut.



Gambar 2.1: Hubungan antara arus, kecepatan dan kerapatan.

Gambar 2.1 menunjukkan beberapa titik penting, yaitu tingkat volume nol terjadi pada dua kondisi berbeda. Pertama, jika tidak ada kendaraan di fasilitas, kerapatan adalah nol dan tingkat arus adalah nol. Secara teoritis, kecepatan pada saat kondisi ini ditentukan oleh pengemudi pertama (diasumsikan pada nilai yang tinggi). Kecepatan ini dinyatakan dalam \bar{U} . Kedua, jika kerapatan menjadi begitu tinggi sehingga semua kendaraan harus berhenti, kecepatan adalah nol dan tingkat arus adalah nol. Karena tidak ada pergerakan dan kendaraan tidak dapat melintas pada suatu titik di potongan jalan. Kerapatan dimana semua kendaraan berhenti disebut kerapatan macet dinyatakan sebagai D_j .

Diantara kedua kondisi ekstrim tersebut, dinamika arus lalu lintas menghasilkan pengaruh maksimum. Dengan meningkatnya arus dari nol, kerapatan juga meningkat karena lebih banyak kendaraan di jalan. Jika hal ini terjadi, kecepatan menurun karena interaksi antar kendaraan. Penurunan ini diabaikan pada kerapatan dan arus rendah dan sedang. Dengan meningkatnya kerapatan, kurva ini menganjurkan bahwa kecepatan menurun cukup berarti sebelum kapasitas dicapai.

Apabila kerapatan naik dari nol, maka arus juga naik. Namun apabila kerapatan terus naik akan dicapai suatu titik dimana akan menyebabkan penurunan kecepatan dan arus. Titik maksimum ini dinamakan kapasitas.

2.4 Tundaan

Tundaan menurut MKJI 1997 disebut sebagai waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu simpang dibandingkan pada situasi tanpa simpang. Terdapat dua jenis tundaan yang dapat terjadi didalam arus lalu lintas yaitu:

1. Tundaan tetap.

Tundaan tetap merupakan tundaan yang disebabkan oleh alat-alat pengendali lalu lintas. Tundaan ini seringkali terjadi dipersimpangan-persimpangan jalan. Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi terjadinya tundaan di persimpangan, yaitu:

- Faktor-faktor fisik, yang meliputi jumlah jalur, lebar jalan, pengendali akses menuju jalan tersebut, dan tempat-tempat transit.
- Pengendali lalu lintas, yang meliputi jenis dan pengaturan waktu dari lampu lalu lintas, tanda berhenti, pengendali belokan, dan pengendali parkir.

2. Tundaan Operasional.

Tundaan operasional merupakan tundaan yang disebabkan oleh gangguan antara unsur-unsur didalam arus lalu lintas atau tundaan yang disebabkan oleh adanya pengaruh dari lalu lintas lain. Misalnya : kendaraan yang masuk keluar dari tempat parkir, pejalan kaki atau kendaraan yang berhenti. Namun tundaan operasional dapat juga disebabkan oleh gangguan didalam arus lalu lintas itu sendiri. Misalnya kemacetan akibat volume kendaraan yang lebih besar dibandingkan kapasitas jalan yang ada.

Selain itu ada juga tundaan yang disebabkan oleh pemberhentian (*Stopped delay*) yaitu tundaan yang terjadi pada kendaraan dengan kendaraan tersebut berada dalam kondisi benar-benar berhenti pada kondisi mesin hidup (*stasioner*). Kondisi ini bila berlangsung lama akan mengakibatkan suatu kemacetan lalu lintas (*kongestion*).

Penundaan mencerminkan waktu yang tidak produktif dan bila dinilai dengan uang, maka hal ini menunjukkan jumlah biaya yang harus dibayar masyarakat karena memiliki jalan yang tidak memadai.

Semakin tinggi arus dipersimpangan akan menyebabkan tingkat tundaan yang lebih tinggi dipersimpangan tersebut. Tundaan pada daerah perlintasan sebidang jalan dan jalan rel ini bukan hanya disebabkan oleh penutupan pintu perlintasan, namun juga disebabkan oleh ketidak-rataan oleh alur rel yang melintang terhadap badan jalan dan hal ini juga mengakibatkan tundaan meskipun pintu perlintasan dalam keadaan terbuka, yakni yang dikenal sebagai tundaan geometrik. Berdasarkan definisi diatas dapat diturunkan kedalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$W = W_0 + T \quad (2.18)$$

Dimana:

W = Waktu tempuh total

W_o = Waktu tempuh pada kondisi arus bebas, yang merupakan waktu minimum yang diperlukan untuk melintasi suatu ruas jalan tertentu.

T = Tundaan

Tundaan terdiri atas tundaan lalu lintas (TT) dan tundaan Geometrik(TG), dan secara matematis dapat dinyatakan dengan Pers. 2.19.

$$T = TT + TG \quad (2.19)$$

Dimana:

TT = Tundaan lalu lintas rata-rata

TG = Tundaan geometrik rata-rata

2.5 Antrian

Antrian kendaraan adalah fenomena transportasi yang tampak sehari-hari. Antrian dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997, didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat simpang dan dinyatakan dalam kendaraan atau satuan mobil penumpang. Sedangkan panjang antrian didefinisikan sebagai panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat dan dinyatakan dalam satuan meter. Gerakan kendaraan yang berada dalam antrian akan dikontrol oleh gerakan yang didepannya atau kendaraan tersebut dihentikan oleh komponen lain dari sistem lalu lintas.

Terdapat dua aturan dalam antrian, yaitu *first in first out* (FIFO) dan *last in first out* (LIFO). Dalam analisa pengaruh penutupan pintu perlintasan kereta api digunakan aturan antrian yang pertama, yaitu *first in first out* hal ini disebabkan penyesuaian dengan kenyataan di lapangan dan kondisi pendekat lintasan.

Ketika permintaan melebihi kapasitas untuk suatu periode waktu atau pada suatu waktu antar kedatangan yang lebih rendah dibandingkan dengan waktu pelayanan (pada tingkat mikroskopik) di suatu lokasi tertentu, maka terbentuklah antrian. Antrian bisa berupa antrian yang bergerak (*moving queue*) atau antrian yang berhenti (*stopped queue*). Pada dasarnya kelebihan kendaraan disimpan pada daerah *upstream* dari *bottleneck* atau daerah pelayanan, dan kedatangannya ditunda selama periode waktu berikutnya.

Teknik analisis yang bisa dipakai dalam mempelajari proses antrian, yaitu *shock wave analysis* (Analisa Gelombang kejut). *Shock wave analysis* dapat digunakan ketika proses permintaan-kapasitas adalah *deterministic*, dan terutama cocok untuk evaluasi jarak yang diperlukan untuk proses antrian dan untuk interaksi proses antrian

2.6 Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api

Perlintasan sebidang antara jalan dengan rel kereta merupakan kasus khusus pada suatu ruas jalan raya dengan tanggung jawab untuk pengaturan dan pertimbangan keamanan terbagi pada kepentingan jalan dan jalan rel. Pengemudi kendaraan yang mendekati ke suatu perlintasan harus memiliki pandangan yang tidak terhalang ke jalur masuk yang cukup untuk memungkinkan kontrol terhadap kendaraan. Selain ditinjau dari segi keselamatan, perlintasan juga berdampak terhadap tundaan kendaraan.

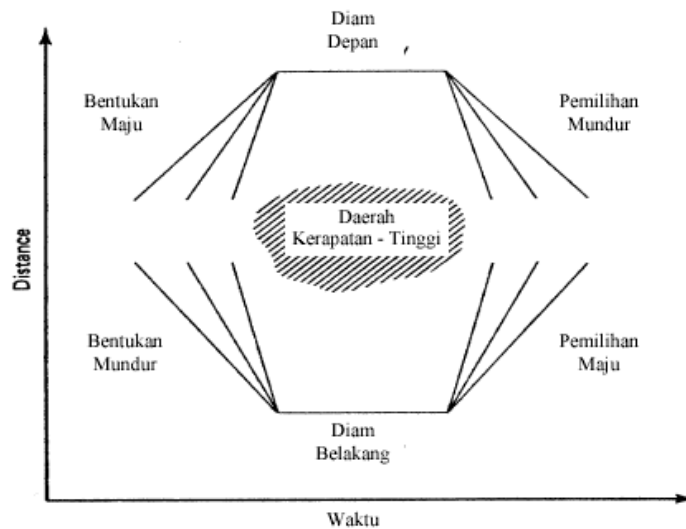
2.7 Gelombang Kejut

Gelombang kejut didefinisikan sebagai gerakan pada arus lalulintas akibat adanya perubahan nilai kerapatan dan arus lalulintas (Soedirdjo, 2002). Gelombang kejut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kerapatan rendah yang diikuti oleh arus dengan kerapatan tinggi, dimana kondisi ini mungkin diakibatkan oleh kecelakaan, pengurangan jumlah lajur, atau jalur masuk ramp. Misalnya saja perilaku lalulintas pada saat memasuki jalan menyempit, pada simpang bersinyal ketika nyala lampu merah, atau pada perlintasan kereta api. Pada perlintasan kereta api, diskontinuitas terjadi saat kereta api melintas (pintu perlintasan ditutup) dan adanya perlambatan sebagai akibat pengurangan kecepatan oleh kendaraan didepannya karena adanya hambatan berupa pengendali kecepatan (*rumble strips*) maupun alur rel (pada saat kondisi perlintasan dibuka).

2.7.1 Klasifikasi Gelombang Kejut

Gelombang kejut dapat didefinisikan menjadi 6 kelas menurut (Soedirdjoe, 2002) yaitu:

1. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary*), terdapat pada lokasi penyempitan jalur (termasuk sinyal lalu lintas) dan menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut arus lalu lintas lebih besar dari kapasitas jalannya. Istilah depan mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian terdepan (pinggir ke arah hilir) dari daerah kemacetan dengan kepadatan yang lebih rendah ke arah hilir dan lebih tinggi ke arah hulu. Istilah diam berarti bahwa gelombang kejut terjadi pada lokasi tersebut dan hal ini tidak akan berpindah lokasinya dengan berubahnya waktu.
2. Gelombang kejut bentukan mundur (*backward forming*), terbentuk apabila terjadi kemacetan dan menunjukkan daerah dalam waktu dan ruang dimana kelebihan arus ditampung. Istilah mundur berarti bahwa dengan berjalannya waktu, gelombang kejut akan bergerak ke belakang (ke arah hulu atau ke arah yang berlawanan dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah bentukan mempunyai implikasi bahwa dengan berjalannya waktu, kemacetan akan semakin meningkat dan berkembang ke arah hulu. Waktu dan ruang daerah asal ke kiri dari gelombang kejut mempunyai kepadatan yang lebih rendah dan ke kanan kepadatannya lebih tinggi.
3. Gelombang kejut pemulihan maju (*forward recovery*), terbentuk seketika terjadi kemacetan sedangkan arus lalu lintas berkurang sehingga berada di bawah kapasitas penyempitannya. Oleh karena itu panjang dari kemacetan dapat dikurangi. Istilah maju berarti bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut bergerak kedepan (ke arah hilir atau ke arah yang sama dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah pemulihan mempunyai implikasi bahwa selama berlangsungnya waktu terdapat kondisi arus lalu lintas bebas (*free-flow*) pada daerah yang semakin jauh ke arah hilir. Waktu ruang ke kiri dari gelombang kejut mempunyai kepadatan yang lebih tinggi dan ke kanan mempunyai kepadatan yang lebih rendah.



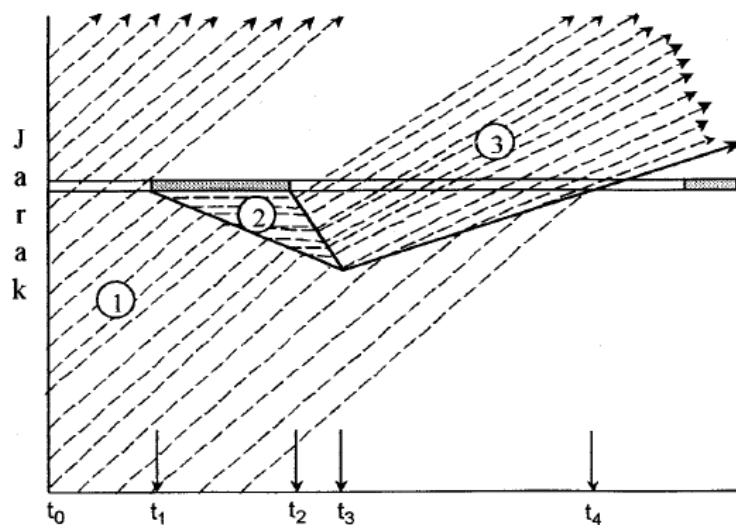
Gambar 2.2: Klasifikasi gelombang kejut (Soedirdjoe, 2002).

4. Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary*), terjadi apabila kedatangan lalu lintas sama dengan kapasitas pada daerah kemacetan untuk selama periode waktu tertentu. Istilah belakang mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian paling belakang atau pinggir ke arah hulu dari daerah kemacetan. Kerapatan lebih tinggi ke arah hilir dan lebih rendah ke arah hulu. Istilah diam berarti bahwa gelombang tidak berpindah lokasinya selama periode waktu tertentu.
5. Gelombang kejut pemulihan mundur (*backward recovery*), terbentuk ketika kemacetan terjadi, tetapi kemudian terjadi peningkatan kapasitas jalannya. Istilah mundur berarti bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut bergerak ke belakang (ke arah hulu atau ke arah yang berlawanan dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah pemulihan mempunyai implikasi bahwa selama berlangsungnya waktu, kondisi arus bebas meningkat semakin menjauhi dari daerah awal lokasi kemacetan. Daerah kemacetan berada di sebelah kiri dari gelombang kejut dan keadaan arus bebas berada di sebelah kanannya.
6. Gelombang kejut bentukan maju (*forward forming*), istilah maju mempunyai implikasi bahwa gelombang kejut bergerak dalam arah yang sama dengan arah gerakan lalu lintas, sedangkan istilah bentukan berarti bahwa selama berlangsungnya waktu kemacetan, terjadi peningkatan pada tempat yang

semakin jauh ke arah hilir. Waktu ruang disebelah kiri gelombang kejut mempunyai kerapatan yang lebih rendah dan kekanan kerapatannya lebih tinggi.

Kondisi pada saat pintu perlintasan ditutup dapat digambarkan pada Gambar 2.3 dengan keterangan sebagai berikut (Setiyaningsih, 2007):

1. Kondisi jalan tertutup total. Kondisi ini terjadi saat kereta melintas dan pintu perlintasan ditutup. Akibatnya nilai kerapatan pada kondisi arus yang masuk (volume kebutuhan = *demand*) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet. Kendaraan yang berada didepan kelompoknya mengurangi kecepatannya saat mendekati perlintasan, dan akhirnya berhenti sehingga terbentuk antrian dibelakangnya.
2. Pada saat pintu perlintasan dibuka, kerapatan pada kondisi macet berangsur-angsur kembali sampai pada keadaan dimana kerapatan menuju ke kondisi maksimum.
3. Pada tahap ini kecepatan gelombang kejut 2 (U_{sw2}) akan menyusul kecepatan gelombang kejut 1 (U_{sw1}), dimana kerapatan saat kondisi macet akan hilang dan arus akan kembali pada kondisi normal sebelum adanya penutupan.



Gambar 2.3: Gelombang kejut pada saat kondisi pintu perlintasan ditutup (Said, 2004).

Dimana t_1 adalah saat pintu perlintasan ditutup dan gelombang kejut mundur bentukan terjadi. Selanjutnya t_2 adalah saat pintu dibuka kembali. Sedangkan t_3 adalah saat antrian kendaraan berangsur hilang dan gelombang kejut maju bentukan terjadi.

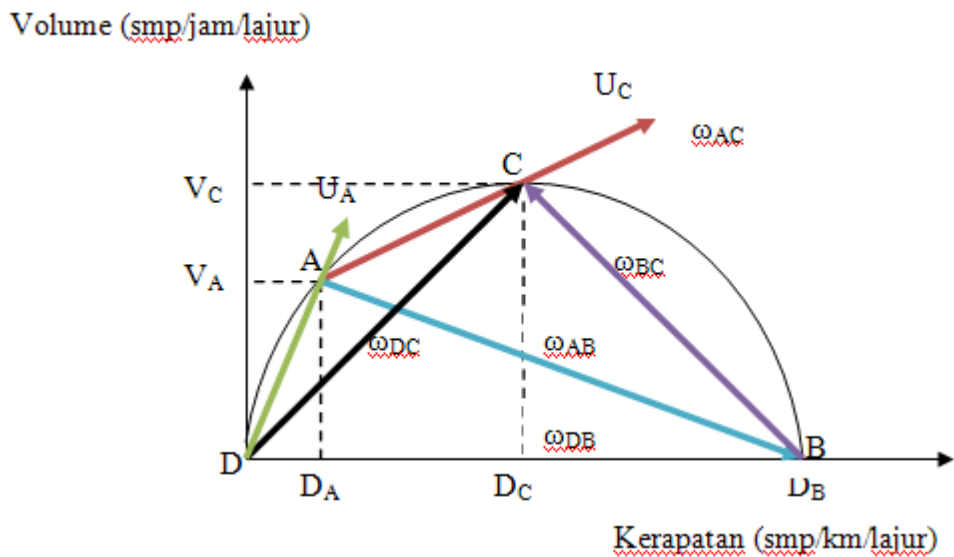
Daerah bertanda 1 mewakili kondisi arus dari kelompok kendaraan tanpa gangguan fasilitas lalulintas dengan kecepatan konstan. Daerah 2 mewakili kelompok kendaraan yang membentuk antrian ketika memasuki daerah persimpangan sebidang jalan dengan jalan rel saat pintu ditutup dan berangsur-angsur hilangnya antrian saat pintu dibuka. Daerah 3 mewakili kondisi arus yang baru pada kondisi setelah kelompok kendaraan melewati daerah perlintasan sebidang jalan dan rel kereta api.

Gelombang kejut pada perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api terjadi pada kondisi pintu perlintasan terbuka dan tertutup. Pada kondisi yang pertama yaitu pada saat penutupan pintu perlintasan ketika ada kereta yang melintas, kendaraan-kendaraan mulai berhenti dan kerapatan bertambah, diskontinuitas terjadi ketika kendaraan bergabung dengan antrian dan pada saat kendaraan mulai bergerak dari bagian depan antrian pada saat pintu perlintasan terbuka. Pada kondisi kedua, pada saat kelompok kendaraan melintasi jalur rel, kendaraan dibagian depan memperlambat kecepatan sehingga terjadi peningkatan kerapatan dan setelah melewati jalur rel, kendaraan menambah kecepatan sehingga kerapatan berkurang.

Diskontinuitas pertama yaitu gelombang kejut mundur bentukan (*backward forming shock wave*), dan diskontinuitas yang kedua yaitu gelombang kejut mundur pemulihan (*backward recovery shock wave*). Gelombang kejut pertama terbentuk, saat pintu perlintasan tertutup dan pada kondisi kedua saat kendaraan yang berada didepan kelompoknya mengurangi kecepatan, sebagai hasil peningkatan kerapatan lalulintas akibat adanya antrian. Selanjutnya ada gelombang kejut diam depan (*frontal stationery shock wave*) yang terjadi pada garis stop selama waktu tertutupnya pintu perlintasan. Istilah depan (*frontal*) digunakan untuk menunjukkan bahwa gelombang kejut berada pada garis

terdepan dari daerah antrian, sedangkan istilah diam (*stationary*) digunakan untuk menunjukkan bahwa gelombang kejut tetap berada pada posisi yang sama.

Tiga gelombang kejut mulai pada saat t_1 di garis henti : ω_{AD} (gelombang kejut bentukan maju), ω_{DB} (gelombang kejut diam depan), dan ω_{AB} (gelombang kejut bentukan mundur). Kecepatan dari ketiga gelombang kejut ini dinyatakan pada diagram Gambar 2.4 dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus- rumus berikut:



Gambar 2.4: Gelombang kejut pada perlintasan kereta api pada saat pintu perlintasan ditutup (Setiyaningsih, 2007).

$$\omega_{DA} = \frac{V_D - V_A}{D_D - D_A} = + \mu_A \quad (2.20)$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_D - V_B}{D_D - D_B} = 0 \quad (2.21)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_A - V_B}{D_A - D_B} = \frac{V_A}{D_B - D_A} \quad (2.22)$$

Dimana :

ω_{DA} = gelombang kejut dari kondisi titik awal D ($V_D= 0$ dan $D_D = 0$) ke titik A (V_A, D_A).

ω_{DB} = gelombang kejut pada saat pintu perlintasan ditutup selama kendaraan berhenti sehingga $V_B = 0$ dan D_B = kerapatan saat macet.

ω_{AB} = gelombang kejut saat nilai kerapatan arus pada kondisi volume kendaraan sama dengan volume kebutuhan ($V=V_A$) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet (D_B).

Kondisi arus A,B dan D ini tetap sampai waktu t_2 pada saat pintu perlintasan dibuka. Kondisi arus baru C pada waktu t_2 di garis henti meningkat dari nol sampai arus jenuh. Ini menyebabkan dua gelombang kejut baru, ω_{DC} (gelombang kejut pemulihan maju) dan ω_{BC} (gelombang kejut pemulihan mundur) , sedangkan gelombang kejut akhir adalah ω_{DB} (gelombang kejut diam didepan. Kecepatan dua gelombang kejut baru ini dapat secara grafis dilihat pada Gambar 2.4 dan dihitung dengan Pers. 2.23 dan Pers. 2.24 sebagai berikut:

$$\omega_{DC} = \frac{V_D - V_c}{D_D - D_c} = \mu c \quad (2.23)$$

$$\omega_{BC} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{V_c}{D_B - D_c} \quad (2.24)$$

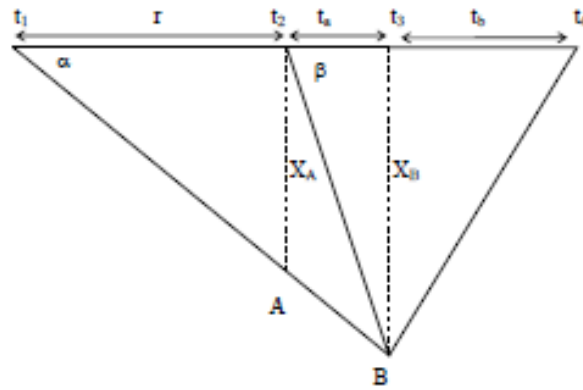
Dimana :

ω_{DC} = gelombang kejut pada saat pintu perlintasan dibuka, kondisi ruas di depan pintu perlintasan dari kondisi arus dan kerapatan nol perlahan bergerak searah dengan lalulintas ke arah hilir sampai pada kondisi titik C (V_C = volume maksimum = kapasitas, D_C = kerapatan maksimum).

ω_{BC} = gelombang kejut dari kendaraan yang mengalami kondisi berhenti saat pintu ditutup mulai bergerak disusul oleh kendaraan dibelakangnya sampai kendaraan terakhir yang tidak mengalami antrian tetapi kecepatannya terpengaruh oleh kecepatan arus di depannya.

Kondisi arus D, C, B, dan A tetap sampai ω_{AB} dan ω_{BC} memotong waktu t_3 . Interval waktu antara t_2 dan t_3 dapat dihitung dengan Pers. 2.25.

$$t_a = r \left[\frac{\omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right] \quad (2.25)$$



Gambar 2.5: Lokasi antrian dan lokasi hilangnya antrian (Setiyaningsih, 2007).

Lokasi antrian dari garis henti pada waktu t_2 dapat dihitung dengan Pers. 2.26 dan Pers. 2.27.

$$X_A = r \cdot \tan \alpha \quad (2.26)$$

$$\tan \alpha = \frac{V_A}{D_j - D_A} \quad (2.27)$$

Lokasi hilangnya antrian dari garis henti pada waktu t_3 dapat dihitung dengan rumus pada Pers.2.28 sebagai berikut:

$$X_B = \frac{r}{3600} \left[\frac{\omega_{BC} - \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right] \quad (2.28)$$

Dimana r = lamanya waktu penutupan pintu perlintasan = $t_2 - t_1$

Respon lalulintas yang tidak bisa bergerak dengan segera begitu pintu perlintasan dibuka mengakibatkan beberapa kendaraan mungkin masih mengalami tundaan walaupun tidak mengalami antrian.

Pada saat t_3 gelombang kejut gerak maju baru ω_{AC} terbentuk, dan dua gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{BC} berakhir. Gelombang kejut ω_{AC} dapat dihitung dengan rumus pada Pers. 2.29 sebagai berikut:

$$\omega_{AC} = \frac{V_A - V_C}{D_A - D_C} \quad (2.29)$$

Kondisi arus D , C , dan A tetap sampai waktu tertentu sampai pintu perlintasan ditutup kembali, tetapi sebelumnya pada saat waktu t_4 , gelombang kejut bentukan maju ω_{AC} memotong garis henti dan arus di garis henti menurun dari arus maksimum V_C menjadi V_A . Periode waktu dari mulai pintu perlintasan

dibuka sampai tingkat pelepasan garis henti turun dibawah nilai maksimum (t_2 sampai t_4) dapat dihitung dengan Pers. 2.30 sebagai berikut:

$$TB = \frac{r \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \left[\frac{\omega_{BC}}{\omega_{AC}} + 1 \right] \quad (2.30)$$

Jumlah kendaraan yang mengalami antrian :

$$N = (r + t_a) \times VAS \quad (2.31)$$

Tundaan yang terjadi adalah:

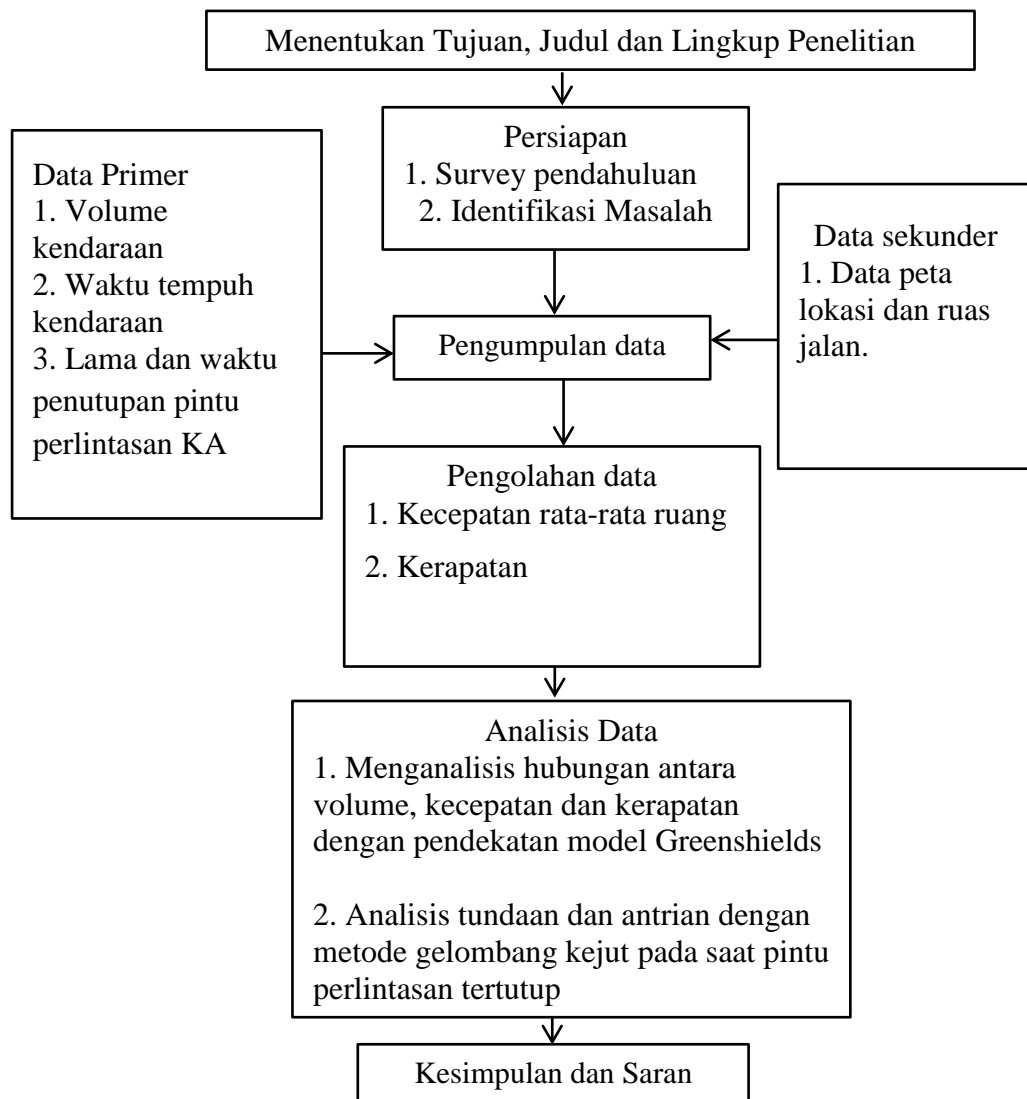
$$T = \frac{1}{2} r + N \quad (2.32)$$

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Pekerjaan

Dalam melakukan kegiatan penelitian diperlukan kerangka kerja yang berisi alur penelitian dari awal sampai dengan diperolehnya suatu kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan. Kerangka kerja penelitian dibuat dalam diagram alir penelitian sebagaimana Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir langkah penelitian.

3.2 Pemilihan Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini yang menjadi lokasi penelitian adalah pada perlintasan sebidang antara Jalan M. T.Haryono Kota Medan dengan jalur kereta api. Adapun alasan pemilihan lokasi penelitian ini adalah:

1. Jenis kendaraan dan jumlah volume yang melewati jalan ini bervariasi.
2. Perlintasan sebidang jalan ini merupakan perlintasan yang dilengkapi dengan pos penjaga, pintu perlintasan, sinyal tanda, dan pembatas/pengendali kecepatan kendaraan (*rumble strips*).

Lokasi pengambilan data adalah pada ruas Jalan M. T.Haryono untuk arah pergerakan lalu lintas dari jalan Palang Merah menuju Jalan M. T. Haryono. Lokasi pengambilan data ini dibagi menjadi dua lokasi pengamatan yaitu Lokasi pengamatan 1 yaitu sejauh 25 m pada ruas yang dianggap belum terpengaruh *rumble strips*, Lokasi pengamatan 2 yaitu 25 m pada saat memasuki *rumble strips*. Dan pengamat berdiri di lokasi di setiap ujung yang ditandai sejauh 25 meter yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.

3.3 Pilot Survey

Sebelum dilaksanakan pengambilan data secara lengkap, perlu dilakukan survey pendahuluan (*pilot survey*) sebagai bahan pertimbangan yang sifatnya penjagaan atau antisipasi untuk langkah-langkah selanjutnya.

- Menaksir keadaan mutu data yang akan diambil.
- Menaksir kebutuhan akan ukuran sampel yang akan diambil.
- Menentukan pembagian periode pengamatan yang dipandang penting.

Pilot survey atau survei pendahuluan dilakukan untuk menunjang pelaksanaan dalam pengumpulan data di lapangan. Survey pendahuluan yaitu survey yang berskala kecil dan sangat penting dilakukan terutama agar survey yang sesungguhnya dapat berjalan dengan efisien dan efektif. Tahap ini dimulai dengan peninjauan lapangan yaitu menyelidiki lokasi yang akan disurvei. Kemudian setelah kesemuanya tersebut di atas telah dipertimbangkan maka dilaksanakanlah survei yang sesungguhnya.

3. 4 Variabel-Variabel yang Diukur

Pada penelitian ini data yang diperlukan dari kondisi di lapangan adalah data volume kendaraan (V) dan waktu tempuh kendaraan untuk melalui suatu penggal jalan tertentu. Dari data waktu tempuh didapatkan besarnya kecepatan rata-rata waktu dan kecepatan rata-rata ruang, sedangkan kerapatan akan dihitung berdasarkan data volume dan kecepatan kendaraan.

Besarnya volume lalu lintas diperoleh dengan mencatat jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pengamatan tertentu di lokasi penelitian berdasarkan jenis kendaraannya, kemudian data ini dikonversikan ke dalam satuan mobil penumpang (smp).

Kecepatan setempat kendaraan diukur dengan mencatat waktu tempuh kendaraan untuk melalui suatu jarak tertentu yang telah ditetapkan, dimana kecepatan adalah hasil bagi antara jarak dengan waktu tempuh. Selanjutnya, untuk mendapatkan variabel kerapatan (D) dilakukan dengan membagi jumlah volume dengan kecepatan.

3.5. Pengumpulan Data

3. 5.1 Surveyor dan Peralatan

Selama pelaksanaan pengamatan lalu lintas untuk keperluan tugas akhir ini, maka dibentuk satu tim survei. Sebelum melakukan tugasnya tim ini terlebih dahulu diberi penjelasan bagaimana cara mendapatkan data di lapangan.

Pada tahapan pengumpulan data ini diperlukan alat-alat pendukung seperti :

1. *Stop watch* digital, untuk mencatat waktu tempuh kendaraan yang melewati penggal jalan dan menghitung lamanya waktu pintu perlintasan ditutup.
2. Meteran, untuk mengukur penggal jalan dan geometrik lokasi penelitian.
3. Alat tulis untuk mencatat data.
4. Alat penanda batas pengamatan (lakban).
5. Alat transportasi bagi pengamat.
6. Tabel survey volume lalu lintas, untuk menghitung banyaknya kendaraan yang lewat pada bidang pengamatan berdasarkan jenis kendaraan.

3. 5.2 Periode Pengamatan

Data lalu lintas biasanya berulang mungkin jam-an, harian, atau musiman. Pemilihan waktu survei yang pantas tergantung dari tujuan survei. Untuk menggambarkan kondisi lalu lintas pada jam puncak, maka survei dilakukan selama 7 hari, yaitu hari Senin, Selasa, Rabu, Kamis, Jumat, Sabtu, Minggu mulai dari tanggal 10 Juli 2017 sampai dengan 16 Juli 2017 dan pada jam-jam sibuk seperti pagi hari yang dimulai pada (pukul 07.00 wib s/d 09.00 wib), pada siang hari (pukul 12.00 wib s/d 14.00 wib), pada sore hari dilakukan pada (pukul 16.00 wib s/d 18.00 wib). Survei tidak dilakukan pada saat lalu lintas dipengaruhi oleh kejadian yang tidak biasanya, seperti saat terjadinya kecelakaan lalu lintas, hari libur nasional, perbaikan jalan dan bencana alam.

3.5.3 Pengumpulan Data Primer

Untuk penelitian ini data yang dibutuhkan didapat dari observasi atau pengamatan langsung dilokasi penelitian. Adapun jenis data yang dibutuhkan adalah:

1. Data volume lalulintas

Pengamatan dapat dilakukan secara manual maupun visual dengan alat penghitung manual (*hand counter*) yakni dengan mencatat jumlah kendaraan yang lewat pada suatu titik pengamatan tertentu yang telah ditetapkan sebelumnya setiap interval waktu 15 menit. Jenis kendaraan yang disurvei dibagi dalam tiga golongan yaitu sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV) dan kendaraan berat (HV). Pencatatan dibedakan untuk tiap lokasi periode pengamatan.

2. Data geometrik

Pengambilan data geometrik dilaksanakan dengan mengukur langsung di lapangan. Data-data yang dibutuhkan adalah :

- lebar jalan dan median
- jumlah dan jarak *rumble strips*
- denah lokasi penelitian

3. Data kecepatan

Kecepatan diperoleh dengan membagi jarak tempuh dengan waktu. Data ini didapatkan dengan mencatat waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati jarak tertentu kemudian dibagi dengan panjang jarak tersebut. Pengambilan data kecepatan ini dilakukan untuk semua jenis kendaraan yaitu MC, LV, dan HV. Tata cara untuk pengambilan sampel adalah kendaraan yang paling depan dari suatu peleton diambil sebagai sampel dengan pertimbangan kendaraan kedua dan selanjutnya diperkirakan mempunyai kecepatan yang tidak terlalu besar selisihnya dan kemungkinan tidak dapat menyiap. Tetapi agar lebih teliti maka kendaraan pada posisi tengah dan kendaraan yang paling belakang juga diambil sebagai sampel.

4. Data lama penutupan pintu perlintasan

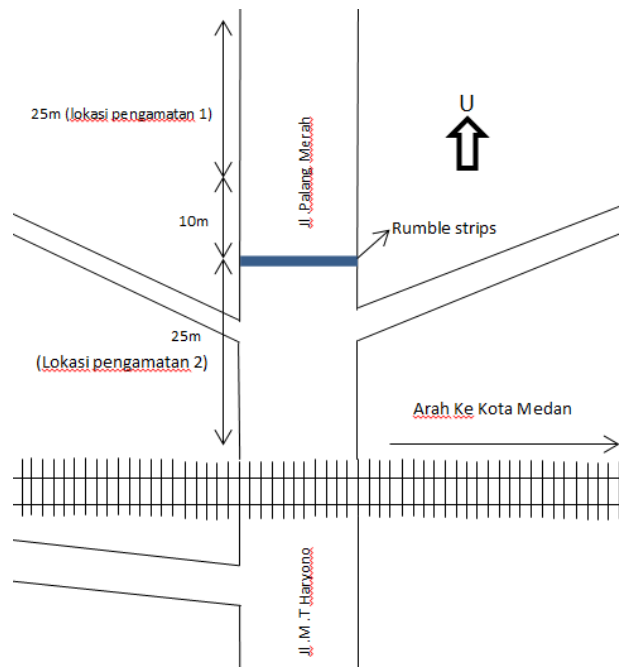
Data ini diperoleh dengan mencatat waktu pintu ditutup 45° sampai pintu dibuka 45° , dari selisih waktu ini kita dapatkan lama pintu perlintasan tersebut ditutup.

5. Perhitungan Tundaan dan antrian dengan Metode Gelombang Kejut

Tundaan akibat penutupan pintu perlintasan dihitung dengan metode gelombang kejut. Parameter yang digunakan dalam perhitungan ini adalah kecepatan, volume kendaraan dan lama waktu penutupan pintu perlintasan. Setelah didapatkan besarnya gelombang kejut, selanjutnya dihitung waktu pertemuan antara gelombang kejut 1 (U_{sw1}) dengan gelombang Kejut 2 (U_{sw2}) yang terjadi dibelakang perlintasan sebidang jalan dengan jalur rel yang disimbolkan dengan t_1 digunakan untuk menghitung panjang jarak dibelakang perlintasan sebidang jalan dan jalan rel dimana kendaraan terakhir mengalami tundaan, yang diberi simbol L dan dinyatakan dalam satuan km. Kemudian dihitung lama waktu yang diperlukan oleh kecepatan Gelombang 3 (U_{sw3}) melewati segmen sepanjang L yang dinyatakan dalam t_2 dalam satuan jam. Waktu yang diperlukan oleh kendaraan untuk kembali ke kondisi normal yaitu t_1 , dan volume lalu lintas digunakan untuk menghitung jumlah kendaraan yang mengalami tundaan. Selanjutnya dari jumlah kendaraan dan data t_1 dan t_2 serta volume kendaraan dapat dihitung besarnya tundaan satu periode waktu penutupan.

6. Menentukan Besar Tundaan Selama Satu Hari

Setelah mendapatkan nilai tundaan pada kondisi pintu tertutup, selanjutnya dihitung besar tundaan yang terjadi selama satu hari. Hal ini dilakukan dengan memperhitungkan jumlah kereta yang melintas selama satu hari dimana dalam penelitian ini diambil waktu efektif 12 jam dan variasi volume per jam. Karena terdapat nilai yang bervariasi dari lama penutupan pintu perlintasan maka diambil satu nilai sebagai unit waktu yakni nilai rata-rata lama penutupan.



Gambar 3.2: Peta lokasi wilayah studi.

BAB 4

ANALISIS DATA

4.1 Data Lalu Lintas

Data volume lalu lintas diperoleh berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan dalam survei pendahuluan dan pengambilan data di lapangan. Dalam bab ini disajikan data-data lalu lintas hasil survei lapangan berupa data jumlah dan waktu tempuh kendaraan. Selanjutnya dilakukan analisis data sehingga akhirnya diperoleh data volume, kecepatan rata-rata ruang dan kerapatan untuk ruas jalan yang diteliti, Data lalu lintas yang diperoleh dari survei lapangan disajikan pada Tabel 4.1.

Table 4.1: Volume lalu lintas selama satu minggu.

No	Hari Dan Tanggal	Kendaraan/Hari
1	Senin, 10 juli 2017	35066
2	Selasa, 11 juli 2017	34832
3	Rabu, 12 juli 2017	33884
4	Kamis, 13 juli 2017	34486
5	Jumat, 14 juli 2017	34787
6	Sabtu, 15 juli 2017	28600
7	Minggu, 16 juli 2017	26279

Untuk perhitungan data lalu lintas di ambil yang paling tertinggi pada hari Senin, 10 Juli 2017 dengan total 35066 Kendaraan/Hari, Volume lalu lintas yang ditinjau merupakan lalu lintas yang melewati lokasi pengamatan 1 dan lokasi pengamatan 2, dicatat berdasarkan jenis kendaraan yang terdiri dari *Motor cycle* (MC), *Light Vehicle* (LV) dan *Heavy Vehicle* (HV) dengan interval waktu 15 menit. Data hasil pengamatan merupakan data primer yaitu data yang diperoleh di lapangan pada saat survei sesuai dengan kondisi yang ada, data lalu lintas yang ada pada hari senin dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Volume kendaraan per jam pada hari Senin tanggal 10 Juli 2017.

Waktu	Kend. Berat (HV)		Kend. Ringan (LV)		Sepeda motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1.2		emp = 1		emp = 0,25			
	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/ja	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam
07.00-08.00	19	22.8	2693	2693	3358	839.5	6070	3555.3
08.00-09.00	26	31.2	2447	2447	3143	785.8	5616	3264.0
12.00-13.00	29	34.8	2589	2589	2548	637.0	5166	3260.8
13.00-14.00	35	42	2475	2475	2369	592.3	4879	3109.3
16.00-17.00	53	63.6	3247	3247	3738	934.5	7038	4245.1
17.00-18.00	57	68.4	2718	2718	3522	880.5	6297	3666.9

Kemudian diambil data satu jam maksimum yaitu pada pada jam 16.00 – 17.00 sebagai langkah perhitungan selanjutnya, Data ini kemudian dikonversikan ke dalam satuan mobil penumpang sesuai dengan faktor konversi untuk tiap jenis kendaraan (Tabel 2.3).

Pada lokasi pengamatan 1 pada pukul 16.00-16.15 WIB

$$\begin{aligned}
 Q &= (MC \times EMP \text{ MC}) + (LV \times EMP \text{ LV}) + (HV \times EMP \text{ HV}) \\
 &= (922 \times 0.25) + (773 \times 1) + (11 \times 1.2) \\
 &= 1016.7 \text{ smp/15 menit, data selengkapnya pada Tabel 4.3.}
 \end{aligned}$$

Pada lokasi pengamatan 1 pada pukul 16.00-16.15 WIB

$$\begin{aligned}
 Q &= (MC \times EMP \text{ MC}) + (LV \times EMP \text{ LV}) + (HV \times EMP \text{ HV}) \\
 &= (932 \times 0.25) + (789 \times 1) + (11 \times 1.2) \\
 &= 1035.20 \text{ smp/15 menit, data selengkapnya pada Tabel 4.4.}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3: Volume maksimum pada lokasi pengamatan 1.

Waktu	Kend. berat (HV)		Kend. ringan (LV)		Sepeda motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1.2		emp = 1,2		emp = 0,25			
	kend	smp	kend	smp	kend	smp	kend	smp
16.00-16.15	11	13.2	773	773	922	230.5	1706	1016.7
16.15-16.30	10	12	822	822	981	245.25	1813	1079.3
16.30-16.45	18	21.6	810	810	911	227.75	1739	1059.4

16.45-17.00	14	16.8	842	842	924	231	1780	1089.8
-------------	----	------	-----	-----	-----	-----	------	--------

Tabel 4.4: Volume maksimum pada lokasi pengamatan 2.

Waktu	Kend. ringan (LV)		Kend. berat (HV)		Sepeda motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1		emp = 1,2		emp = 0,25			
	kend	smp	kend	smp	kend	smp	kend	smp
16.00-16.15	11	13.2	789	789	932	233	1732	1035.2
16.15-16.30	10	12	841	841	989	247.25	1840	1100.3
16.30-16.45	18	21.6	836	836	912	228	1766	1085.6
16.45-17.00	14	16.8	853	853	925	231.25	1792	1101.1

4.2 Data Kecepatan Ruang Rata-rata Kendaraan

Parameter kecepatan yang digunakan dalam menganalisis hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas adalah kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_{sr}). Kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_{sr}) diperoleh dari hubungan antara kecepatan setempat (\bar{U}_t) dengan standar deviasi (S) dimana $\bar{U}_{sr} = \bar{U}_t - (S^2 / \bar{U}_t)$. Data kecepatan setempat diperoleh dari hasil bagi antara jarak pengamatan yang dilakukan dengan waktu tempuh kendaraan. Data waktu tempuh survei lapangan dilakukan dengan mencatat waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati jarak pengamatan tertentu. Dari survei pendahuluan didapatkan kecepatan rata-rata kendaraan <40 km/jam sehingga berdasarkan Tabel 2.1 panjang lintasan pengamatan yang dianjurkan adalah 25 m.

Diambil dari data hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi Pengamatan 1 interval 15 menit periode waktu 16.00-16.15 WIB dengan jarak pengamatan sebesar 25 meter. Data waktu tempuh (5.82 detik) diubah menjadi kecepatan setempat sehingga diperoleh $\bar{U}_t = (25 \cdot 10^{-3}) / (5.82 \cdot 3.6 \cdot 10^{-3})$ km/jam = 15.46 km/jam. Dengan standar deviasi sebesar 0.635 km/jam, diperoleh $\bar{U}_{sr} = 18.38 - (0.635^2 / 18.38) = 15.44$ km/jam. Data perhitungan kecepatan setempat dan kecepatan rata-rata ruang selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 – 4.6.

Berdasarkan data hasil pengamatan dan hasil perbandingan terhadap kecepatan rata-rata ruang dapat dianalisis bahwa pada lokasi pengamatan dimana lokasi berada jauh sebelum perlintasan dan merupakan ruas yang belum terdapat

hambatan, pengemudi masih bisa memilih kecepatannya sesuai dengan keinginan. Rentang kecepatan yang terjadi antara 21.72 km/jam – 22.84 km/jam. Sedangkan pada lokasi pengamatan 2, pengemudi sudah mengalami hambatan karena adanya alat pengendali kecepatan (misalnya *rumble strip*) dan akan memasuki daerah perlintasan kereta api sehingga kecepatan menjadi berkurang. Rentang kecepatan yang terjadi antara 14.68 km/jam – 15.44 km/jam.

Tabel 4.5: Perhitungan kecepatan ruang rata-rata dari hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi pengamatan 1.

No	Waktu		jarak(m)	Waktu Tempuh (Detik)	(x)	(x1)	(x-x1)	(x-x1) ²	s	s ²	kecepatan rata ruang
	16:00	16:15									
1	16:00	16:15	25	3.92	22.96	21.16	1.79	3.22	1.66	2.74	22.84
2	16:15	16:30	25	4.72	19.07	21.16	-2.10	4.39	1.66	2.74	18.92
3	16:30	16:45	25	4.33	20.79	21.16	-0.38	0.14	1.66	2.74	20.65
4	16:45	17:00	25	4.12	21.84	21.16	0.68	0.46	1.66	2.74	21.72
					21.16			2.06			

Tabel 4.6: Perhitungan kecepatan ruang rata-rata dari hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi pengamatan 2.

No	Waktu		jarak(m)	Waktu Tempuh (Detik)	(x)	(x1)	(x-x1)	(x-x1) ²	s	s ²	kecepatan rata ruang
	16:00	16:15									
1	16:00	16:15	25	5.82	15.46	22.96	-7.50	56.18	0.635	0.40	15.44
2	16:15	16:30	25	6.24	14.42	22.96	-8.54	72.87	0.635	0.40	14.40
3	16:30	16:45	25	6.02	14.95	22.96	-8.01	64.14	0.635	0.40	14.92
4	16:45	17:00	25	6.12	14.71	22.96	-8.25	68.12	0.635	0.40	14.68
					14.89			0.146			

4.3 Perhitungan Kerapatan

Setelah diperoleh volume lalu lintas (V) dan kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_{sr}), dapat dihitung besarnya kerapatan yang terjadi yaitu hasil bagi antara volume lalu lintas dengan kecepatan.

Diambil dari data lokasi pengamatan 1 interval 15 menit periode waktu 16.00-16.15 WIB dengan volume lalu lintas (V) = 1016.70 smp/15 menit dan kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_{sr}) = 22.85 km, sehingga diperoleh kerapatan (D) = $(1016.70/22.85)$ smp = 44.48 smp/15 menit.

Data volume lalu lintas, kecepatan dan kerapatan selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.7 - 4.8.

Tabel 4.7: Perhitungan volume, kecepatan dan kerapatan lokasi pengamatan 1.

No	Waktu		V (smp/15 menit)	\bar{U}_{sr} (kecepatan rata-rata)	D (kerapatan)	D^2
1	16:00	16:15	1016.70	22.86	44.48	1978.51
2	16:15	16:30	1079.25	18.95	56.97	3245.29
3	16:30	16:45	1059.35	20.67	51.24	2625.96
4	16:45	17:00	1089.80	21.74	50.13	2513.47
	Total		4245.10	84.21	202.83	10363.24

Tabel 4.8: Perhitungan volume, kecepatan dan kerapatan lokasi pengamatan 2.

No	Waktu		v (smp/15 menit)	\bar{U}_{sr} (kecepatan rata-rata)	D (kerapatan)	D^2
1	16:00	16:15	1035.20	15.44	67.06	4496.51
2	16:15	16:30	1100.25	14.40	76.43	5841.87
3	16:30	16:45	1085.60	14.92	72.75	5291.95
4	16:45	17:00	1101.05	14.68	75.01	5626.69
	Total		4322.10	59.43	291.25	21257.02

4.4 Data Waktu dan Lama Penutupan Pintu Perlintasan

Waktu dan lamanya penutupan pintu perlintasan diperoleh dengan melakukan pengamatan selama 1 (satu) hari pada lokasi penelitian, sehingga diketahui kapan saja waktu pintu perlintasan kereta api ditutup (mulai ditutup sampai dibuka kembali). Perhitungan penutupan pintu dimulai saat pintu berada pada posisi 45° dari arah vertikal sampai pintu terbuka 45° dari arah horizontal. Selanjutnya data waktu dan lama penutupan pintu perlintasan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Data waktu dan lama penutupan pintu perlintasan hasil survei.

No	Waktu		Lama Penutupan (Detik)
	Awal	Akhir	
1	7.05.03	7.06.14	71
2	7.26.46	7.27.58	72
3	7.53.25	7.54.33	68
4	8.19.20	8.20.35	75
5	8.44.48	8.45.58	60
6	8.58.11	8.59.43	92
7	9.18.21	9.20.33	72
8	9.23.41	9.24.58	77
9	9.58.40	9.59.58	78
10	10.24.15	10.25.43	88
11	10.29.25	10.30.25	60
12	10.52.50	20.54.00	70
13	11.00.59	11.01.15	76
14	11.12.35	11.13.58	83
15	11.35.25	11.36.35	70
16	11.58.03	11.59.21	76
17	12.12.49	12.14.45	116
18	12.38.40	12.39.44	64
19	12.58.30	12.59.42	72
20	16.10.10	16.12.00	110
21	16.23.10	16.24.20	70
22	16.45.45	16.47.45	120
23	17.06.32	17.08.22	110
24	17.15.10	17.17.50	120
25	17.47.42	17.49.02	80

Dari Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa pada periode pengamatan 07:00 –18:00 WIB terdapat 25 kali penutupan pintu perlintasan. Frekuensi penutupan yang tinggi pada saat kondisi volume lalulintas juga tinggi menyebabkan timbulnya kerugian berupa hilangnya waktu akibat tundaan dan antrian. Waktu penutupan yang besar mengakibatkan waktu antrian yang lama yang menimbulkan kerugian waktu dan pencemaran udara dari emisi gas buang kendaraan.

4.5 Hubungan antara Volume Lalulintas, Kecepatan dan Kerapatan

Untuk memperoleh hubungan antara ketiga variabel tersebut, terlebih data mengenai volume, kecepatan dan kerapatan lalulintas yang terjadi untuk kedua arah disusun dalam daftar (Tabel 4.11 sampai 4.12). Selanjutnya hubungan antara Volume Lalulintas (V), kecepatan (\bar{U}_{sr}) dan kerapatan (D) dianalisis dengan menggunakan pemodelan *Greenshield* Perhitungan dilakukan secara regresi linier menggunakan bantuan *Microsoft Excel 2007*. Hitungan yang dianalisis adalah regresi linier antara \bar{U}_{sr} dengan D untuk metode *Greenshield*.

Bentuk persamaan dari metode didekati dengan bentuk persamaan linier, dalam hubungan seperti Pers. 2.11 - 2.12 sehingga didapat nilai y, x, a dan b pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Variabel dan konstanta regresi linier.

Model	y	x	a	b
Greenshild	\bar{U}_{sr}	D	\bar{U}_f	$-\bar{U}_f/D_j$

dimana hubungan antara kecepatan dan kerapatan:

$$\text{Greenshield } \bar{U}_{sr} = \bar{U}_f - (\bar{U}_f/D_j)D$$

Diambil dari data lokasi pengamatan 1 (Tabel 4.7) sebagai berikut:

$$\Sigma D = 202.83$$

$$\Sigma V = 4245.10$$

$$\Sigma \bar{U}_{sr} = 84.21$$

$$\Sigma D^2 = 10363.24$$

$$n = 4$$

- Mencari Nilai a

$$a = \frac{\sum D^2 \cdot \sum \bar{U}_{sr} - \sum D \sum D \cdot \bar{U}_{sr}}{n \sum D^2 - (\sum D)^2} = \frac{10363.24 \cdot 84.21 - 202.83 \cdot 4245.10}{4 \cdot 10363.24 - 202.83^2} = 37.203$$

Mencari Nilai b

$$b = \frac{n \sum D \bar{U}_{sr} - \sum D \bar{U}_{sr}}{n \sum D^2 - (\sum D)^2} = \frac{4 \cdot 4245.10 - 202.83 \cdot 84.21}{4 \cdot 10363.24 - 202.83^2} = -0.3185$$

Hasil olahan dari data regresi linier tersebut akan diperoleh persamaan yang memperlihatkan adanya hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan. Persamaan-persamaan tersebut disajikan dalam Tabel 4.11 untuk masing-masing lokasi pengamatan.

Tabel 4.11: Resume perhitungan regresi linier *Greenshild*.

Lokasi Pengamatan	a	b
1	37.20	-0.3185
2	22.57	-0.1060

Tabel 4.12: Persamaan hubungan antara Kecepatan (\bar{U}_{sr}), Volume V dan Kerapatan D.

Model hubungan	lokasi pengamatan	
	1	2
Kecepatan-Kerapatan	$\bar{U}_{sr} = 37.20 - 0.3185D$	$\bar{U}_{sr} = 22.57 - 0.1060D$
Volume-Kecepatan	$V = 213,035 \bar{U}_{sr} - 9.437 \bar{U}_{sr}^2$	$V = 116.808 \bar{U}_{sr} - 5.174 \bar{U}_{sr}^2$
Volume-Kerapatan	$V = 37.20 - 0.3185D^2$	$V = 22.57 - 0.1060D^2$

4.5.1 Hubungan Antara Kecepatan dan Kerapatan

Kecepatan dengan kerapatan memiliki hubungan yang berbanding terbalik, terlihat bahwa kecepatan akan menurun apabila kerapatan bertambah. Kecepatan volume bebas (f) akan terjadi apabila kerapatan sama dengan nol sedangkan pada saat kecepatan sama dengan nol maka terjadi kerapatan macet (*Dj/jam density*),

tabel 4.13 menggambarkan bagaimana kecepatan arus bebas dan kerapatan macet pada lokasi pengamatan.

Tabel 4.13: Kecepatan Arus Bebas (U_f) dan Kerapatan Macet (D_j).

lokasi	U_f	D_j
pengamatan 1	37.20	116.808
pengamatan 2	22.57	213.035

4.5.2 Hubungan antara Volume dan Kecepatan

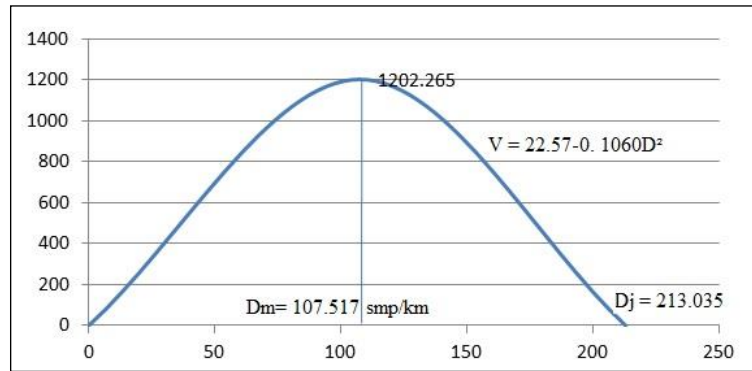
Hubungan mendasar antara volume dan kecepatan adalah dengan bertambahnya volume lalu lintas maka kecepatan rata-rata ruangnya akan berkurang sampai kerapatan kritis (volume maksimum) tercapai.

Tabel 4.14: Nilai volume maksimum.

Persamaan Volume Maksimum	Lokasi Pengamatan	V_m
$V_m = (U_f \cdot D_j) / 4$	1	1086.403
	2	1202.265

4.5.3 Hubungan antara Volume dan Kerapatan

Model *Greenshields* biasa menggambarkan kondisi data yang sesungguhnya. Walaupun nilai volume dan kerapatan maksimum serta kondisi saat macet masih mendekati kondisi sebenarnya, seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Hubungan antara volume dan kerapatan.

4.6 Perhitungan Antrian dan Tundaan

Pada kondisi pintu perlintasan ditutup, antrian terjadi karena adanya kendaraan yang tidak terlayani atau disimpan selama periode waktu tertentu yaitu selama pintu perlintasan ditutup. Perhitungan tundaan kondisi pintu tertutup menghasilkan nilai tundaan akibat volume yang terhalang oleh penutupan pintu perlintasan. Pada *Shock Wave Analysis* (analisa gelombang kejut), tundaan rata-rata yang terjadi dipengaruhi oleh lama penutupan dan waktu pelepasan antrian. Hasil perhitungan antrian dan tundaan ditunjukkan dalam Tabel 4.15

Tabel 4.15: Perhitungan antrian dan tundaan pada kondisi pintu perlintasan tertutup dengan analisis gelombang kejut.

NO	Interval Waktu		VA	Vm	DA	DB	DC	Kecepatan Gelombang Keju			r	ta	Xa	Xb	tb	N	Tundaan Rata Rata
								ω AB	ω BC	ω AC							
								(smp/ jam)	(smp/ jam)	(smp/ km)							
20	16.10.10	16.12.00	1035.20	1202.265	67.056	213.035	106.518	1.773	11.287	4.234	110	6.522	780.057	0.0643	132.547	33.506	71.753
21	16.23.10	16.24.20	1100.25	1202.265	76.432	213.035	106.518	2.014	11.287	3.391	70	3.749	563.806	0.0477	86.719	22.539	46.270
22	16.45.45	16.47.45	1085.60	1202.265	72.746	213.035	106.518	1.935	11.287	3.455	120	6.632	928.596	0.0778	147.304	38.187	79.093
23	17.06.32	17.08.22	1101.05	1202.265	75.011	213.035	106.518	1.994	11.287	3.213	110	5.936	877.498	0.0740	135.968	35.459	72.729
24	17.15.10	17.17.50	1005.90	1202.265	73.230	213.035	106.518	1.701	11.287	5.899	120	7.360	863.403	0.0668	143.422	35.586	77.793

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan *Shock Wave Analysis* pada kondisipintu tertutup dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Periode penutupan maksimum, kondisi antrian dan tundaan maksimum:
 - a. kondisi antrian dan tundaan maksimum terjadi pada periode 16.45.45- 16.47.45, dimana menghasilkan waktu pelepasan $t_a = 7$ detik, waktu pemulihan $t_b = 15$ detik, panjang antrian maksimum = 77 meter, jumlah kendaraan antri $N = 39$ smp, serta rata-rata tundaan sebesar 79 detik.
2. Kondisi antrian dan tundaan yang terjadi tergantung pada jumlah kendaraan yang masuk dan durasi penutupan perlintasan. Semakin besar kendaraan yang masuk, semakin lama durasi penutupan menyebabkan waktu dan panjang antrian serta tundaan yang dialami oleh pengemudi semakin besar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

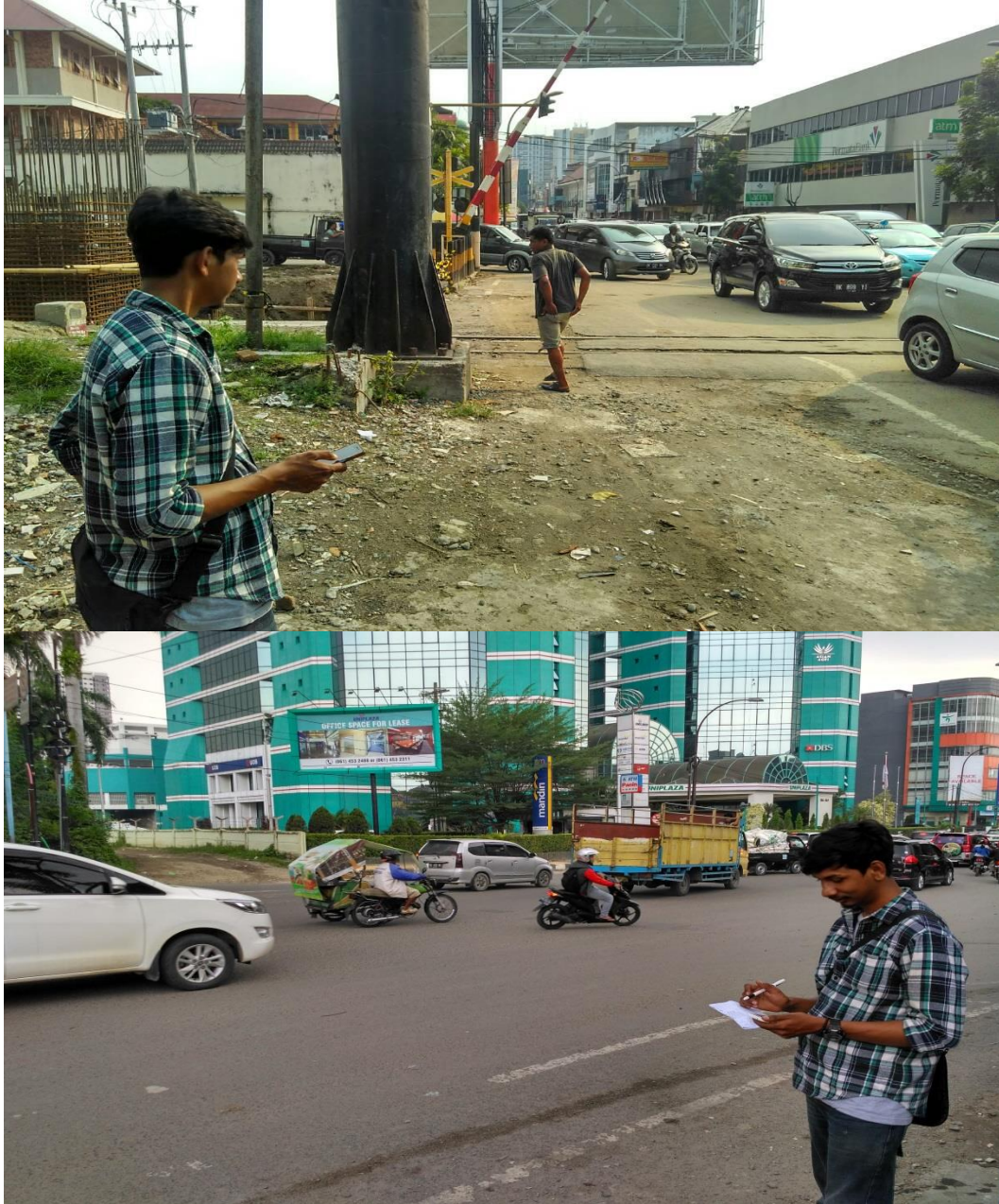
5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan dapat diketahui bahwa pada lokasi pengamatan 1 pengemudi dapat memilih kecepatannya namun ketika memasuki lokasi pengamatan 2 kecepatan akan menurun karena adanya hambatan lalu lintas dan rambu rambu bahwasannya pengemudi memasuki pelintasan sebidang jalan dengan rel kereta api:
 - Pada lokasi pengamatan 1 (ruas yang belum dipengaruhi *rumble strips* atau rambu-rambu peringatan akan memasuki perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api) nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 37.20 km/jam, nilai kerapatan macet D_j 116.808 dan volume maksimum 1086.403 smp/jam
 - Pada lokasi pengamatan 2 (ruas yang dipengaruhi *rumble strips* atau rambu-rambu peringatan akan memasuki perlintasan sebidang jalan dengan rel kreta api) nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 22.57 km/jam, nilai kerapatan macet D_j 213.035 dan volume maksimum 1202 smp/jam
2. Berdasarkan hasil analisis tundaan dan antrian dengan metode gelombang kejut diperoleh, yaitu pada priode penutupan pada jam 16.45.45- 16.47.45 merupakan kondisi maksimum dimana menghasilkan waktu panjang antrian maksimum = 77 meter, jumlah kendaraan antri $N = 39$ smp, serta rata-rata tundaan sebesar 79 detik

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, A.A (2008) *Rekayasa Lalulintas*. Malang: UMM Press.
- Amal, A.S, Pudjianto, B., Mujihartono, E, (2002) *Pengaruh Penutupan Pintu Perlintasan Kereta Api Terhadap Tundaan dan Panjang Antrian Kendaraan Pada Jalan Raya Malang- Surabaya KM 10*. Jurnal Pilar. UMM. Malang.
- Anonim. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian.
- Anonim. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 72 Tahun 2009 Tentang LaluLintas Dan Angkutan Kereta Api.
- Direktorat Jendral Bina Marga (1997) *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (1997) *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga(1990). *Panduan Survey dan Perhitungan Waktu Perjalanan Lalulintas*.
- Soedirdjoe (2002) *Rekayasa Lalulintas*. Bandung: Penerbit ITB.
- Said (2004) *Kajian Satu Persimpangan Sebidang Jalan Dan Jalan Rel*. Thesis. ITB. Bandung.
- Setyaningsih (2007) *Karakteristik Lalu lintas Pada Persilangan sebidang jalan Dan Jalan Rel*. Thesis. ITB. Bandung.
- Khisty dan Lall (2005) *Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi*. Jilid I. Jakarta: Erlangga.

LAMPIRAN



Gambar L1: Survei lalu lintas.



Gambar L2: Mengukur Lebar Jalan.



Gambar L3: Mengukur panjang lokasi pengamatan.

Tabel L.1: Data survei kendaraan hari Senin.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	4	672	834	
7:15	7:30	5	693	785	
7:30	7:45	4	730	845	
7:45	8:00	6	598	894	
8:00	8:15	8	654	732	
8:15	8:30	6	628	867	
8:30	8:45	7	548	832	
8:45	9:00	5	617	712	
12:00	12:15	10	626	741	
12:15	12:30	5	660	789	
12:30	12:45	7	658	435	
12:45	13:00	7	645	583	
13:00	13:15	8	686	554	
13:15	13:30	7	598	629	
13:30	13:45	11	578	572	
13:45	14:00	9	613	614	
16:00	16:15	11	773	922	
16:15	16:30	10	822	981	
16:30	16:45	18	810	911	
16:45	17:00	14	842	924	
17:00	17:15	17	762	844	
17:15	17:30	10	611	934	
17:30	17:45	13	730	921	
17:45	18:00	17	615	823	
total		219	16169	18678	35066

Tabel L.2: Data survei kendaraan hari Selasa.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	4	644	822	
7:15	7:30	4	632	811	
7:30	7:45	3	698	871	
7:45	8:00	5	623	762	
8:00	8:15	6	711	792	
8:15	8:30	5	632	842	
8:30	8:45	4	651	759	
8:45	9:00	6	556	791	
12:00	12:15	5	612	732	
12:15	12:30	7	589	712	
12:30	12:45	4	624	532	
12:45	13:00	6	671	665	
13:00	13:15	9	642	485	
13:15	13:30	5	558	523	
13:30	13:45	7	643	587	
13:45	14:00	10	611	568	
16:00	16:15	9	666	883	
16:15	16:30	10	752	943	
16:30	16:45	11	783	911	
16:45	17:00	13	823	882	
17:00	17:15	12	793	912	
17:15	17:30	16	711	952	
17:30	17:45	13	751	963	
17:45	18:00	15	689	878	
total		189	16065	18578	34832

Tabel L.3: Data survei kendaraan hari Rabu.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	5	583	832	
7:15	7:30	4	623	842	
7:30	7:45	4	674	822	
7:45	8:00	4	573	811	
8:00	8:15	5	654	732	
8:15	8:30	6	732	743	
8:30	8:45	3	584	832	
8:45	9:00	5	643	722	
12:00	12:15	6	590	782	
12:15	12:30	6	523	742	
12:30	12:45	5	639	672	
12:45	13:00	7	576	631	
13:00	13:15	6	675	582	
13:15	13:30	8	592	511	
13:30	13:45	6	598	529	
13:45	14:00	7	643	541	
16:00	16:15	9	672	943	
16:15	16:30	9	691	912	
16:30	16:45	12	756	835	
16:45	17:00	9	782	893	
17:00	17:15	12	832	932	
17:15	17:30	11	734	841	
17:30	17:45	16	693	963	
17:45	18:00	13	689	993	
total		178	15751	18638	34567

Tabel L.4: Data survei kendaraan hari Kamis.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	3	644	743	
7:15	7:30	5	643	832	
7:30	7:45	4	698	769	
7:45	8:00	7	567	743	
8:00	8:15	5	743	683	
8:15	8:30	5	693	811	
8:30	8:45	7	543	774	
8:45	9:00	6	556	743	
12:00	12:15	6	590	832	
12:15	12:30	4	634	790	
12:30	12:45	9	672	623	
12:45	13:00	5	572	572	
13:00	13:15	7	632	721	
13:15	13:30	5	683	649	
13:30	13:45	7	582	532	
13:45	14:00	13	627	583	
16:00	16:15	6	579	642	
16:15	16:30	4	732	863	
16:30	16:45	11	728	796	
16:45	17:00	13	674	843	
17:00	17:15	12	762	943	
17:15	17:30	16	794	994	
17:30	17:45	15	836	932	
17:45	18:00	17	723	974	
total		192	15907	18387	34486

Tabel L.5: Data survei kendaraan hari Jum'at.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	5	723	852	
7:15	7:30	6	636	963	
7:30	7:45	4	711	882	
7:45	8:00	5	654	784	
8:00	8:15	3	758	795	
8:15	8:30	5	573	838	
8:30	8:45	7	637	749	
8:45	9:00	6	511	723	
12:00	12:15	5	542	822	
12:15	12:30	12	719	856	
12:30	12:45	8	672	739	
12:45	13:00	6	572	643	
13:00	13:15	8	457	671	
13:15	13:30	4	644	712	
13:30	13:45	9	539	511	
13:45	14:00	6	582	568	
16:00	16:15	12	690	843	
16:15	16:30	6	726	743	
16:30	16:45	9	749	794	
16:45	17:00	11	858	863	
17:00	17:15	16	745	763	
17:15	17:30	14	664	962	
17:30	17:45	10	683	946	
17:45	18:00	11	659	873	
total		188	15704	18895	34787

Tabel L.6: Data survei kendaraan hari Sabtu.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	3	483	734	
7:15	7:30	6	583	732	
7:30	7:45	3	672	522	
7:45	8:00	6	511	573	
8:00	8:15	4	448	483	
8:15	8:30	5	623	572	
8:30	8:45	6	722	481	
8:45	9:00	2	521	381	
12:00	12:15	6	532	492	
12:15	12:30	4	593	422	
12:30	12:45	6	560	521	
12:45	13:00	7	537	524	
13:00	13:15	5	522	412	
13:15	13:30	8	672	583	
13:30	13:45	5	549	482	
13:45	14:00	6	574	550	
16:00	16:15	5	694	602	
16:15	16:30	12	673	690	
16:30	16:45	8	732	702	
16:45	17:00	8	639	734	
17:00	17:15	13	622	722	
17:15	17:30	7	692	639	
17:30	17:45	8	711	703	
17:45	18:00	14	689	633	
total		157	14554	13889	28600

Tabel L.7: Data survei kendaraan hari Minggu.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	4	382	682	
7:15	7:30	5	384	720	
7:30	7:45	4	483	529	
7:45	8:00	3	393	518	
8:00	8:15	5	453	492	
8:15	8:30	4	523	592	
8:30	8:45	5	628	522	
8:45	9:00	3	693	532	
12:00	12:15	6	583	472	
12:15	12:30	4	522	493	
12:30	12:45	3	672	449	
12:45	13:00	6	633	480	
13:00	13:15	3	663	583	
13:15	13:30	6	521	492	
13:30	13:45	4	498	380	
13:45	14:00	6	534	392	
16:00	16:15	4	592	490	
16:15	16:30	6	612	463	
16:30	16:45	4	632	583	
16:45	17:00	6	611	582	
17:00	17:15	7	592	592	
17:15	17:30	4	612	528	
17:30	17:45	9	632	623	
17:45	18:00	7	586	538	
total		118	13434	12727	26279



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Muhammad. Yasir Rahim
Panggilan : Acil
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 28 November 1995
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat Sekarang : Jln. Mawar raya no.12
Nomor KTP : 1271032811950002
Alamat KTP : Jl. Mawar raya lk XIV No 12
No. Telp Rumah : -
No. HP/ Telp.Seluler : 082248301552
E-mail : Muhammad.yasir.rahim@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1207210155
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jln. Kapten Muchtar Basri BA, No.3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD Muhammadiyah 31, Medan, Sumatera Utara	2006
2	SMP	SMP Ar-Rahman Medan, Sumatera Utara	2009
3	SMA	SMK Negeri 9 Medan, Sumatera Utara	2012
4	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2012 sampai dengan selesai		

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Karakteristik Lalulintas	5
2.1.1. Arus dan Volume Lalulintas (<i>Flow</i>)	6
2.1.2. Kecepatan (<i>Speed</i>)	7
2.1.2. Kerapatan (<i>Desinty</i>)	7
2.2. Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan	9
2.2.1 Perhitungan Volume	9
2.2.2 Ekuivalensi Mobil Penumpang	9
2.2.3 Perhitungan Kecepatan	11
2.2.4 Perhitungan Kerapatan	13
2.3. Pemodelan Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan	13

2.3.1 Model Linier Menurut <i>Greenshields</i>	13
2.4. Tundaan	17
2.5. Antrian	19
2.6. Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api	20
2.7. Gelombang kejut	20
2.7.1 Klasifikasi Gelombang Kejut	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Tahapan Pekerjaan	32
3.2. Pemilihan Lokasi Penelitian	32
3.3. Pilot Survey	33
3.4. Variabel-Variabel Yang Diukur	33
3.5. Pengumpulan Data	31
3.5.1. Surveyor dan Peralatan	31
3.5.2. Priode Pengamatan	32
3.5.3. Pengumpulan Data Primer	32
BAB 4 ANALISIS DATA	
4.1. Data Lalu Lintas	34
4.2. Data Kecepatan Rata Rata Ruang Kendaraan	36
4.3. Perhitungan Kerapatan	39
4.4. Data Waktu Dan Lama Penutupan Pintu Perlintasan	40
4.5. Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan	41
4.5.1. Hubungan Antara Kecepatan Dan Kerapatan	44
4.5.1. Hubungan Antara Volume Dan Kecepatan	44
4.5.2. Hubungan Antara Volume Dan Kerapatan	45
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	49
5.2. Saran	50

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kerangka Dasar Karakteristik Lalulintas	5
Tabel 2.2	Rekomendasi Panjang Jalan untuk Studi Kecepatan Setempat(Direktorat Jendral Bina Marga ,1990)	8
Tabel 2.3	Emp Untuk Jalan Perkotaan Terbagi dan Satu Arah	11
Tabel 2.4	Contoh Perhitungan Kecepatan Rata-Rata Waktu dan Kecepatan Rata-Rata Ruang	12
Tabel 4.1	Volume lalu lintas selama satu minggu	34
Tabel 4.2	Volume kendaraan perjam pada hari Senin	35
Tabel 4.4	Volume maksimum pada lokasi pengamatan 1	35
Tabel 4.5	Volume maksimum pada lokasi pengamatan 2	36
Tabel 4.5	Perhitungan Kecepatan Ruang Rata-rata dari Hasil Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi Pengamatan 1	38
Tabel 4.6	Perhitungan Kecepatan Ruang Rata-rata dari Hasil Survei Waktu Tempuh Kendaraan Lokasi Pengamatan 2	38
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan Lokasi Pengamatan 1	39
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan Lokasi Pengamatan 2	39
Tabel 4.9	Data Waktu dan Lama Penutupan Pintu Perlintasan Hasil Survey	40
Tabel 4.10	Variabel dan Konstanta Regresi Linier	41
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Regresi Linier Lokasi Pengamatan 1	43
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Regresi Linier Lokasi Pengamatan 1	43
Tabel 4.13	Resume Perhitungan Regresi Linier	44
Tabel 4.14	Persamaan Hubungan antara Kecepatan (\bar{U}_{sr}), Volume V dan Kerapatan D	44
Tabel 4.15	Kecepatan Arus Bebas (U_f) dan Kerapatan Macet (D_j)	44
Tabel 4.16	Nilai Volume Maksimum	45
Tabel 4.17	Perhitungan Antrian dan Tundaan pada Kondisi Pintu Perlintasan Tertutup dengan Analisis Gelombang Kejut	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Hubungan Antara Arus, Kecepatan Dan Kerapatan	16
Gambar 2.2	Klasifikasi Gelombang Kejut	22
Gambar 2.3	Gelombang Kejut Pada Saat Kondisi Pintu Perlintasan Ditutup	24
Gambar 2.4	Gelombang Kejut Pada Perlintasan Kereta Api Pada Saat Pintu Perlintasan Ditutup	28
Gambar 2.5	Lokasi Antrian dan Lokasi Hilangnya Antrian	27
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	29
Gambar 3.2	Denah lokasi penelitian	35

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

C	= Kapasitas
Emp	= Ekuivalensi mobil penumpang
K	= Faktor k faktor volume lalu lintas jam sibuk
HV	= Kendaraan Berat
LHRT	= Laju harian rata-rata tahunan (smp)
LHR	= Laju harian rata-rata (smp)
LV	= Mobil penumpang
MKJI	= Manual kapasitas jalan indonesia
MC	= Sepeda Motor
n	= jumlah kendaraan yang diamati
SMP	= Satuan mobil penumpang
ti	= waktu tempuh kendaraan (jam)
\bar{U}_t	= kecepatan rata-rata waktu (km/jam)
\bar{U}_{sr}	= kecepatan rata-rata ruang (km/jam)
X	= jarak tempuh (km)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem transportasi yang terbentuk dari komponen sarana, prasarana dan manusia adalah bagian hidup masyarakat saat ini. Permasalahan yang timbul seperti kemacetan, kecelakaan, penurunan kualitas lingkungan dan transportasi biaya tinggi menjadi pemandangan sehari-hari di kota-kota besar di Indonesia. Dalam suatu sistem jaringan jalan raya, persimpangan merupakan titik terjadinya konflik antara moda transportasi dan tingkat efisiensi jaringan jalan sangat ditentukan oleh kinerja persimpangan.

Suatu persimpangan biasanya terbentuk dari pertemuan antara dua ruas jalan dengan arah yang berbeda. Pertemuan antara dua jenis prasarana transportasi seperti jalan raya dengan rel kereta api merupakan bentuk pertemuan yang menimbulkan masalah. Peranan sistem kontrol pada pertemuan dua jalur prasarana transportasi tersebut yang di Indonesia disebut dengan perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api, saat ini banyak yang telah dioperasikan secara semi otomatis. Permasalahan yang tampak adalah walaupun sistem kontrol tersebut telah dioperasikan dengan benar, tapi bila volume kendaraan pada pendekatan lintasan sedemikian besar maka akan menimbulkan tundaan dan panjang antrian yang cukup berarti dan resiko terjadinya kecelakaan lalulintas antara kendaraan jalan raya dengan kereta api akan semakin besar.

Hal tersebut disebabkan karena pada perlintasan sebidang antara jalan dengan rel kereta api terdapat pertemuan antara moda transportasi jalan raya dan kereta api pada satu bidang yang sama yang memiliki karakteristik pergerakan yang berbeda sehingga memiliki tingkat resiko tinggi untuk terjadinya kecelakaan lalulintas. Potensi terjadinya kecelakaan lalulintas pada perlintasan kereta api sebidang akan semakin tinggi jika perlintasan kereta api sebidang tersebut berpotongan pada satu bidang yang sama dengan ruas jalan yang memiliki intensitas kepadatan lalu lintas yang tinggi.

Dengan mempertimbangkan karakteristik pergerakannya, kereta api mendapat prioritas pada perlintasan dan pengemudi harus mendahulukan kereta api karena berdasarkan pasal 91 ayat 1 Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian, perpotongan antara jalur kereta api dengan jalan raya sebaiknya dibuat dengan prinsip tidak sebidang yang berarti menggunakan *Fly over* atau *Underpass* sehingga tidak terjadi persimpangan sebidang dan dapat meminimalisasi terjadinya kecelakaan lalulintas.

Hal tersebut mengingat karakter dari kereta api yang tidak dapat diberhentikan secara mendadak berbeda dengan moda transportasi jalan raya. Untuk pengecualian dari pasal 91 ayat 1 Undang-Undang Republik Indonesia diatas yaitu pada ayat 2 yaitu untuk persimpangan sebidang hanya dapat dilakukan dengan tetap menjamin keselamatan dan kelancaran perjalanan kereta api dan lalulintas jalan. Sedangkan berdasarkan Pasal 110 Ayat 1 Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 72 Tahun 2009 Tentang Lalulintas dan Angkutan Kereta Api, Pada perpotongan sebidang antara jalur kereta api dengan jalan yang selanjutnya disebut dengan perpotongan sebidang yang digunakan untuk lalulintas umum atau lalulintas khusus, pemakai jalan wajib mendahulukan perjalanan kereta api.

Mengingat karakteristik kereta api yang tidak dapat langsung berhenti jika ada penghalang di depannya, kereta api membutuhkan jarak tertentu untuk mengerem sebelum berhenti. Jika terdapat penghalang di depan kereta api yang sedang melaju, masinis biasanya justru akan semakin menambah kecepatan karena dengan kecepatan yang lebih tinggi diharapkan pada saat terjadi benturan tidak akan mengakibatkan kereta api terguling dan benda yang berada di depan kereta api tersebut akan lebih mudah tersingkir dan pengendara kendaraan jalan raya juga diwajibkan untuk lebih mendahulukan perjalanan kereta api.

Karakteristik rel kereta api dapat dikatakan sama dengan jalan tol, yaitu jalur yang bebas terhadap hambatan selama perjalanan kereta api berlangsung. Karakteristik kereta api masih kurang dipahami oleh sebagian besar pengguna jalan, ditambah lagi dengan faktor kedisiplinan berlalulintas yang masih rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang sebagaimana disajikan di atas maka rumusan masalah yang terjadi adalah:

1. Bagaimana hubungan antar volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas pada ruas jalan tanpa hambatan dan ruas jalan yang dipengaruhi hambatan geometrik lalu lintas dengan menggunakan pendekatan model linear Greenshilds
2. Bagaimana nilai tundaan dan antrian yang terjadi pada saat pintu perlintasan ditutup dengan metode gelombang kejut.

1.3 Ruang Lingkup

Untuk menyederhanakan penelitian ini mengingat akan keterbatasan waktu, tenaga, serta biaya, maka ruang lingkup permasalahan pada penelitian ini dibatasi secara spesifik hanya mencakup kondisi sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah ruas Jalan M. T. Haryono yaitu pada perlintasan sebidang Jalan M. T.Haryono arah pergerakan lalu lintas dari Jalan Palang Merah menuju Jalan M. T. Haryono, dimana lokasi titik pengamatan dibedakan menjadi dua, yaitu pada bagian ruas tanpa dipengaruhi hambatan dan yang dipengaruhi hambatan.
2. Kecepatan kendaraan didasarkan pada kecepatan rata-rata ruang, interval waktu pengamatan dan pencatatan volume lalu lintas adalah setiap 15 menit

1.4 Tujuan Penelitian

Berubungan dengan rumusan masalah yang dibuat, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas pada ruas jalan tanpa hambatan dan ruas jalan yang dipengaruhi hambatan geometrik lalu lintas.
2. Mengetahui nilai tundaan dan antrian yang terjadi pada saat pintu perlintasan ditutup dengan metode gelombang kejut.

1.5 Manfaat Penelitian

Berubungan dengan tujuan yang dibuat, maka manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengetahui bagaimana tundaan dan antrian selama pintu perlintasan ditutup, yaitu ketika kereta memasuki perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api.
2. Mengetahui bagaimana kecepatan dan kerapatan lalulintas pada ruas Jalan M. T. Haryono tanpa hambatan dan ruas jalan yang dipengaruhi hambatan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri atas 5 bab, dengan perincian masing-masing bab adalah sebagai berikut:

BAB 1: PENDAHULUAN

Bab ini memberikan penjelasan mengenai latar belakang penelitian, maksud dan tujuan penelitian, ruang lingkup dan batasan masalah, metodologi yang digunakan dalam penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB 2: TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang tinjauan-tinjauan teoritis dari para ahli mengenai perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api, karakteristik lalulintas dan persoalan lalulintas yang ditimbulkannya seperti tundaan dan antrian kendaraan.

BAB 3: METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tentang pendiskripsian dan langkah – langkah kerja yang akan dilakukan dengan cara memperoleh data–data yang relevan dengan penelitian ini.

BAB 4: PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA

Bab ini membahas tentang penyajian data–data yang kita peroleh, selanjutnya data–data tersebut dianalisis untuk mendapatkan beberapa kesimpulan dengan menggunakan analisis.

BAB 5: KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang beberapa temuan studi, kesimpulan, saran, dan studi lebih lanjut yang diperlukan sehubungan dengan penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Lalu Lintas

Karakteristik dasar arus lalu lintas adalah arus, kecepatan, dan kerapatan. Karakteristik ini dapat diamati dengan cara makroskopik atau mikroskopik. Pada tingkat mikroskopik analisis dilakukan secara individu sedangkan pada tingkat makroskopik analisis dilakukan secara kelompok (Soedirdjo, 2002). Tabel 2.1 menggambarkan kerangka dasar dari karakteristik lalulintas.

Tabel 2.1: Kerangka dasar karakteristik lalulintas (MKJI 1997).

Karakteristik lalulintas	Mikroskopik	Makroskopik
Arus	Waktu antrean (<i>time headway</i>)	Tingkat arus
Kecepatan	Kecepatan individu	Kecepatan rata-rata
kerapatan	Jarak antran (<i>distance headway</i>)	Tingkat kerapatan

Karakteristik arus makroskopik dinyatakan dengan tingkat arus dan pembahasan akan ditekankan pada pola variasi dalam waktu, ruang dan jenis kendaraan. Karakteristik kecepatan makroskopik menganalisis kecepatan dari kelompok kendaraan yang melintas suatu titik pengamat atau suatu potongan jalan pendek selama periode waktu tertentu. Penekanan diberikan pada variasi waktu, ruang dan jenis kendaraan. Karakteristik kerapatan makroskopik dinyatakan sebagai sejumlah kendaraan yang menempati suatu potongan jalan. Kerapatan merupakan karakteristik penting yang dapat digunakan dalam menilai kinerja lalulintas dari sudut pandang pemakai jalan dan pengelola jalan.

2.1.1 Arus dan Volume Lalulintas (*Flow*)

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) arus lalulintas disebut sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melewati satu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan per jam. Arus lalulintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya akan bervariasi baik berdasarkan lokasi maupun waktunya.

Sedangkan volume adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tiap satuan waktu (Alamsyah, 2008). Volume biasanya dihitung dalam kendaraan/hari atau kendaraan/jam. Volume dapat juga dinyatakan dalam periode waktu yang lain.

Volume lalulintas umumnya rendah pada malam hari, tetapi meningkat secara cepat sewaktu orang mulai pergi ke tempat kerja. Volume jam sibuk biasanya terjadi di jalan perkotaan pada saat orang melakukan perjalanan ke dan dari tempat kerja atau sekolah. Volume jam sibuk pada jalan antar-kota lebih sulit untuk diperkirakan.

Dalam pembahasannya volume dibagi menjadi 3 (tiga) (Soedirdjoe, 2002) yaitu:

1. Volume harian (*Daily Volume*)

Ada empat parameter volume harian yang banyak digunakan yaitu :

Lalulintas harian rata-rata tahunan (LHRT) atau *average annual daily traffic* (AADT) yaitu volume lalulintas 24 jam rata-rata disuatu lokasi tertentu selama 365 hari penuh, yaitu jumlah total kendaraan yang melintas lokasi dalam satu tahun dibagi 365.

Lalulintas hari kerja rata-rata tahunan (LHKRT) atau *average annual weekday traffic* (AAWT) yaitu volume lalulintas 24 jam rata-rata terjadi pada hari kerja selama satu tahun penuh.

Lalulintas harian rata-rata (LHR) atau *average daily traffic* (ADT) yaitu volume lalulintas 24 jam rata-rata disuatu lokasi untuk periode waktu kurang dari satu tahun. Sementara AADT dihitung selama satu tahun penuh.

Lalulintas hari kerja rata-rata (LHKR) atau *average weekday traffic* (AWT) adalah volume lalulintas 24 jam rata-rata terjadi pada hari kerja selama periode kurang dari setahun, seperti selama satu bulan atau satu periode.

2. Volume jam-an (*Hourly Volumes*)

Yaitu suatu pengamatan terhadap arus lalulintas untuk menentukan jam puncak selama periode pagi dan sore yang biasanya terjadi kesibukan akibat orang pergi dan pulang kerja. Dari pengamatan tersebut dapat diketahui arus yang paling besar yang disebut sebagai jam puncak.

3. Volume per sub jam (*Sub Hourly Volumes*)

Yaitu pengamatan terhadap arus lalulintas lebih kecil dari satu jam.

2.1.2 Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan adalah besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh (Soedirdjo, 2002). Kecepatan dari suatu kendaraan dipengaruhi oleh faktor-faktor manusia, kendaraan, prasarana dan juga dipengaruhi oleh arus lalulintas, kondisi cuaca dan lingkungan alam disekitarnya.

Menurut Direktorat Bina Sistem Lalulintas dan Angkutan Kota (1999), ada empat klasifikasi utama yang sering digunakan dalam mempelajari kecepatan arus lalulintas, yaitu:

1. Kecepatan titik/sesaat (*spot speed*)

Yaitu kecepatan kendaraan sesaat pada waktu kendaraan tersebut melintasi suatu titik tetap tertentu di jalan.

2. Kecepatan perjalanan (*journey speed*)

Yaitu kecepatan rata-rata kendaraan efektif antara dua titik tertentu di jalan, yang dapat ditentukan dari jarak perjalanan dibagi dengan total waktu perjalanan.

3. Kecepatan bergerak (*running speed*)

Yaitu kecepatan rata-rata kendaraan untuk melintasi suatu jarak tertentu dalam kondisi kendaraan tetap berjalan, yaitu kondisi setelah dikurangi oleh waktu hambatan terjadi (misalnya hambatan pada persimpangan). Kecepatan bergerak ini dapat ditentukan dari jarak perjalanan dibagi dengan total waktu perjalanan

yang telah dikurangi dengan waktu berhenti karena adanya hambatan yang disebabkan gangguan yang terjadi pada lalulintas.

4. Hambatan (*delay*)

Hambatan tetap (*fixed delay*)

Hambatan bergerak (*running delay*)

Dalam pergerakan arus lalulintas, tiap kendaraan berjalan pada kecepatan yang berbeda. Dengan demikian dalam arus lalulintas 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 lalulintas. Dan dibutuhkan panjang jalan untuk mencari kecepatan ,rekomendasi panjang jalan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Rekomendasi panjang jalan untuk studi kecepatan setempat (Direktorat Jendral Bina Marga, 1990).

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

2.1.3 Kerapatan (*Density*)

Kerapatan adalah sebagai jumlah kendaraan yang menempati panjang ruas jalan tertentu atau lajur yang umumnya dinyatakan sebagai jumlah kendaraan per kilometer (Alamsyah, 2008).

Menurut Soedirdjoe (2002), kerapatan adalah jumlah kendaraan yang menggunakan suatu panjang jalan, pada umumnya ditentukan panjang 1 km dan satu lajur jalan. Kerapatan lalulintas 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. Batas atas ini disebut kerapatan macet, dan umumnya antara 115 sampai 156 kendaraan per km.

Kerapatan sukar diukur secara langsung (karena diperlukan titik ketinggian tertentu yang dapat mengamati jumlah kendaraan dalam panjang ruas jalan tertentu), sehingga besarnya ditentukan dari dua parameter sebelumnya, yaitu kecepatan dan volume (Alamsyah, 2008). Dimana kerapatan, kecepatan dan volume mempunyai hubungan seperti pada Pers. 2.1 dan Pers. 2.2.

$$V = \bar{U}_{sr} \times D \quad (2.1)$$

$$D = V / \bar{U}_{sr} \quad (2.2)$$

Dimana:

V = volume (smp/jam)

\bar{U}_{sr} = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

D = kerapatan (smp/km)

2.2 Perhitungan Volume, Kecepatan dan Kerapatan

2.2.1 Perhitungan Volume

Volume kendaraan adalah parameter yang menjelaskan keadaan arus lalulintas di jalan. Kendaraan yang melewati suatu ruas jalan dijumlahkan dengan mengalikan faktor konversi kendaraan yang telah ditetapkan sehingga nantinya diperoleh jumlah kendaraan yang lewat pada ruas jalan tersebut. Nilai tersebut kemudian dikonversikan ke dalam smp/jam untuk mendapatkan nilai volume kendaraan yang lewat setiap jamnya.

2.2.2 Ekivalensi Mobil Penumpang

Untuk keperluan analisa dan perhitungan dari volume lalulintas yang terdiri dari berbagai tipe, maka perlu dikonversikan kedalam satuan kendaraan ringan yang dikenal sebagai satuan mobil penumpang dengan menggunakan faktor ekivalensi mobil penumpang.

MKJI (1997), mendefenisikan satuan mobil penumpang dan ekivalensi mobil penumpang sebagai berikut:

1. Satuan Mobil Penumpang, yaitu satuan arus, dimana arus dari berbagai tipe kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan emp.
2. Ekivalensi Mobil penumpang, yaitu faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalulintas.

Menurut MKJI (1997), untuk jalan perkotaan dan persimpangan, kendaraan pada arus lalulintas dibagi dalam 3 (tiga) tipe yaitu:

Kendaraan ringan (LV) adalah kendaraan bermotor ber as dua dengan empat roda dan dengan jarak as 2,0 – 3,0 m, meliputi mobil penumpang, oplet, mikro bis, pick-up dan truk kecil sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.

Kendaraan berat (HV) adalah kendaraan bermotor dengan lebih dari empat roda, meliputi bis, trus 2as, truk 3as dan truk kombinasi sesuai sistem klasifikasi Bina Marga.

Sepeda motor (MC) adalah kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda, meliputi sepeda motor dan kendaraan roda tiga sesuai sistem klasifikasi Bina Marga, Untuk tipe kendaraan ringan, faktor emp adalah 1 (satu) sedangkan tipe kendaraan berat serta sepeda motor dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Emp untuk jalan perkotaan terbagi dan satu arah (MKJI 1997).

Tipe jalan:	Arus lalulintas per lajur (kend/jam)	EMP	
		HV	MC
Jalan Satu Arah dan Terbagi			
Dua Lajur Satu Arah (2/1)	0	1.3	0.40
Empat Lajur Terbagi (4/2D)	≥1050	1.2	0.25
Tiga lajur 1 arah (3/1)	0	1.3	0.40
Enam lajur dua arah (6/2D)	≥1100	1.2	0.25

Dari Tabel 2.3 dapat diketahui volume lalu lintas yang melewati suatu titik dihitung melalui Pers. 2.3.

$$V = \sum (V_i \text{ EMP}_i) \quad (2.3)$$

Dimana:

V = Volume (Smp/jam)

V_i = Arus kendaraan tipe ke-i

EMP_i = Faktor emp kendaraan tipe ke-i

2.2.3 Perhitungan Kecepatan

Kecepatan merupakan laju pergerakan yang ditandai dengan besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi dengan waktu tempuh. Kecepatan dapat didefinisikan dengan Pers. 2.4.

$$\bar{U} = \frac{x}{t} \quad (2.4)$$

Dimana :

\bar{U} = kecepatan (km/jam)

x = jarak tempuh kendaraan (km)

t = waktu tempuh kendaraan (jam)

Kecepatan kendaraan pada suatu bagian jalan, akan berubah-ubah menurut waktu dan besarnya lalu lintas. Ada 2 (dua) hal penting yang perlu diperhatikan dalam menilai hasil studi kecepatan yaitu :

- a. Kecepatan rata-rata ruang (sr), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan dalam suatu bagian jalan pada suatu interval waktu tertentu dinyatakan dalam km/jam.
- b. Kecepatan rata-rata waktu (t), menyatakan kecepatan rata-rata kendaraan yang melewati suatu titik dalam interval waktu tertentu yang dinyatakan dalam km/jam.

Kecepatan rata-rata ruang dan kecepatan rata-rata waktu dapat dihitung dari pengukuran waktu tempuh dan jarak menurut Pers. 2.5 dan Pers. 2.6 sebagai berikut:

$$\bar{U}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x}{t_i}}{n} \quad (2.5)$$

$$\bar{U}_{sr} = \frac{x \cdot n}{\sum_{i=1}^n t_i} \text{ atau } \bar{U}_{sr} = \frac{x}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \quad (2.6)$$

Dimana:

\bar{U}_t = kecepatan rata-rata waktu (km/jam)

\bar{U}_{sr} = kecepatan rata-rata ruang (km/jam)

X = jarak tempuh (km)

t_i = waktu tempuh kendaraan (jam)

n = jumlah kendaraan yang diamati

Kedua jenis kecepatan di atas sangat berguna dalam studi mengenai hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan. Penggunaan rumus di atas dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Contoh perhitungan kecepatan rata-rata waktu dan kecepatan rata-rata ruang (Said, 2004).

No.kendaraan	Jarak (meter) (xi)	Waktu Tempuh (detik) (ti)	Kecepatan (km/jam) xi / ti *(3,6)
1	25	4.3	20.9
2	25	4.6	19.6
3	25	5.5	16.4
4	25	5.8	15.5
5	25	6.5	13.8
	125	36.7	86.2
Rata-rata		26.7/5 = 5.34	86.2/5 = 17.24
$U_t = 17.24 \text{ km/jam}$			
$U_{sr} = (125/26.7)3.6 = 16.8 \text{ km/jam}$			

Disebabkan karena sampel data yang diambil adalah terbatas pada periode waktu tertentu pada suatu titik dan harus mengikutsertakan beberapa kendaraan yang berjalan cepat, akan tetapi pada saat pengambilan data dilaksanakan kendaraan yang berjalan lambat juga harus diikutsertakan. Oleh karena itu, pendekatan antara kecepatan setempat dan dan kecepatan rata-rata ruang digunakan Pers. 2.7 sebagai berikut:

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_{sr} - s^2 / \bar{U}t \quad (2.7)$$

$$S = \frac{\sum(x_i - \bar{x})}{n-1} \quad (2.8)$$

Dimana:

S = deviasi standar dari kecepatan setempat

X = rata-rata

2.2.4 Perhitungan Kerapatan

Kerapatan merupakan parameter yang menjelaskan keadaan lalu lintas dimana terdapat banyaknya jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang ruas tertentu. Nilai kerapatan dapat dihitung jika nilai volume dan kecepatan kendaraan telah diperoleh sebelumnya dengan Pers. 2.9.

$$D = \frac{v}{\bar{U}_{sr}} \quad (2.9)$$

Dimana:

D = kerapatan (smp/km)

V = volume lalu lintas (smp/jam)

\bar{U}_{sr} = kecepatan rata-rata ruang

2.3 Pemodelan Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan

Analisis untuk suatu ruas jalan didasarkan pada hubungan antara ketiga variabel parameter di atas, yaitu volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas dalam keadaan jalan lalu lintas yang ideal. Hubungan tersebut mengikuti definisi dari

kriteria tingkat pelayanan didasarkan pada faktor penyesuaian untuk kendaraan yang tidak sejenis.

2.3.1 Model Linier Menurut *Greenshields*

Pemodelan ini merupakan model paling awal yang tercatat dalam usaha mengamati perilaku lalu lintas. *Greenshields* mengadakan studi pada jalur jalan di kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tanpa gangguan dan bergerak secara bebas (*steady state condition*). *Greenshields* mendapat hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan bersifat linier. Berdasarkan penelitian-penelitian selanjutnya terdapat hubungan yang erat antara model linier dengan keadaan data di lapangan. Hubungan linier antara kecepatan dan kerapatan ini menjadi hubungan yang paling populer dalam tinjauan pergerakan lalu lintas, mengingat fungsi hubungannya adalah yang paling sederhana sehingga mudah diterapkan. Adapun persamaan umum hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan cara regresi linier pada Pers. 2.10 - 2.12.

$$Y = A + Bx \quad (2.10)$$

Dengan nilai:

$$A = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.11)$$

$$B = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (2.12)$$

Dengan diperolehnya persamaan $Y = A + Bx$ maka hubungan antara kecepatan dan kerapatan dapat dirumuskan. Garis hasil persamaan ini akan memotong skala kecepatan pada f dan memotong skala kerapatan pada D_j . Oleh karena itu, persamaan garis yang didapat tersebut dapat dilihat pada Pers. 2.13 sebagai berikut:

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_f - \frac{\bar{U}_f}{D_j} \cdot D \quad (2.13)$$

Dimana:

\bar{U}_{sr} = kecepatan rata-rata ruang

\bar{U}_f = kecepatan rata-rata ruang keadaan arus bebas (free flow)

D_j = kerapatan pada saat macet (jam density)

D = kerapatan

Pada saat kecepatan merupakan kecepatan arus bebas (*free flow*), pengemudi dapat memacu kendaraannya pada kecepatan yang diinginkannya sedangkan pada saat kondisi kerapatan macet (*jam density*), kendaraan tidak dapat bergerak sama sekali atau kondisi kecepatan sangat kecil.

tuk mendapatkan nilai konstanta \bar{U}_f dan D_j , maka Pers. 2.13 diubah menjadi persamaan linier $Y = A + Bx$, dengan memisalkan :

$$Y = \bar{U}_{sr}$$

$$X = D$$

$$A = \bar{U}_f$$

$$B = \frac{\bar{U}_f}{D_j}$$

Hubungan antara volume dan kerapatan diperoleh dari substitusi $sr =$

Ke Pers. 2.13 didapat :

$$V = D \bar{U}_f - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) D^2 \quad (2.14)$$

Hubungan antara volume dan kecepatan diperoleh dari substitusi $D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}}$ ke Pers.

2.13 didapat:

$$V = \bar{U}_{sr} D_j - \left(\frac{\bar{U}_f}{D_j}\right) \bar{U}_{sr}^2 \quad (2.15)$$

Harga volume maksimum dapat dicari dengan menurunkan Pers. 2.14 terhadap kerapatan (D) dan nilai volume maksimum terjadi pada saat nilai kerapatan maksimum yakni pada saat nilai turunan pertama (diferensial ke-1) tersebut sama dengan nol.

Untuk nilai $\frac{\partial V}{\partial D} = 0$ maka :

$$D_m = \frac{D_j \bar{U}_f}{4} \quad (2.16)$$

Nilai D_m disubstitusikan ke dalam Pers. 2.14 dengan kondisi V berubah menjadi V_m dan D menjadi D_m , diperoleh :

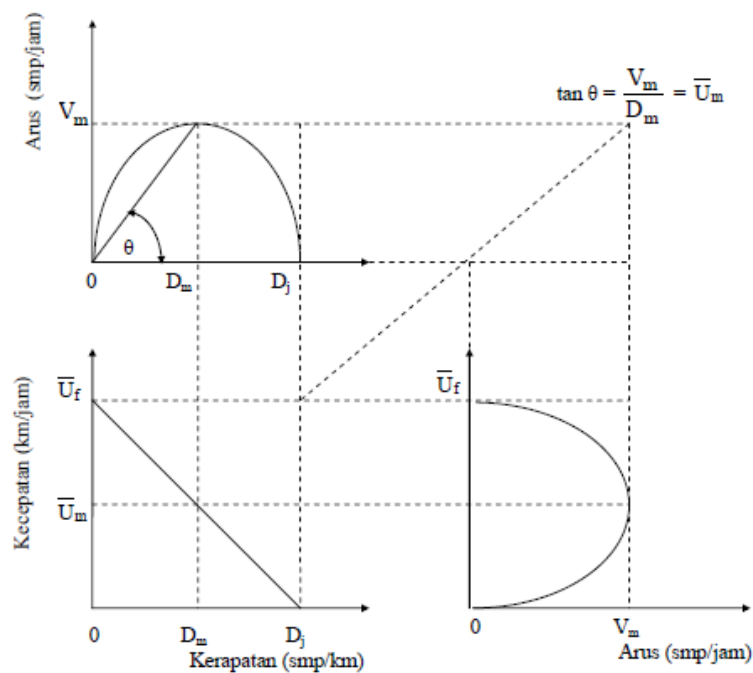
$$V_m = \frac{D_j}{2} \quad (2.17)$$

Dimana:

$V_m =$ Arus maksimum (kend/jam)

$D_m =$ Kerapatan pada saat arus maksimum (kend/km)

Selanjutnya hubungan antara ketiga kecepatan, volume dan kerapatan digambarkan pada Gambar 2.1. Gambar ini menunjukkan bentuk umum hubungan antara volume dengan kecepatan, volume dengan kerapatan dan kecepatan dengan kerapatan. Hubungan antara kecepatan dengan kerapatan adalah monoton ke bawah yang artinya apabila kerapatan naik, maka kecepatan akan turun. Volume menjadi nol ketika kerapatan sangat tinggi sehingga tidak memungkinkan kendaraan untuk bergerak lagi. Ketika kerapatan nilainya nol, maka tidak terdapat kendaraan di jalan sehingga volume juga nol. Antara kedua nilai-nilai ekstrim tersebut dikembangkan hubungan antara kedua parameter tersebut.



Gambar 2.1: Hubungan antara arus, kecepatan dan kerapatan.

Gambar 2.1 menunjukkan beberapa titik penting, yaitu tingkat volume nol terjadi pada dua kondisi berbeda. Pertama, jika tidak ada kendaraan di fasilitas, kerapatan adalah nol dan tingkat arus adalah nol. Secara teoritis, kecepatan pada saat kondisi ini ditentukan oleh pengemudi pertama (diasumsikan pada nilai yang tinggi). Kecepatan ini dinyatakan dalam \bar{U} . Kedua, jika kerapatan menjadi begitu tinggi sehingga semua kendaraan harus berhenti, kecepatan adalah nol dan tingkat arus adalah nol. Karena tidak ada pergerakan dan kendaraan tidak dapat melintas pada suatu titik di potongan jalan. Kerapatan dimana semua kendaraan berhenti disebut kerapatan macet dinyatakan sebagai D_j .

Diantara kedua kondisi ekstrim tersebut, dinamika arus lalu lintas menghasilkan pengaruh maksimum. Dengan meningkatnya arus dari nol, kerapatan juga meningkat karena lebih banyak kendaraan di jalan. Jika hal ini terjadi, kecepatan menurun karena interaksi antar kendaraan. Penurunan ini diabaikan pada kerapatan dan arus rendah dan sedang. Dengan meningkatnya kerapatan, kurva ini menganjurkan bahwa kecepatan menurun cukup berarti sebelum kapasitas dicapai.

Apabila kerapatan naik dari nol, maka arus juga naik. Namun apabila kerapatan terus naik akan dicapai suatu titik dimana akan menyebabkan penurunan kecepatan dan arus. Titik maksimum ini dinamakan kapasitas.

2.4 Tundaan

Tundaan menurut MKJI 1997 disebut sebagai waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melewati suatu simpang dibandingkan pada situasi tanpa simpang. Terdapat dua jenis tundaan yang dapat terjadi didalam arus lalu lintas yaitu:

1. Tundaan tetap.

Tundaan tetap merupakan tundaan yang disebabkan oleh alat-alat pengendali lalu lintas. Tundaan ini seringkali terjadi dipersimpangan-persimpangan jalan. Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi terjadinya tundaan di persimpangan, yaitu:

- Faktor-faktor fisik, yang meliputi jumlah jalur, lebar jalan, pengendali akses menuju jalan tersebut, dan tempat-tempat transit.
- Pengendali lalu lintas, yang meliputi jenis dan pengaturan waktu dari lampu lalu lintas, tanda berhenti, pengendali belokan, dan pengendali parkir.

2. Tundaan Operasional.

Tundaan operasional merupakan tundaan yang disebabkan oleh gangguan antara unsur-unsur didalam arus lalu lintas atau tundaan yang disebabkan oleh adanya pengaruh dari lalu lintas lain. Misalnya : kendaraan yang masuk keluar dari tempat parkir, pejalan kaki atau kendaraan yang berhenti. Namun tundaan operasional dapat juga disebabkan oleh gangguan didalam arus lalu lintas itu sendiri. Misalnya kemacetan akibat volume kendaraan yang lebih besar dibandingkan kapasitas jalan yang ada.

Selain itu ada juga tundaan yang disebabkan oleh pemberhentian (*Stopped delay*) yaitu tundaan yang terjadi pada kendaraan dengan kendaraan tersebut berada dalam kondisi benar-benar berhenti pada kondisi mesin hidup (*stasioner*). Kondisi ini bila berlangsung lama akan mengakibatkan suatu kemacetan lalu lintas (*kongestion*).

Penundaan mencerminkan waktu yang tidak produktif dan bila dinilai dengan uang, maka hal ini menunjukkan jumlah biaya yang harus dibayar masyarakat karena memiliki jalan yang tidak memadai.

Semakin tinggi arus dipersimpangan akan menyebabkan tingkat tundaan yang lebih tinggi dipersimpangan tersebut. Tundaan pada daerah perlintasan sebidang jalan dan jalan rel ini bukan hanya disebabkan oleh penutupan pintu perlintasan, namun juga disebabkan oleh ketidak-rataan oleh alur rel yang melintang terhadap badan jalan dan hal ini juga mengakibatkan tundaan meskipun pintu perlintasan dalam keadaan terbuka, yakni yang dikenal sebagai tundaan geometrik. Berdasarkan definisi diatas dapat diturunkan kedalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$W = W_0 + T \quad (2.18)$$

Dimana:

W = Waktu tempuh total

W_o = Waktu tempuh pada kondisi arus bebas, yang merupakan waktu minimum yang diperlukan untuk melintasi suatu ruas jalan tertentu.

T = Tundaan

Tundaan terdiri atas tundaan lalu lintas (TT) dan tundaan Geometrik(TG), dan secara matematis dapat dinyatakan dengan Pers. 2.19.

$$T = TT + TG \quad (2.19)$$

Dimana:

TT = Tundaan lalu lintas rata-rata

TG = Tundaan geometrik rata-rata

2.5 Antrian

Antrian kendaraan adalah fenomena transportasi yang tampak sehari-hari. Antrian dalam Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997, didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat simpang dan dinyatakan dalam kendaraan atau satuan mobil penumpang. Sedangkan panjang antrian didefinisikan sebagai panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat dan dinyatakan dalam satuan meter. Gerakan kendaraan yang berada dalam antrian akan dikontrol oleh gerakan yang didepannya atau kendaraan tersebut dihentikan oleh komponen lain dari sistem lalu lintas.

Terdapat dua aturan dalam antrian, yaitu *first in first out* (FIFO) dan *last in first out* (LIFO). Dalam analisa pengaruh penutupan pintu perlintasan kereta api digunakan aturan antrian yang pertama, yaitu *first in first out* hal ini disebabkan penyesuaian dengan kenyataan di lapangan dan kondisi pendekat lintasan.

Ketika permintaan melebihi kapasitas untuk suatu periode waktu atau pada suatu waktu antar kedatangan yang lebih rendah dibandingkan dengan waktu pelayanan (pada tingkat mikroskopik) di suatu lokasi tertentu, maka terbentuklah antrian. Antrian bisa berupa antrian yang bergerak (*moving queue*) atau antrian yang berhenti (*stopped queue*). Pada dasarnya kelebihan kendaraan disimpan pada daerah *upstream* dari *bottleneck* atau daerah pelayanan, dan kedatangannya ditunda selama periode waktu berikutnya.

Teknik analisis yang bisa dipakai dalam mempelajari proses antrian, yaitu *shock wave analysis* (Analisa Gelombang kejut). *Shock wave analysis* dapat digunakan ketika proses permintaan-kapasitas adalah *deterministic*, dan terutama cocok untuk evaluasi jarak yang diperlukan untuk proses antrian dan untuk interaksi proses antrian

2.6 Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api

Perlintasan sebidang antara jalan dengan rel kereta merupakan kasus khusus pada suatu ruas jalan raya dengan tanggung jawab untuk pengaturan dan pertimbangan keamanan terbagi pada kepentingan jalan dan jalan rel. Pengemudi kendaraan yang mendekati ke suatu perlintasan harus memiliki pandangan yang tidak terhalang ke jalur masuk yang cukup untuk memungkinkan kontrol terhadap kendaraan. Selain ditinjau dari segi keselamatan, perlintasan juga berdampak terhadap tundaan kendaraan.

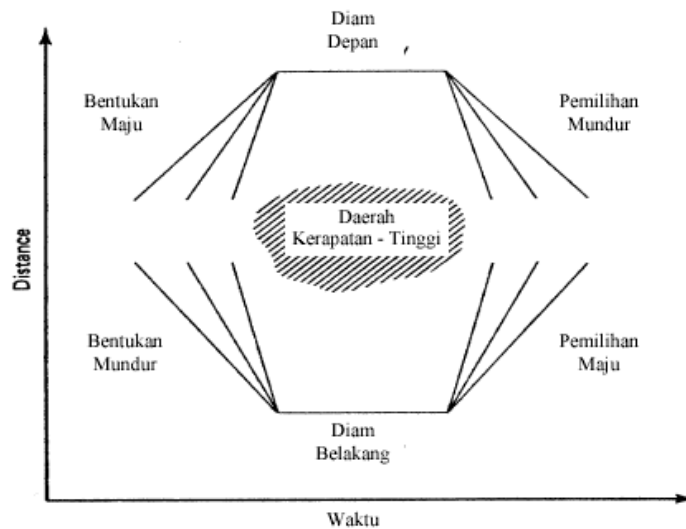
2.7 Gelombang Kejut

Gelombang kejut didefinisikan sebagai gerakan pada arus lalulintas akibat adanya perubahan nilai kerapatan dan arus lalulintas (Soedirdjo, 2002). Gelombang kejut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kerapatan rendah yang diikuti oleh arus dengan kerapatan tinggi, dimana kondisi ini mungkin diakibatkan oleh kecelakaan, pengurangan jumlah lajur, atau jalur masuk ramp. Misalnya saja perilaku lalulintas pada saat memasuki jalan menyempit, pada simpang bersinyal ketika nyala lampu merah, atau pada perlintasan kereta api. Pada perlintasan kereta api, diskontinuitas terjadi saat kereta api melintas (pintu perlintasan ditutup) dan adanya perlambatan sebagai akibat pengurangan kecepatan oleh kendaraan didepannya karena adanya hambatan berupa pengendali kecepatan (*rumble strips*) maupun alur rel (pada saat kondisi perlintasan dibuka).

2.7.1 Klasifikasi Gelombang Kejut

Gelombang kejut dapat didefinisikan menjadi 6 kelas menurut (Soedirdjoe, 2002) yaitu:

1. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary*), terdapat pada lokasi penyempitan jalur (termasuk sinyal lalu lintas) dan menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut arus lalu lintas lebih besar dari kapasitas jalannya. Istilah depan mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian terdepan (pinggir ke arah hilir) dari daerah kemacetan dengan kepadatan yang lebih rendah ke arah hilir dan lebih tinggi ke arah hulu. Istilah diam berarti bahwa gelombang kejut terjadi pada lokasi tersebut dan hal ini tidak akan berpindah lokasinya dengan berubahnya waktu.
2. Gelombang kejut bentukan mundur (*backward forming*), terbentuk apabila terjadi kemacetan dan menunjukkan daerah dalam waktu dan ruang dimana kelebihan arus ditampung. Istilah mundur berarti bahwa dengan berjalannya waktu, gelombang kejut akan bergerak ke belakang (ke arah hulu atau ke arah yang berlawanan dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah bentukan mempunyai implikasi bahwa dengan berjalannya waktu, kemacetan akan semakin meningkat dan berkembang ke arah hulu. Waktu dan ruang daerah asal ke kiri dari gelombang kejut mempunyai kepadatan yang lebih rendah dan ke kanan kepadatannya lebih tinggi.
3. Gelombang kejut pemulihan maju (*forward recovery*), terbentuk seketika terjadi kemacetan sedangkan arus lalu lintas berkurang sehingga berada di bawah kapasitas penyempitannya. Oleh karena itu panjang dari kemacetan dapat dikurangi. Istilah maju berarti bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut bergerak kedepan (ke arah hilir atau ke arah yang sama dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah pemulihan mempunyai implikasi bahwa selama berlangsungnya waktu terdapat kondisi arus lalu lintas bebas (*free-flow*) pada daerah yang semakin jauh ke arah hilir. Waktu ruang ke kiri dari gelombang kejut mempunyai kepadatan yang lebih tinggi dan ke kanan mempunyai kepadatan yang lebih rendah.



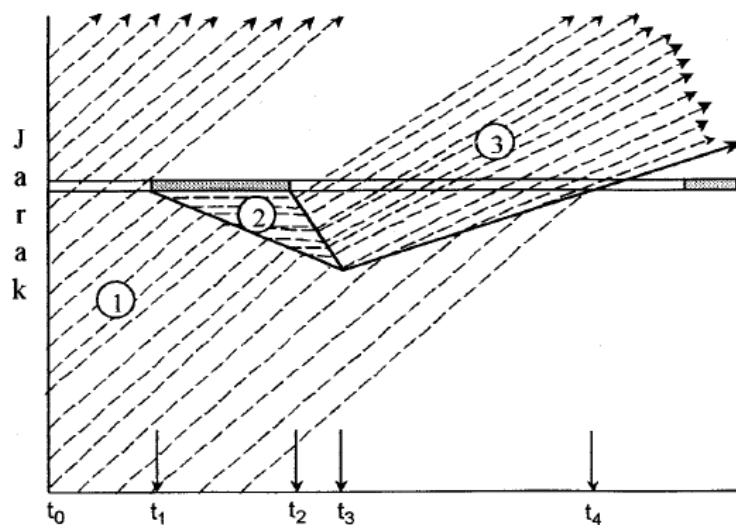
Gambar 2.2: Klasifikasi gelombang kejut (Soedirdjoe, 2002).

4. Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary*), terjadi apabila kedatangan lalu lintas sama dengan kapasitas pada daerah kemacetan untuk selama periode waktu tertentu. Istilah belakang mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian paling belakang atau pinggir ke arah hulu dari daerah kemacetan. Kerapatan lebih tinggi ke arah hilir dan lebih rendah ke arah hulu. Istilah diam berarti bahwa gelombang tidak berpindah lokasinya selama periode waktu tertentu.
5. Gelombang kejut pemulihan mundur (*backward recovery*), terbentuk ketika kemacetan terjadi, tetapi kemudian terjadi peningkatan kapasitas jalannya. Istilah mundur berarti bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut bergerak ke belakang (ke arah hulu atau ke arah yang berlawanan dengan arah gerakan lalu lintas). Istilah pemulihan mempunyai implikasi bahwa selama berlangsungnya waktu, kondisi arus bebas meningkat semakin menjauhi dari daerah awal lokasi kemacetan. Daerah kemacetan berada di sebelah kiri dari gelombang kejut dan keadaan arus bebas berada di sebelah kanannya.
6. Gelombang kejut bentukan maju (*forward forming*), istilah maju mempunyai implikasi bahwa gelombang kejut bergerak dalam arah yang sama dengan arah gerakan lalu lintas, sedangkan istilah bentukan berarti bahwa selama berlangsungnya waktu kemacetan, terjadi peningkatan pada tempat yang

semakin jauh ke arah hilir. Waktu ruang disebelah kiri gelombang kejut mempunyai kerapatan yang lebih rendah dan kekanan kerapatannya lebih tinggi.

Kondisi pada saat pintu perlintasan ditutup dapat digambarkan pada Gambar 2.3 dengan keterangan sebagai berikut (Setiyaningsih, 2007):

1. Kondisi jalan tertutup total. Kondisi ini terjadi saat kereta melintas dan pintu perlintasan ditutup. Akibatnya nilai kerapatan pada kondisi arus yang masuk (volume kebutuhan = *demand*) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet. Kendaraan yang berada didepan kelompoknya mengurangi kecepatannya saat mendekati perlintasan, dan akhirnya berhenti sehingga terbentuk antrian dibelakangnya.
2. Pada saat pintu perlintasan dibuka, kerapatan pada kondisi macet berangsur-angsur kembali sampai pada keadaan dimana kerapatan menuju ke kondisi maksimum.
3. Pada tahap ini kecepatan gelombang kejut 2 (U_{sw2}) akan menyusul kecepatan gelombang kejut 1 (U_{sw1}), dimana kerapatan saat kondisi macet akan hilang dan arus akan kembali pada kondisi normal sebelum adanya penutupan.



Gambar 2.3: Gelombang kejut pada saat kondisi pintu perlintasan ditutup (Said, 2004).

Dimana t_1 adalah saat pintu perlintasan ditutup dan gelombang kejut mundur bentukan terjadi. Selanjutnya t_2 adalah saat pintu dibuka kembali. Sedangkan t_3 adalah saat antrian kendaraan berangsur hilang dan gelombang kejut maju bentukan terjadi.

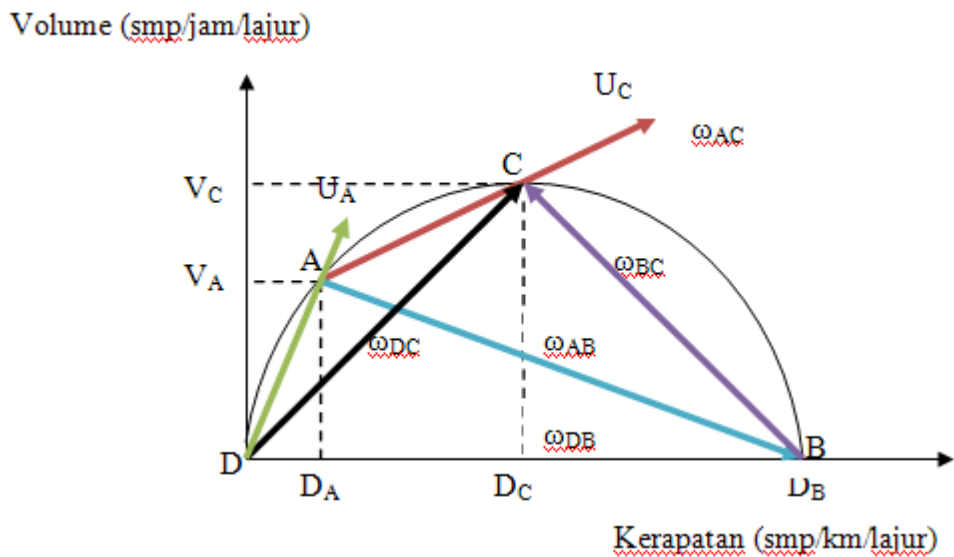
Daerah bertanda 1 mewakili kondisi arus dari kelompok kendaraan tanpa gangguan fasilitas lalulintas dengan kecepatan konstan. Daerah 2 mewakili kelompok kendaraan yang membentuk antrian ketika memasuki daerah persimpangan sebidang jalan dengan jalan rel saat pintu ditutup dan berangsur-angsur hilangnya antrian saat pintu dibuka. Daerah 3 mewakili kondisi arus yang baru pada kondisi setelah kelompok kendaraan melewati daerah perlintasan sebidang jalan dan rel kereta api.

Gelombang kejut pada perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api terjadi pada kondisi pintu perlintasan terbuka dan tertutup. Pada kondisi yang pertama yaitu pada saat penutupan pintu perlintasan ketika ada kereta yang melintas, kendaraan-kendaraan mulai berhenti dan kerapatan bertambah, diskontinuitas terjadi ketika kendaraan bergabung dengan antrian dan pada saat kendaraan mulai bergerak dari bagian depan antrian pada saat pintu perlintasan terbuka. Pada kondisi kedua, pada saat kelompok kendaraan melintasi jalur rel, kendaraan dibagian depan memperlambat kecepatan sehingga terjadi peningkatan kerapatan dan setelah melewati jalur rel, kendaraan menambah kecepatan sehingga kerapatan berkurang.

Diskontinuitas pertama yaitu gelombang kejut mundur bentukan (*backward forming shock wave*), dan diskontinuitas yang kedua yaitu gelombang kejut mundur pemulihan (*backward recovery shock wave*). Gelombang kejut pertama terbentuk, saat pintu perlintasan tertutup dan pada kondisi kedua saat kendaraan yang berada didepan kelompoknya mengurangi kecepatan, sebagai hasil peningkatan kerapatan lalulintas akibat adanya antrian. Selanjutnya ada gelombang kejut diam depan (*frontal stationery shock wave*) yang terjadi pada garis stop selama waktu tertutupnya pintu perlintasan. Istilah depan (*frontal*) digunakan untuk menunjukkan bahwa gelombang kejut berada pada garis

terdepan dari daerah antrian, sedangkan istilah diam (*stationary*) digunakan untuk menunjukkan bahwa gelombang kejut tetap berada pada posisi yang sama.

Tiga gelombang kejut mulai pada saat t_1 di garis henti : ω_{AD} (gelombang kejut bentukan maju), ω_{DB} (gelombang kejut diam depan), dan ω_{AB} (gelombang kejut bentukan mundur). Kecepatan dari ketiga gelombang kejut ini dinyatakan pada diagram Gambar 2.4 dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus- rumus berikut:



Gambar 2.4: Gelombang kejut pada perlintasan kereta api pada saat pintu perlintasan ditutup (Setiyaningsih, 2007).

$$\omega_{DA} = \frac{V_D - V_A}{D_D - D_A} = + \mu_A \quad (2.20)$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_D - V_B}{D_D - D_B} = 0 \quad (2.21)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_A - V_B}{D_A - D_B} = \frac{V_A}{D_B - D_A} \quad (2.22)$$

Dimana :

ω_{DA} = gelombang kejut dari kondisi titik awal D ($V_D= 0$ dan $D_D = 0$) ke titik A (V_A, D_A).

ω_{DB} = gelombang kejut pada saat pintu perlintasan ditutup selama kendaraan berhenti sehingga $V_B = 0$ dan D_B = kerapatan saat macet.

ω_{AB} = gelombang kejut saat nilai kerapatan arus pada kondisi volume kendaraan sama dengan volume kebutuhan ($V=V_A$) berangsur-angsur menjadi kerapatan macet (D_B).

Kondisi arus A,B dan D ini tetap sampai waktu t_2 pada saat pintu perlintasan dibuka. Kondisi arus baru C pada waktu t_2 di garis henti meningkat dari nol sampai arus jenuh. Ini menyebabkan dua gelombang kejut baru, ω_{DC} (gelombang kejut pemulihan maju) dan ω_{BC} (gelombang kejut pemulihan mundur) , sedangkan gelombang kejut akhir adalah ω_{DB} (gelombang kejut diam didepan. Kecepatan dua gelombang kejut baru ini dapat secara grafis dilihat pada Gambar 2.4 dan dihitung dengan Pers. 2.23 dan Pers. 2.24 sebagai berikut:

$$\omega_{DC} = \frac{V_D - V_c}{D_D - D_c} = \mu c \quad (2.23)$$

$$\omega_{BC} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{V_c}{D_B - D_c} \quad (2.24)$$

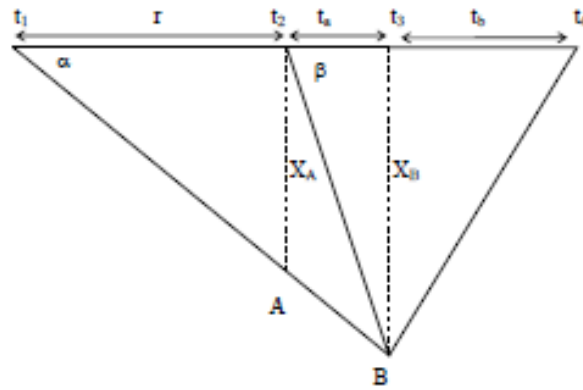
Dimana :

ω_{DC} = gelombang kejut pada saat pintu perlintasan dibuka, kondisi ruas di depan pintu perlintasan dari kondisi arus dan kerapatan nol perlahan bergerak searah dengan lalulintas ke arah hilir sampai pada kondisi titik C (V_C = volume maksimum = kapasitas, D_C = kerapatan maksimum).

ω_{BC} = gelombang kejut dari kendaraan yang mengalami kondisi berhenti saat pintu ditutup mulai bergerak disusul oleh kendaraan dibelakangnya sampai kendaraan terakhir yang tidak mengalami antrian tetapi kecepatannya terpengaruh oleh kecepatan arus di depannya.

Kondisi arus D, C, B, dan A tetap sampai ω_{AB} dan ω_{BC} memotong waktu t_3 . Interval waktu antara t_2 dan t_3 dapat dihitung dengan Pers. 2.25.

$$t_a = r \left[\frac{\omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right] \quad (2.25)$$



Gambar 2.5: Lokasi antrian dan lokasi hilangnya antrian (Setiyaningsih, 2007).

Lokasi antrian dari garis henti pada waktu \$t_2\$ dapat dihitung dengan Pers. 2.26 dan Pers. 2.27.

$$X_A = r \cdot \tan \alpha \quad (2.26)$$

$$\tan \alpha = \frac{V_A}{D_j - D_A} \quad (2.27)$$

Lokasi hilangnya antrian dari garis henti pada waktu \$t_3\$ dapat dihitung dengan rumus pada Pers.2.28 sebagai berikut:

$$X_B = \frac{r}{3600} \left[\frac{\omega_{BC} - \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right] \quad (2.28)$$

Dimana \$r\$ = lamanya waktu penutupan pintu perlintasan = \$t_2 - t_1\$

Respon lalulintas yang tidak bisa bergerak dengan segera begitu pintu perlintasan dibuka mengakibatkan beberapa kendaraan mungkin masih mengalami tundaan walaupun tidak mengalami antrian.

Pada saat \$t_3\$ gelombang kejut gerak maju baru \$\omega_{AC}\$ terbentuk, dan dua gelombang kejut gerak mundur \$\omega_{AB}\$ dan \$\omega_{BC}\$ berakhir. Gelombang kejut \$\omega_{AC}\$ dapat dihitung dengan rumus pada Pers. 2.29 sebagai berikut:

$$\omega_{AC} = \frac{V_A - V_C}{D_A - D_C} \quad (2.29)$$

Kondisi arus \$D\$, \$C\$, dan \$A\$ tetap sampai waktu tertentu sampai pintu perlintasan ditutup kembali, tetapi sebelumnya pada saat waktu \$t_4\$, gelombang kejut bentukan maju \$\omega_{AC}\$ memotong garis henti dan arus di garis henti menurun dari arus maksimum \$V_C\$ menjadi \$V_A\$. Periode waktu dari mulai pintu perlintasan

dibuka sampai tingkat pelepasan garis henti turun dibawah nilai maksimum (t_2 sampai t_4) dapat dihitung dengan Pers. 2.30 sebagai berikut:

$$TB = \frac{r \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \left[\frac{\omega_{BC}}{\omega_{AC}} + 1 \right] \quad (2.30)$$

Jumlah kendaraan yang mengalami antrian :

$$N = (r + t_a) \times VAS \quad (2.31)$$

Tundaan yang terjadi adalah:

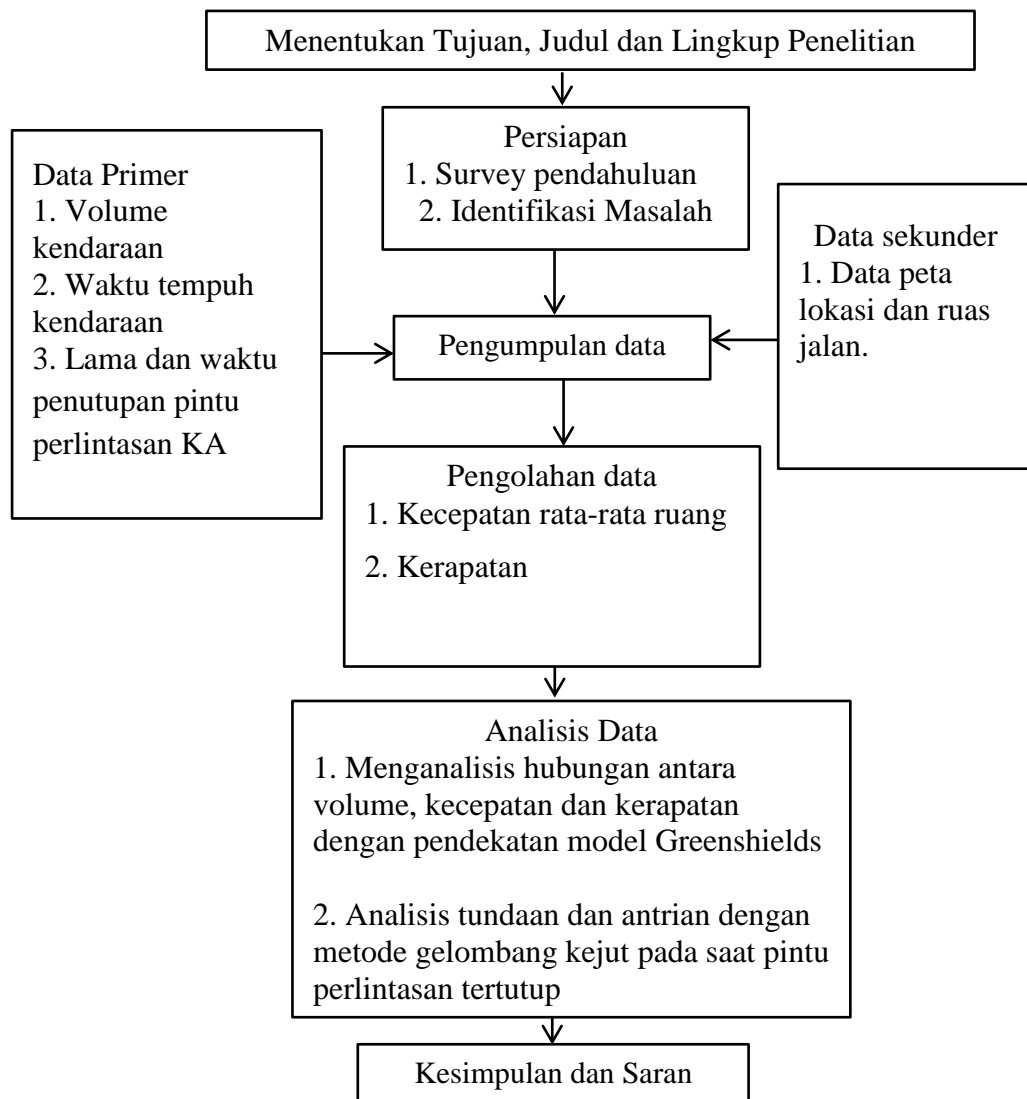
$$T = \frac{1}{2} r + N \quad (2.32)$$

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Pekerjaan

Dalam melakukan kegiatan penelitian diperlukan kerangka kerja yang berisi alur penelitian dari awal sampai dengan diperolehnya suatu kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan. Kerangka kerja penelitian dibuat dalam diagram alir penelitian sebagaimana Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir langkah penelitian.

3.2 Pemilihan Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini yang menjadi lokasi penelitian adalah pada perlintasan sebidang antara Jalan M. T.Haryono Kota Medan dengan jalur kereta api. Adapun alasan pemilihan lokasi penelitian ini adalah:

1. Jenis kendaraan dan jumlah volume yang melewati jalan ini bervariasi.
2. Perlintasan sebidang jalan ini merupakan perlintasan yang dilengkapi dengan pos penjaga, pintu perlintasan, sinyal tanda, dan pembatas/pengendali kecepatan kendaraan (*rumble strips*).

Lokasi pengambilan data adalah pada ruas Jalan M. T.Haryono untuk arah pergerakan lalu lintas dari jalan Palang Merah menuju Jalan M. T. Haryono. Lokasi pengambilan data ini dibagi menjadi dua lokasi pengamatan yaitu Lokasi pengamatan 1 yaitu sejauh 25 m pada ruas yang dianggap belum terpengaruh *rumble strips*, Lokasi pengamatan 2 yaitu 25 m pada saat memasuki *rumble strips*. Dan pengamat berdiri di lokasi di setiap ujung yang ditandai sejauh 25 meter yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.

3.3 Pilot Survey

Sebelum dilaksanakan pengambilan data secara lengkap, perlu dilakukan survey pendahuluan (*pilot survey*) sebagai bahan pertimbangan yang sifatnya peninjauan atau antisipasi untuk langkah-langkah selanjutnya.

- Menaksir keadaan mutu data yang akan diambil.
- Menaksir kebutuhan akan ukuran sampel yang akan diambil.
- Menentukan pembagian periode pengamatan yang dipandang penting.

Pilot survey atau survei pendahuluan dilakukan untuk menunjang pelaksanaan dalam pengumpulan data di lapangan. Survey pendahuluan yaitu survey yang berskala kecil dan sangat penting dilakukan terutama agar survey yang sesungguhnya dapat berjalan dengan efisien dan efektif. Tahap ini dimulai dengan peninjauan lapangan yaitu menyelidiki lokasi yang akan disurvei. Kemudian setelah kesemuanya tersebut di atas telah dipertimbangkan maka dilaksanakanlah survei yang sesungguhnya.

3. 4 Variabel-Variabel yang Diukur

Pada penelitian ini data yang diperlukan dari kondisi di lapangan adalah data volume kendaraan (V) dan waktu tempuh kendaraan untuk melalui suatu penggal jalan tertentu. Dari data waktu tempuh didapatkan besarnya kecepatan rata-rata waktu dan kecepatan rata-rata ruang, sedangkan kerapatan akan dihitung berdasarkan data volume dan kecepatan kendaraan.

Besarnya volume lalu lintas diperoleh dengan mencatat jumlah kendaraan yang melewati suatu titik pengamatan tertentu di lokasi penelitian berdasarkan jenis kendaraannya, kemudian data ini dikonversikan ke dalam satuan mobil penumpang (smp).

Kecepatan setempat kendaraan diukur dengan mencatat waktu tempuh kendaraan untuk melalui suatu jarak tertentu yang telah ditetapkan, dimana kecepatan adalah hasil bagi antara jarak dengan waktu tempuh. Selanjutnya, untuk mendapatkan variabel kerapatan (D) dilakukan dengan membagi jumlah volume dengan kecepatan.

3.5. Pengumpulan Data

3. 5.1 Surveyor dan Peralatan

Selama pelaksanaan pengamatan lalu lintas untuk keperluan tugas akhir ini, maka dibentuk satu tim survei. Sebelum melakukan tugasnya tim ini terlebih dahulu diberi penjelasan bagaimana cara mendapatkan data di lapangan.

Pada tahapan pengumpulan data ini diperlukan alat-alat pendukung seperti :

1. *Stop watch* digital, untuk mencatat waktu tempuh kendaraan yang melewati penggal jalan dan menghitung lamanya waktu pintu perlintasan ditutup.
2. Meteran, untuk mengukur penggal jalan dan geometrik lokasi penelitian.
3. Alat tulis untuk mencatat data.
4. Alat penanda batas pengamatan (lakban).
5. Alat transportasi bagi pengamat.
6. Tabel survey volume lalu lintas, untuk menghitung banyaknya kendaraan yang lewat pada bidang pengamatan berdasarkan jenis kendaraan.

3. 5.2 Periode Pengamatan

Data lalu lintas biasanya berulang mungkin jam-an, harian, atau musiman. Pemilihan waktu survei yang pantas tergantung dari tujuan survei. Untuk menggambarkan kondisi lalu lintas pada jam puncak, maka survei dilakukan selama 7 hari, yaitu hari Senin, Selasa, Rabu, Kamis, Jumat, Sabtu, Minggu mulai dari tanggal 10 Juli 2017 sampai dengan 16 Juli 2017 dan pada jam-jam sibuk seperti pagi hari yang dimulai pada (pukul 07.00 wib s/d 09.00 wib), pada siang hari (pukul 12.00 wib s/d 14.00 wib), pada sore hari dilakukan pada (pukul 16.00 wib s/d 18.00 wib). Survei tidak dilakukan pada saat lalu lintas dipengaruhi oleh kejadian yang tidak biasanya, seperti saat terjadinya kecelakaan lalu lintas, hari libur nasional, perbaikan jalan dan bencana alam.

3.5.3 Pengumpulan Data Primer

Untuk penelitian ini data yang dibutuhkan didapat dari observasi atau pengamatan langsung dilokasi penelitian. Adapun jenis data yang dibutuhkan adalah:

1. Data volume lalulintas

Pengamatan dapat dilakukan secara manual maupun visual dengan alat penghitung manual (*hand counter*) yakni dengan mencatat jumlah kendaraan yang lewat pada suatu titik pengamatan tertentu yang telah ditetapkan sebelumnya setiap interval waktu 15 menit. Jenis kendaraan yang disurvei dibagi dalam tiga golongan yaitu sepeda motor (MC), kendaraan ringan (LV) dan kendaraan berat (HV). Pencatatan dibedakan untuk tiap lokasi periode pengamatan.

2. Data geometrik

Pengambilan data geometrik dilaksanakan dengan mengukur langsung di lapangan. Data-data yang dibutuhkan adalah :

- lebar jalan dan median
- jumlah dan jarak *rumble strips*
- denah lokasi penelitian

3. Data kecepatan

Kecepatan diperoleh dengan membagi jarak tempuh dengan waktu. Data ini didapatkan dengan mencatat waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati jarak tertentu kemudian dibagi dengan panjang jarak tersebut. Pengambilan data kecepatan ini dilakukan untuk semua jenis kendaraan yaitu MC, LV, dan HV. Tata cara untuk pengambilan sampel adalah kendaraan yang paling depan dari suatu peleton diambil sebagai sampel dengan pertimbangan kendaraan kedua dan selanjutnya diperkirakan mempunyai kecepatan yang tidak terlalu besar selisihnya dan kemungkinan tidak dapat menyiap. Tetapi agar lebih teliti maka kendaraan pada posisi tengah dan kendaraan yang paling belakang juga diambil sebagai sampel.

4. Data lama penutupan pintu perlintasan

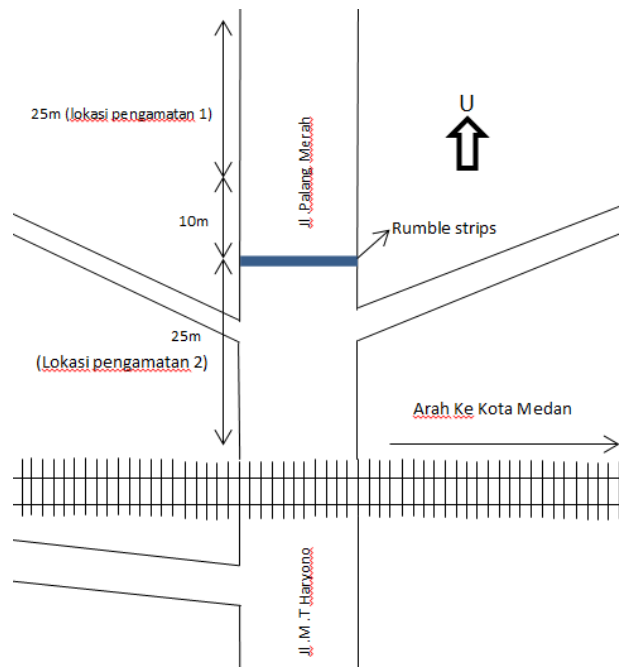
Data ini diperoleh dengan mencatat waktu pintu ditutup 45° sampai pintu dibuka 45° , dari selisih waktu ini kita dapatkan lama pintu perlintasan tersebut ditutup.

5. Perhitungan Tundaan dan antrian dengan Metode Gelombang Kejut

Tundaan akibat penutupan pintu perlintasan dihitung dengan metode gelombang kejut. Parameter yang digunakan dalam perhitungan ini adalah kecepatan, volume kendaraan dan lama waktu penutupan pintu perlintasan. Setelah didapatkan besarnya gelombang kejut, selanjutnya dihitung waktu pertemuan antara gelombang kejut 1 (U_{sw1}) dengan gelombang Kejut 2 (U_{sw2}) yang terjadi dibelakang perlintasan sebidang jalan dengan jalur rel yang disimbolkan dengan t_1 digunakan untuk menghitung panjang jarak dibelakang perlintasan sebidang jalan dan jalan rel dimana kendaraan terakhir mengalami tundaan, yang diberi simbol L dan dinyatakan dalam satuan km. Kemudian dihitung lama waktu yang diperlukan oleh kecepatan Gelombang 3 (U_{sw3}) melewati segmen sepanjang L yang dinyatakan dalam t_2 dalam satuan jam. Waktu yang diperlukan oleh kendaraan untuk kembali ke kondisi normal yaitu t_1 , dan volume lalu lintas digunakan untuk menghitung jumlah kendaraan yang mengalami tundaan. Selanjutnya dari jumlah kendaraan dan data t_1 dan t_2 serta volume kendaraan dapat dihitung besarnya tundaan satu periode waktu penutupan.

6. Menentukan Besar Tundaan Selama Satu Hari

Setelah mendapatkan nilai tundaan pada kondisi pintu tertutup, selanjutnya dihitung besar tundaan yang terjadi selama satu hari. Hal ini dilakukan dengan memperhitungkan jumlah kereta yang melintas selama satu hari dimana dalam penelitian ini diambil waktu efektif 12 jam dan variasi volume per jam. Karena terdapat nilai yang bervariasi dari lama penutupan pintu perlintasan maka diambil satu nilai sebagai unit waktu yakni nilai rata-rata lama penutupan.



Gambar 3.2: Peta lokasi wilayah studi.

BAB 4

ANALISIS DATA

4.1 Data Lalu Lintas

Data volume lalu lintas diperoleh berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan dalam survei pendahuluan dan pengambilan data di lapangan. Dalam bab ini disajikan data-data lalu lintas hasil survei lapangan berupa data jumlah dan waktu tempuh kendaraan. Selanjutnya dilakukan analisis data sehingga akhirnya diperoleh data volume, kecepatan rata-rata ruang dan kerapatan untuk ruas jalan yang diteliti, Data lalu lintas yang diperoleh dari survei lapangan disajikan pada Tabel 4.1.

Table 4.1: Volume lalu lintas selama satu minggu.

No	Hari Dan Tanggal	Kendaraan/Hari
1	Senin, 10juli2017	35066
2	Selasa, 11juli2017	34832
3	Rabu, 12juli2017	33884
4	Kamis, 13juli2017	34486
5	Jumat, 14juli2017	34787
6	Sabtu, 15juli 2017	28600
7	Minggu, 16juli2017	26279

Untuk perhitungan data lalu lintas di ambil yang paling tertinggi pada hari Senin, 10 Juli 2017 dengan total 35066 Kendaraan/Hari, Volume lalu lintas yang ditinjau merupakan lalu lintas yang melewati lokasi pengamatan 1 dan lokasi pengamatan 2, dicatat berdasarkan jenis kendaraan yang terdiri dari *Motor cycle* (MC), *Light Vehicle* (LV) dan *Heavy Vehicle* (HV) dengan interval waktu 15 menit. Data hasil pengamatan merupakan data primer yaitu data yang diperoleh di lapangan pada saat survei sesuai dengan kondisi yang ada, data lalu lintas yang ada pada hari senin dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Volume kendaraan per jam pada hari Senin tanggal 10 Juli 2017.

Waktu	Kend. Berat (HV)		Kend. Ringan (LV)		Sepeda motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1.2		emp = 1		emp = 0,25			
	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/ja	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam
07.00-08.00	19	22.8	2693	2693	3358	839.5	6070	3555.3
08.00-09.00	26	31.2	2447	2447	3143	785.8	5616	3264.0
12.00-13.00	29	34.8	2589	2589	2548	637.0	5166	3260.8
13.00-14.00	35	42	2475	2475	2369	592.3	4879	3109.3
16.00-17.00	53	63.6	3247	3247	3738	934.5	7038	4245.1
17.00-18.00	57	68.4	2718	2718	3522	880.5	6297	3666.9

Kemudian diambil data satu jam maksimum yaitu pada pada jam 16.00 – 17.00 sebagai langkah perhitungan selanjutnya, Data ini kemudian dikonversikan ke dalam satuan mobil penumpang sesuai dengan faktor konversi untuk tiap jenis kendaraan (Tabel 2.3).

Pada lokasi pengamatan 1 pada pukul 16.00-16.15 WIB

$$\begin{aligned}
 Q &= (MC \times EMP \text{ MC}) + (LV \times EMP \text{ LV}) + (HV \times EMP \text{ HV}) \\
 &= (922 \times 0.25) + (773 \times 1) + (11 \times 1.2) \\
 &= 1016.7 \text{ smp/15 menit, data selengkapnya pada Tabel 4.3.}
 \end{aligned}$$

Pada lokasi pengamatan 1 pada pukul 16.00-16.15 WIB

$$\begin{aligned}
 Q &= (MC \times EMP \text{ MC}) + (LV \times EMP \text{ LV}) + (HV \times EMP \text{ HV}) \\
 &= (932 \times 0.25) + (789 \times 1) + (11 \times 1.2) \\
 &= 1035.20 \text{ smp/15 menit, data selengkapnya pada Tabel 4.4.}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3: Volume maksimum pada lokasi pengamatan 1.

Waktu	Kend. berat (HV)		Kend. ringan (LV)		Sepeda motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1.2		emp = 1,2		emp = 0,25			
	kend	smp	kend	smp	kend	smp	kend	smp
16.00-16.15	11	13.2	773	773	922	230.5	1706	1016.7
16.15-16.30	10	12	822	822	981	245.25	1813	1079.3
16.30-16.45	18	21.6	810	810	911	227.75	1739	1059.4

16.45-17.00	14	16.8	842	842	924	231	1780	1089.8
-------------	----	------	-----	-----	-----	-----	------	--------

Tabel 4.4: Volume maksimum pada lokasi pengamatan 2.

Waktu	Kend. ringan (LV)		Kend. berat (HV)		Sepeda motor (MC)		Jumlah Kendaraan	
	emp = 1		emp = 1,2		emp = 0,25			
	kend	smp	kend	smp	kend	smp	kend	smp
16.00-16.15	11	13.2	789	789	932	233	1732	1035.2
16.15-16.30	10	12	841	841	989	247.25	1840	1100.3
16.30-16.45	18	21.6	836	836	912	228	1766	1085.6
16.45-17.00	14	16.8	853	853	925	231.25	1792	1101.1

4.2 Data Kecepatan Ruang Rata-rata Kendaraan

Parameter kecepatan yang digunakan dalam menganalisis hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan lalu lintas adalah kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_{sr}). Kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_{sr}) diperoleh dari hubungan antara kecepatan setempat (\bar{U}_t) dengan standar deviasi (S) dimana $\bar{U}_{sr} = \bar{U}_t - (S^2 / \bar{U}_t)$. Data kecepatan setempat diperoleh dari hasil bagi antara jarak pengamatan yang dilakukan dengan waktu tempuh kendaraan. Data waktu tempuh survei lapangan dilakukan dengan mencatat waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk melewati jarak pengamatan tertentu. Dari survei pendahuluan didapatkan kecepatan rata-rata kendaraan <40 km/jam sehingga berdasarkan Tabel 2.1 panjang lintasan pengamatan yang dianjurkan adalah 25 m.

Diambil dari data hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi Pengamatan 1 interval 15 menit periode waktu 16.00-16.15 WIB dengan jarak pengamatan sebesar 25 meter. Data waktu tempuh (5.82 detik) diubah menjadi kecepatan setempat sehingga diperoleh $\bar{U}_t = (25 \cdot 10^{-3}) / (5.82 \cdot 3.6 \cdot 10^{-3})$ km/jam = 15.46 km/jam. Dengan standar deviasi sebesar 0.635 km/jam, diperoleh $\bar{U}_{sr} = 18.38 - (0.635^2 / 18.38) = 15.44$ km/jam. Data perhitungan kecepatan setempat dan kecepatan rata-rata ruang selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.5 – 4.6.

Berdasarkan data hasil pengamatan dan hasil perbandingan terhadap kecepatan rata-rata ruang dapat dianalisis bahwa pada lokasi pengamatan dimana lokasi berada jauh sebelum perlintasan dan merupakan ruas yang belum terdapat

hambatan, pengemudi masih bisa memilih kecepatannya sesuai dengan keinginan. Rentang kecepatan yang terjadi antara 21.72 km/jam – 22.84 km/jam. Sedangkan pada lokasi pengamatan 2, pengemudi sudah mengalami hambatan karena adanya alat pengendali kecepatan (misalnya *rumble strip*) dan akan memasuki daerah perlintasan kereta api sehingga kecepatan menjadi berkurang. Rentang kecepatan yang terjadi antara 14.68 km/jam – 15.44 km/jam.

Tabel 4.5: Perhitungan kecepatan ruang rata-rata dari hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi pengamatan 1.

No	Waktu		jarak(m)	Waktu Tempuh (Detik)	(x)	(x1)	(x-x1)	(x-x1) ²	s	s ²	kecepatan rata ruang
	16:00	16:15									
1	16:00	16:15	25	3.92	22.96	21.16	1.79	3.22	1.66	2.74	22.84
2	16:15	16:30	25	4.72	19.07	21.16	-2.10	4.39	1.66	2.74	18.92
3	16:30	16:45	25	4.33	20.79	21.16	-0.38	0.14	1.66	2.74	20.65
4	16:45	17:00	25	4.12	21.84	21.16	0.68	0.46	1.66	2.74	21.72
					21.16			2.06			

Tabel 4.6: Perhitungan kecepatan ruang rata-rata dari hasil survei waktu tempuh kendaraan lokasi pengamatan 2.

No	Waktu		jarak(m)	Waktu Tempuh (Detik)	(x)	(x1)	(x-x1)	(x-x1) ²	s	s ²	kecepatan rata ruang
	16:00	16:15									
1	16:00	16:15	25	5.82	15.46	22.96	-7.50	56.18	0.635	0.40	15.44
2	16:15	16:30	25	6.24	14.42	22.96	-8.54	72.87	0.635	0.40	14.40
3	16:30	16:45	25	6.02	14.95	22.96	-8.01	64.14	0.635	0.40	14.92
4	16:45	17:00	25	6.12	14.71	22.96	-8.25	68.12	0.635	0.40	14.68
					14.89			0.146			

4.3 Perhitungan Kerapatan

Setelah diperoleh volume lalu lintas (V) dan kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_{sr}), dapat dihitung besarnya kerapatan yang terjadi yaitu hasil bagi antara volume lalu lintas dengan kecepatan.

Diambil dari data lokasi pengamatan 1 interval 15 menit periode waktu 16.00-16.15 WIB dengan volume lalu lintas (V) = 1016.70 smp/15 menit dan kecepatan rata-rata ruang (\bar{U}_{sr}) = 22.85 km, sehingga diperoleh kerapatan (D) = $(1016.70/22.85)$ smp = 44.48 smp/15 menit.

Data volume lalu lintas, kecepatan dan kerapatan selengkapnya disajikan dalam Tabel 4.7 - 4.8.

Tabel 4.7: Perhitungan volume, kecepatan dan kerapatan lokasi pengamatan 1.

No	Waktu		V (smp/15 menit)	\bar{U}_{sr} (kecepatan rata-rata)	D (kerapatan)	D^2
1	16:00	16:15	1016.70	22.86	44.48	1978.51
2	16:15	16:30	1079.25	18.95	56.97	3245.29
3	16:30	16:45	1059.35	20.67	51.24	2625.96
4	16:45	17:00	1089.80	21.74	50.13	2513.47
	Total		4245.10	84.21	202.83	10363.24

Tabel 4.8: Perhitungan volume, kecepatan dan kerapatan lokasi pengamatan 2.

No	Waktu		v (smp/15 menit)	\bar{U}_{sr} (kecepatan rata-rata)	D (kerapatan)	D^2
1	16:00	16:15	1035.20	15.44	67.06	4496.51
2	16:15	16:30	1100.25	14.40	76.43	5841.87
3	16:30	16:45	1085.60	14.92	72.75	5291.95
4	16:45	17:00	1101.05	14.68	75.01	5626.69
	Total		4322.10	59.43	291.25	21257.02

4.4 Data Waktu dan Lama Penutupan Pintu Perlintasan

Waktu dan lamanya penutupan pintu perlintasan diperoleh dengan melakukan pengamatan selama 1 (satu) hari pada lokasi penelitian, sehingga diketahui kapan saja waktu pintu perlintasan kereta api ditutup (mulai ditutup sampai dibuka kembali). Perhitungan penutupan pintu dimulai saat pintu berada pada posisi 45° dari arah vertikal sampai pintu terbuka 45° dari arah horizontal. Selanjutnya data waktu dan lama penutupan pintu perlintasan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Data waktu dan lama penutupan pintu perlintasan hasil survei.

No	Waktu		Lama Penutupan (Detik)
	Awal	Akhir	
1	7.05.03	7.06.14	71
2	7.26.46	7.27.58	72
3	7.53.25	7.54.33	68
4	8.19.20	8.20.35	75
5	8.44.48	8.45.58	60
6	8.58.11	8.59.43	92
7	9.18.21	9.20.33	72
8	9.23.41	9.24.58	77
9	9.58.40	9.59.58	78
10	10.24.15	10.25.43	88
11	10.29.25	10.30.25	60
12	10.52.50	20.54.00	70
13	11.00.59	11.01.15	76
14	11.12.35	11.13.58	83
15	11.35.25	11.36.35	70
16	11.58.03	11.59.21	76
17	12.12.49	12.14.45	116
18	12.38.40	12.39.44	64
19	12.58.30	12.59.42	72
20	16.10.10	16.12.00	110
21	16.23.10	16.24.20	70
22	16.45.45	16.47.45	120
23	17.06.32	17.08.22	110
24	17.15.10	17.17.50	120
25	17.47.42	17.49.02	80

Dari Tabel 4.9 dapat diketahui bahwa pada periode pengamatan 07:00 –18:00 WIB terdapat 25 kali penutupan pintu perlintasan. Frekuensi penutupan yang tinggi pada saat kondisi volume lalulintas juga tinggi menyebabkan timbulnya kerugian berupa hilangnya waktu akibat tundaan dan antrian. Waktu penutupan yang besar mengakibatkan waktu antrian yang lama yang menimbulkan kerugian waktu dan pencemaran udara dari emisi gas buang kendaraan.

4.5 Hubungan antara Volume Lalulintas, Kecepatan dan Kerapatan

Untuk memperoleh hubungan antara ketiga variabel tersebut, terlebih data mengenai volume, kecepatan dan kerapatan lalulintas yang terjadi untuk kedua arah disusun dalam daftar (Tabel 4.11 sampai 4.12). Selanjutnya hubungan antara Volume Lalulintas (V), kecepatan (\bar{U}_{sr}) dan kerapatan (D) dianalisis dengan menggunakan pemodelan *Greenshield* Perhitungan dilakukan secara regresi linier menggunakan bantuan *Microsoft Excel 2007*. Hitungan yang dianalisis adalah regresi linier antara \bar{U}_{sr} dengan D untuk metode *Greenshield*.

Bentuk persamaan dari metode didekati dengan bentuk persamaan linier, dalam hubungan seperti Pers. 2.11 - 2.12 sehingga didapat nilai y, x, a dan b pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Variabel dan konstanta regresi linier.

Model	y	x	a	b
Greenshild	\bar{U}_{sr}	D	\bar{U}_f	$-\bar{U}_f/D_j$

dimana hubungan antara kecepatan dan kerapatan:

$$\text{Greenshield } \bar{U}_{sr} = \bar{U}_f - (\bar{U}_f/D_j)D$$

Diambil dari data lokasi pengamatan 1 (Tabel 4.7) sebagai berikut:

$$\Sigma D = 202.83$$

$$\Sigma V = 4245.10$$

$$\Sigma \bar{U}_{sr} = 84.21$$

$$\Sigma D^2 = 10363.24$$

$$n = 4$$

- Mencari Nilai a

$$a = \frac{\sum D^2 \cdot \sum \bar{U}_{sr} - \sum D \sum D \cdot \bar{U}_{sr}}{n \sum D^2 - (\sum D)^2} = \frac{10363.24 \cdot 84.21 - 202.83 \cdot 4245.10}{4 \cdot 10363.24 - 202.83^2} = 37.203$$

Mencari Nilai b

$$b = \frac{n \sum D \bar{U}_{sr} - \sum D \bar{U}_{sr}}{n \sum D^2 - (\sum D)^2} = \frac{4 \cdot 4245.10 - 202.83 \cdot 84.21}{4 \cdot 10363.24 - 202.83^2} = -0.3185$$

Hasil olahan dari data regresi linier tersebut akan diperoleh persamaan yang memperlihatkan adanya hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan. Persamaan-persamaan tersebut disajikan dalam Tabel 4.11 untuk masing-masing lokasi pengamatan.

Tabel 4.11: Resume perhitungan regresi linier *Greenshild*.

Lokasi Pengamatan	a	b
1	37.20	-0.3185
2	22.57	-0.1060

Tabel 4.12: Persamaan hubungan antara Kecepatan (\bar{U}_{sr}), Volume V dan Kerapatan D.

Model hubungan	lokasi pengamatan	
	1	2
Kecepatan-Kerapatan	$\bar{U}_{sr} = 37.20 - 0.3185D$	$\bar{U}_{sr} = 22.57 - 0.1060D$
Volume-Kecepatan	$V = 213,035 \bar{U}_{sr} - 9.437 \bar{U}_{sr}^2$	$V = 116.808 \bar{U}_{sr} - 5.174 \bar{U}_{sr}^2$
Volume-Kerapatan	$V = 37.20 - 0.3185D^2$	$V = 22.57 - 0.1060D^2$

4.5.1 Hubungan Antara Kecepatan dan Kerapatan

Kecepatan dengan kerapatan memiliki hubungan yang berbanding terbalik, terlihat bahwa kecepatan akan menurun apabila kerapatan bertambah. Kecepatan volume bebas (f) akan terjadi apabila kerapatan sama dengan nol sedangkan pada saat kecepatan sama dengan nol maka terjadi kerapatan macet (*D/jam density*),

tabel 4.13 menggambarkan bagaimana kecepatan arus bebas dan kerapatan macet pada lokasi pengamatan.

Tabel 4.13: Kecepatan Arus Bebas (U_f) dan Kerapatan Macet (D_j).

lokasi	U_f	D_j
pengamatan 1	37.20	116.808
pengamatan 2	22.57	213.035

4.5.2 Hubungan antara Volume dan Kecepatan

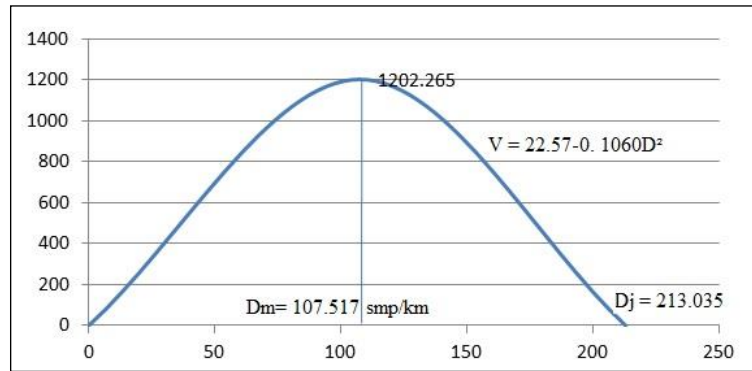
Hubungan mendasar antara volume dan kecepatan adalah dengan bertambahnya volume lalu lintas maka kecepatan rata-rata ruangnya akan berkurang sampai kerapatan kritis (volume maksimum) tercapai.

Tabel 4.14: Nilai volume maksimum.

Persamaan Volume Maksimum	Lokasi Pengamatan	V_m
$V_m = (U_f \cdot D_j) / 4$	1	1086.403
	2	1202.265

4.5.3 Hubungan antara Volume dan Kerapatan

Model *Greenshields* biasa menggambarkan kondisi data yang sesungguhnya. Walaupun nilai volume dan kerapatan maksimum serta kondisi saat macet masih mendekati kondisi sebenarnya, seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1: Hubungan antara volume dan kerapatan.

4.6 Perhitungan Antrian dan Tundaan

Pada kondisi pintu perlintasan ditutup, antrian terjadi karena adanya kendaraan yang tidak terlayani atau disimpan selama periode waktu tertentu yaitu selama pintu perlintasan ditutup. Perhitungan tundaan kondisi pintu tertutup menghasilkan nilai tundaan akibat volume yang terhalang oleh penutupan pintu perlintasan. Pada *Shock Wave Analysis* (analisa gelombang kejut), tundaan rata-rata yang terjadi dipengaruhi oleh lama penutupan dan waktu pelepasan antrian. Hasil perhitungan antrian dan tundaan ditunjukkan dalam Tabel 4.15

Tabel 4.15: Perhitungan antrian dan tundaan pada kondisi pintu perlintasan tertutup dengan analisis gelombang kejut.

NO	Interval Waktu		VA	Vm	DA	DB	DC	Kecepatan Gelombang Keju			r	ta	Xa	Xb	tb	N	Tundaan Rata Rata
								ω AB	ω BC	ω AC							
								(smp/ jam)	(smp/ jam)	(smp/ km)							
20	16.10.10	16.12.00	1035.20	1202.265	67.056	213.035	106.518	1.773	11.287	4.234	110	6.522	780.057	0.0643	132.547	33.506	71.753
21	16.23.10	16.24.20	1100.25	1202.265	76.432	213.035	106.518	2.014	11.287	3.391	70	3.749	563.806	0.0477	86.719	22.539	46.270
22	16.45.45	16.47.45	1085.60	1202.265	72.746	213.035	106.518	1.935	11.287	3.455	120	6.632	928.596	0.0778	147.304	38.187	79.093
23	17.06.32	17.08.22	1101.05	1202.265	75.011	213.035	106.518	1.994	11.287	3.213	110	5.936	877.498	0.0740	135.968	35.459	72.729
24	17.15.10	17.17.50	1005.90	1202.265	73.230	213.035	106.518	1.701	11.287	5.899	120	7.360	863.403	0.0668	143.422	35.586	77.793

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan *Shock Wave Analysis* pada kondisipintu tertutup dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Periode penutupan maksimum, kondisi antrian dan tundaan maksimum:
 - a. kondisi antrian dan tundaan maksimum terjadi pada periode 16.45.45- 16.47.45, dimana menghasilkan waktu pelepasan $t_a = 7$ detik, waktu pemulihan $t_b = 15$ detik, panjang antrian maksimum = 77 meter, jumlah kendaraan antri $N = 39$ smp, serta rata-rata tundaan sebesar 79 detik.
2. Kondisi antrian dan tundaan yang terjadi tergantung pada jumlah kendaraan yang masuk dan durasi penutupan perlintasan. Semakin besar kendaraan yang masuk, semakin lama durasi penutupan menyebabkan waktu dan panjang antrian serta tundaan yang dialami oleh pengemudi semakin besar.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

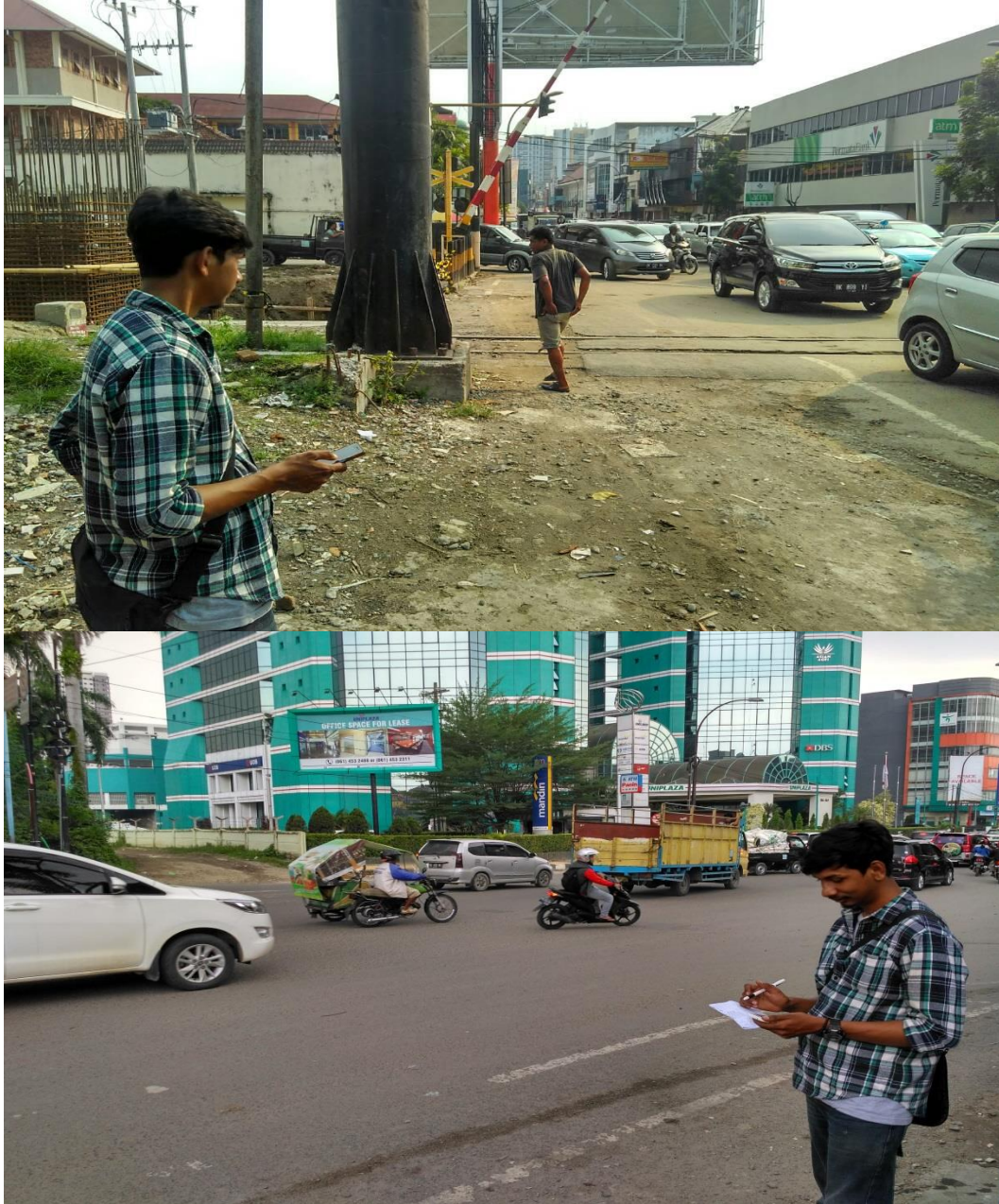
5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan yang dilakukan dapat diketahui bahwa pada lokasi pengamatan 1 pengemudi dapat memilih kecepatannya namun ketika memasuki lokasi pengamatan 2 kecepatan akan menurun karena adanya hambatan lalu lintas dan rambu rambu bahwasannya pengemudi memasuki pelintasan sebidang jalan dengan rel kereta api:
 - Pada lokasi pengamatan 1 (ruas yang belum dipengaruhi *rumble strips* atau rambu-rambu peringatan akan memasuki perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api) nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 37.20 km/jam, nilai kerapatan macet D_j 116.808 dan volume maksimum 1086.403 smp/jam
 - Pada lokasi pengamatan 2 (ruas yang dipengaruhi *rumble strips* atau rambu-rambu peringatan akan memasuki perlintasan sebidang jalan dengan rel kreta api) nilai kecepatan arus bebas \bar{U}_f 22.57 km/jam, nilai kerapatan macet D_j 213.035 dan volume maksimum 1202 smp/jam
2. Berdasarkan hasil analisis tundaan dan antrian dengan metode gelombang kejut diperoleh, yaitu pada priode penutupan pada jam 16.45.45- 16.47.45 merupakan kondisi maksimum dimana menghasilkan waktu panjang antrian maksimum = 77 meter, jumlah kendaraan antri $N = 39$ smp, serta rata-rata tundaan sebesar 79 detik

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, A.A (2008) *Rekayasa Lalulintas*. Malang: UMM Press.
- Amal, A.S, Pudjianto, B., Mujihartono, E, (2002) *Pengaruh Penutupan Pintu Perlintasan Kereta Api Terhadap Tundaan dan Panjang Antrian Kendaraan Pada Jalan Raya Malang- Surabaya KM 10*. Jurnal Pilar. UMM. Malang.
- Anonim. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2007 Tentang Perkeretaapian.
- Anonim. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 72 Tahun 2009 Tentang LaluLintas Dan Angkutan Kereta Api.
- Direktorat Jendral Bina Marga (1997) *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (1997) *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga(1990). *Panduan Survey dan Perhitungan Waktu Perjalanan Lalulintas*.
- Soedirdjoe (2002) *Rekayasa Lalulintas*. Bandung: Penerbit ITB.
- Said (2004) *Kajian Satu Persimpangan Sebidang Jalan Dan Jalan Rel*. Thesis. ITB. Bandung.
- Setyaningsih (2007) *Karakteristik Lalu lintas Pada Persilangan sebidang jalan Dan Jalan Rel*. Thesis. ITB. Bandung.
- Khisty dan Lall (2005) *Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi*. Jilid I. Jakarta: Erlangga.

LAMPIRAN



Gambar L1: Survei lalu lintas.



Gambar L2: Mengukur Lebar Jalan.



Gambar L3: Mengukur panjang lokasi pengamatan.

Tabel L.1: Data survei kendaraan hari Senin.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	4	672	834	
7:15	7:30	5	693	785	
7:30	7:45	4	730	845	
7:45	8:00	6	598	894	
8:00	8:15	8	654	732	
8:15	8:30	6	628	867	
8:30	8:45	7	548	832	
8:45	9:00	5	617	712	
12:00	12:15	10	626	741	
12:15	12:30	5	660	789	
12:30	12:45	7	658	435	
12:45	13:00	7	645	583	
13:00	13:15	8	686	554	
13:15	13:30	7	598	629	
13:30	13:45	11	578	572	
13:45	14:00	9	613	614	
16:00	16:15	11	773	922	
16:15	16:30	10	822	981	
16:30	16:45	18	810	911	
16:45	17:00	14	842	924	
17:00	17:15	17	762	844	
17:15	17:30	10	611	934	
17:30	17:45	13	730	921	
17:45	18:00	17	615	823	
total		219	16169	18678	35066

Tabel L.2: Data survei kendaraan hari Selasa.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	4	644	822	
7:15	7:30	4	632	811	
7:30	7:45	3	698	871	
7:45	8:00	5	623	762	
8:00	8:15	6	711	792	
8:15	8:30	5	632	842	
8:30	8:45	4	651	759	
8:45	9:00	6	556	791	
12:00	12:15	5	612	732	
12:15	12:30	7	589	712	
12:30	12:45	4	624	532	
12:45	13:00	6	671	665	
13:00	13:15	9	642	485	
13:15	13:30	5	558	523	
13:30	13:45	7	643	587	
13:45	14:00	10	611	568	
16:00	16:15	9	666	883	
16:15	16:30	10	752	943	
16:30	16:45	11	783	911	
16:45	17:00	13	823	882	
17:00	17:15	12	793	912	
17:15	17:30	16	711	952	
17:30	17:45	13	751	963	
17:45	18:00	15	689	878	
total		189	16065	18578	34832

Tabel L.3: Data survei kendaraan hari Rabu.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	5	583	832	
7:15	7:30	4	623	842	
7:30	7:45	4	674	822	
7:45	8:00	4	573	811	
8:00	8:15	5	654	732	
8:15	8:30	6	732	743	
8:30	8:45	3	584	832	
8:45	9:00	5	643	722	
12:00	12:15	6	590	782	
12:15	12:30	6	523	742	
12:30	12:45	5	639	672	
12:45	13:00	7	576	631	
13:00	13:15	6	675	582	
13:15	13:30	8	592	511	
13:30	13:45	6	598	529	
13:45	14:00	7	643	541	
16:00	16:15	9	672	943	
16:15	16:30	9	691	912	
16:30	16:45	12	756	835	
16:45	17:00	9	782	893	
17:00	17:15	12	832	932	
17:15	17:30	11	734	841	
17:30	17:45	16	693	963	
17:45	18:00	13	689	993	
total		178	15751	18638	34567

Tabel L.4: Data survei kendaraan hari Kamis.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	3	644	743	
7:15	7:30	5	643	832	
7:30	7:45	4	698	769	
7:45	8:00	7	567	743	
8:00	8:15	5	743	683	
8:15	8:30	5	693	811	
8:30	8:45	7	543	774	
8:45	9:00	6	556	743	
12:00	12:15	6	590	832	
12:15	12:30	4	634	790	
12:30	12:45	9	672	623	
12:45	13:00	5	572	572	
13:00	13:15	7	632	721	
13:15	13:30	5	683	649	
13:30	13:45	7	582	532	
13:45	14:00	13	627	583	
16:00	16:15	6	579	642	
16:15	16:30	4	732	863	
16:30	16:45	11	728	796	
16:45	17:00	13	674	843	
17:00	17:15	12	762	943	
17:15	17:30	16	794	994	
17:30	17:45	15	836	932	
17:45	18:00	17	723	974	
total		192	15907	18387	34486

Tabel L.5: Data survei kendaraan hari Jum'at.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	5	723	852	
7:15	7:30	6	636	963	
7:30	7:45	4	711	882	
7:45	8:00	5	654	784	
8:00	8:15	3	758	795	
8:15	8:30	5	573	838	
8:30	8:45	7	637	749	
8:45	9:00	6	511	723	
12:00	12:15	5	542	822	
12:15	12:30	12	719	856	
12:30	12:45	8	672	739	
12:45	13:00	6	572	643	
13:00	13:15	8	457	671	
13:15	13:30	4	644	712	
13:30	13:45	9	539	511	
13:45	14:00	6	582	568	
16:00	16:15	12	690	843	
16:15	16:30	6	726	743	
16:30	16:45	9	749	794	
16:45	17:00	11	858	863	
17:00	17:15	16	745	763	
17:15	17:30	14	664	962	
17:30	17:45	10	683	946	
17:45	18:00	11	659	873	
total		188	15704	18895	34787

Tabel L.6: Data survei kendaraan hari Sabtu.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	3	483	734	
7:15	7:30	6	583	732	
7:30	7:45	3	672	522	
7:45	8:00	6	511	573	
8:00	8:15	4	448	483	
8:15	8:30	5	623	572	
8:30	8:45	6	722	481	
8:45	9:00	2	521	381	
12:00	12:15	6	532	492	
12:15	12:30	4	593	422	
12:30	12:45	6	560	521	
12:45	13:00	7	537	524	
13:00	13:15	5	522	412	
13:15	13:30	8	672	583	
13:30	13:45	5	549	482	
13:45	14:00	6	574	550	
16:00	16:15	5	694	602	
16:15	16:30	12	673	690	
16:30	16:45	8	732	702	
16:45	17:00	8	639	734	
17:00	17:15	13	622	722	
17:15	17:30	7	692	639	
17:30	17:45	8	711	703	
17:45	18:00	14	689	633	
total		157	14554	13889	28600

Tabel L.7: Data survei kendaraan hari Minggu.

WAKTU		kendaraan berat	kendaraan ringan	speda motor	
7:00	7:15	4	382	682	
7:15	7:30	5	384	720	
7:30	7:45	4	483	529	
7:45	8:00	3	393	518	
8:00	8:15	5	453	492	
8:15	8:30	4	523	592	
8:30	8:45	5	628	522	
8:45	9:00	3	693	532	
12:00	12:15	6	583	472	
12:15	12:30	4	522	493	
12:30	12:45	3	672	449	
12:45	13:00	6	633	480	
13:00	13:15	3	663	583	
13:15	13:30	6	521	492	
13:30	13:45	4	498	380	
13:45	14:00	6	534	392	
16:00	16:15	4	592	490	
16:15	16:30	6	612	463	
16:30	16:45	4	632	583	
16:45	17:00	6	611	582	
17:00	17:15	7	592	592	
17:15	17:30	4	612	528	
17:30	17:45	9	632	623	
17:45	18:00	7	586	538	
total		118	13434	12727	26279



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI PESERTA

Nama Lengkap : Muhammad. Yasir Rahim
Panggilan : Acil
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 28 November 1995
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat Sekarang : Jln. Mawar raya no.12
Nomor KTP : 1271032811950002
Alamat KTP : Jl. Mawar raya lk XIV No 12
No. Telp Rumah : -
No. HP/ Telp.Seluler : 082248301552
E-mail : Muhammad.yasir.rahim@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1207210155
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jln. Kapten Muchtar Basri BA, No.3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD	SD Muhammadiyah 31, Medan, Sumatra Utara	2006
2	SMP	SMP Ar-Rahman Medan, Sumatra Utara	2009
3	SMA	SMK Negeri 9 Medan, Sumatra Utara	2012
4	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2012 sampai dengan selesai		