

**ANALISIS TUNDAAN AKIBAT PERLINTASAN SEBIDANG REL
KERETA API
(STUDI KASUS : JALAN PEMUDA BANDAR LAMPUNG)**

(Skripsi)

**Oleh:
ARSALIA INSYIRAA
1915011028**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS TUNDAAN AKIBAT PERLINTASAN SEBIDANG REL KERETA API (STUDI KASUS : JALAN PEMUDA BANDAR LAMPUNG)

Oleh

ARSALIA INSYIRAA

Perlindungan sebidang rel kereta api yang memotong jalan akan memaksa pengendara untuk menurunkan kecepatan ketika melewati perlindungan dan menaikkan kembali kecepatan kendaraan setelah melewati perlindungan. Kondisi ini dapat dijelaskan menggunakan teori gelombang kejut (*shockwave*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya tundaan yang terjadi pada perlindungan sebidang rel kereta api yang terdapat di Jalan Pemuda, Bandar Lampung menggunakan metode gelombang kejut.

Pada pengamatan siang, saat awal antrian diperoleh kecepatan gelombang kejut ω_a sebesar 6,85 km/jam dan ω_{ab} sebesar -6,69 km/jam. Pada saat arus jenuh dan awal penormalan diperoleh nilai kecepatan gelombang kejut ω_{dc} sebesar 2,61 km/jam dan ω_{cb} sebesar -9,07 km/jam. Lalu pada saat akhir penormalan lajur diperoleh nilai kecepatan gelombang ω_{ac} sebesar 2,72 km/jam. Panjang antrian yang diperoleh yaitu 5,19 meter dengan tundaan sebesar 33,95 detik dan waktu penormalan sebesar 45,98 detik.

Sedangkan pada pengamatan sore, saat awal antrian diperoleh kecepatan gelombang kejut ω_a sebesar 1,23 km/jam dan ω_{ab} sebesar -6,38 km/jam. Pada saat arus jenuh dan awal penormalan diperoleh nilai kecepatan gelombang kejut ω_{dc} sebesar 1,97 km/jam dan ω_{cb} sebesar -7,51 km/jam. Lalu pada saat akhir penormalan lajur diperoleh nilai kecepatan gelombang kejut ω_{ac} sebesar 1,80 km/jam. Panjang antrian yang diperoleh yaitu 8,95 meter dengan tundaan sebesar 54,51 detik dan waktu penormalan sebesar 87,32 detik.

Kata Kunci : Gelombang Kejut, Tundaan, Panjang Antrian, Waktu Penormalan.

ABSTRACT

ANALYSIS OF DELAYS DUE TO RAILWAY CROSSING (CASE STUDY : JALAN PEMUDA BANDAR LAMPUNG)

By

ARSALIA INSYIRAA

A railway crossing that cuts the road will force motorists to lower speed when passing the crossing and increase the speed again afterwards. This condition can be explained using shockwave theory. The purpose of this study was to determine the magnitude of delays that occurred at the railway crossing on Jalan Pemuda, Bandar Lampung using the shockwave method.

At noon observation, at the beginning of the queue, the shockwave speed of ω_{da} was 6,85 km/h and ω_{ab} was -6,69 km/h. At the of normalization, the shockwave speed of ω_{dc} was 2,61 km/h and ω_{cb} was -9,07 km/h. Then at the end of normalization, a shockwave speed of ω_{ac} was 2,72 km/h. The queue length obtained was 5,19 meters with a delay of 33,95 seconds and a normalization time of 45,98 seconds.

While in the afternoon observation, at the beginning of the queue, the shockwave speed of ω_{da} was 1,23 km/h and ω_{ab} was -6,38 km/h. At the beginning of normalization, the shock wave speed of ω_{dc} was 1,97 km/h and ω_{cb} is -7,51 km/h. Then at the end of normalization, a shockwave speed of ω_{ac} was 1,80 km/h. The queue length obtained was 8,95 meters with a delay of 54,51 seconds and a normalization time of 87,32 seconds.

Keywords: Shockwave, delay, queue length, normalization time.

**ANALISIS TUNDAAN AKIBAT PERLINTASAN SEBIDANG REL
KERETA API
(STUDI KASUS : JALAN PEMUDA BANDAR LAMPUNG)**

Oleh

ARSALIA INSYIRAA

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi

: **ANALISIS TUNDAAN AKIBAT PERLINTASAN
SEBIDANG REL KERETA API (STUDI KASUS :
JALAN PEMUDA BANDAR LAMPUNG)**

Nama Mahasiswa

: **Arsalia Insyiraa**

Nomor Pokok Mahasiswa

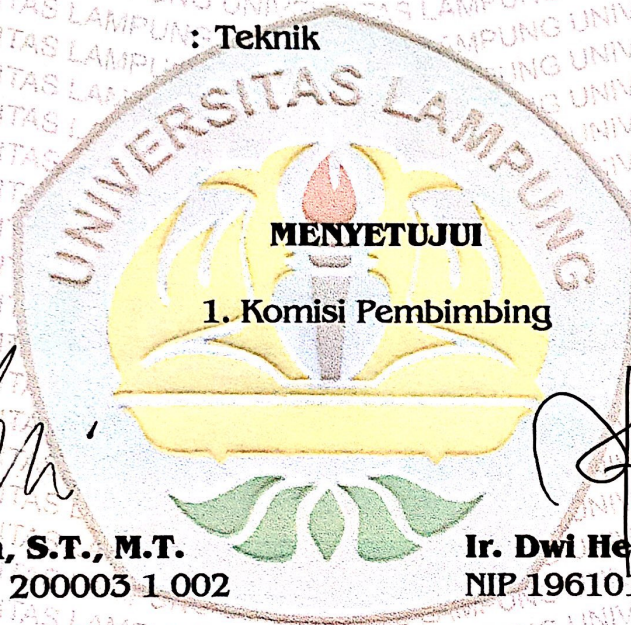
: **1915011028**

Program Studi

: **Teknik Sipil**

Fakultas

: **Teknik**



Sasana Putra, S.T., M.T.

NIP 19691111 200003 1 002

Ir. Dwi Herianto, M.T.

NIP 19610102 198803 1 003

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP 19720829 199802 1 001

Ir. Laksmi Irianti, M.T.

NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Sasana Putra, S.T., M.T.

Sekretaris : Ir. Dwi Herianto, M.T.

**Penguji
Bukan Pembimbing : Ir. Siti Anugrah Mulya P.O., S.T., M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 8 Desember 2023

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aرساليا Insyiraa
NPM : 1915011028
Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil
Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul “*Analisis Tundaan Akibat Perlintasan Sebidang Rel Kereta Api (Studi Kasus : Jalan Pemuda Bandar Lampung)*” tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka. Ide penelitian didapat dari saya dan Pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Bapak Sasana Putra, S.T., M.T.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 8 Desember 2023



Aرساليا Insyiraa

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Arsalia Insyiraa. Penulis dilahirkan di Kota Bandar Lampung pada tanggal 16 Januari 2001, anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sahril Paison, S.H., M.H. dan Ibu Afrilia Suhaimi.

Penulis memulai jenjang pendidikan dari Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Negeri 1 Sumberjaya, Lampung Barat yang diselesaikan pada tahun 2007, Sekolah Dasar di SD Al Muttaqien Surabaya yang diselesaikan pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Sumberjaya yang diselesaikan pada tahun 2016, dan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2019 melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Sipil, penulis telah melaksanakan Kerja Praktik di PT. Bumi Lampung Persada pada Proyek Preservasi Jalan dan Jembatan Ruas Sp. Sugih Waras – Bts. Kota Baturaja – Martapura – Bts. Lampung, bulan Mei – Agustus. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Tanjung Agung Raya Bandar Lampung, Kecamatan Kedamaian, Kota Bandar Lampung selama 40 hari pada periode I tahun 2020. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dan pernah menjadi anggota Departemen Kaderisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung periode 2020/2021 dan periode 2021/2022.

Selanjutnya, penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi pada tahun 2023, dengan judul skripsi Analisis Tundaan Akibat Perlintasan Sebidang Rel Kereta Api (Studi Kasus : Jalan Pemuda Bandar Lampung).

MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Q.S. Al – Insyirah: 6)

“Iman tanpa ilmu bagaikan lentera di tangan bayi. Namun ilmu tanpa iman,
bagaikan lentera di tangan pencuri.”

(Buya Hamka)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamduillahirabbil'alamiin telah engkau ridhoi Ya Allah langkah hambaMu,
sehingga skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan pada waktunya.

Teriring shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW Semoga kelak
skripsi ini dapat memberikan ilmu yang bermanfaat

Ibu, Abi, serta Adik – Adikku tercinta yang selalu mendukung dalam hal apapun,
mengarahkan, mendoakan dan memberi semangat yang tak terhingga kepadaku

Dosen Pembimbing dan Penguji yang sangat berjasa. Selalu memberikan ilmu
baru dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini

Para Sahabat yang selalu memberikan dukungan dan doa kepada penulis agar
dapat menyelesaikan skripsi ini

Almamaterku Universitas Lampung

SANWACANA

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayahNya sehingga penulis diberikan kemampuan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Tundaan Akibat Perlintasan Sebidang Rel Kereta Api (Studi Kasus : Jalan Pemuda Bandar Lampung)”.

Dalam kesempatan ini, penulis hendak mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang selalu mengajarkan, memberikan arahan dan masukan kepada penulis dari awal hingga skripsi ini selesai.
5. Bapak Ir. Dwi Herianto, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan arahan dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Ibu Ir. Siti Anugrah Mulya Putri Ofrial, S.T., M.T., selaku dosen Penguji yang telah memberikan banyak masukan dan arahan dalam memaksimalkan skripsi ini.
7. Bapak Riki Chandra Wijaya, S.Pd., M.T., selaku Dosen Pembimbing Akademik.
8. Seluruh dosen Program Studi S1 Teknik Sipil yang telah memberikan banyak sekali ilmu baik ilmu akademik maupun ilmu kehidupan selama masa perkuliahan.
9. Seluruh staff dan karyawan Program Studi S1 Teknik Sipil atas segala bantuannya dalam hal administrasi.
10. Kedua orangtua yang kucintai dan banggakan, Sahril Paison, S.H., M.H., dan Afrilia Suhaimi yang selalu mendukung dalam hal moril, materil, dan

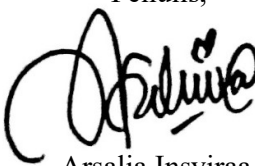
mendoakan yang terbaik. Terima kasih karena sudah bersabar dan memberikan kepercayaan kepada penulis.

11. Kinan, Ayu, Laila, Eno, dan Miranda yang memberikan dukungan penuh dan selalu membantu penulis.
12. Alfido Rafif Hapis yang telah memberikan dukungan penuh mulai dari tengah sampai akhir penyelesaian skripsi ini.
13. Rekan penelitian penulis, Mita Antika Johani, atas kerja sama dan kebersamaan selama ini, juga yang selalu menjadi tempat diskusi penulis selama penyelesaian skripsi ini.
14. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung Angkatan 2019 yang telah memberi warna dalam kehidupan perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Besar harapan penulis agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, Desember 2023

Penulis,



Arsalia Insyiraa

DAFTAR ISI

	Hal
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Perlintasan Sebidang Rel Kereta Api dengan Jalan Raya.....	4
2.2 Karakteristik Arus Lalu Lintas	5
2.2.1 Arus dan Volume Lalu Lintas.....	6
2.2.2 Kecepatan (<i>Speed</i>).....	8
2.2.3 Kerapatan (<i>Density</i>).....	10
2.3 Ekuivalensi Kendaraan Ringan	11
2.4 Hubungan Antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan	12
2.4.1 Hubungan Antara Volume dan Kecepatan	14
2.4.2 Hubungan Antara Kecepatan dan Kerapatan	14
2.4.3 Hubungan Antara Volume dan Kerapatan.....	15
2.5 Tundaan.....	16
2.6 <i>Greenshield</i>	17
2.7 <i>Greenberg</i>	18
2.8 <i>Underwood</i>	19
2.9 Gelombang Kejut.....	20

2.10 Penelitian Terdahulu yang Berkaitan dengan Tundaan Pada Perlintasan Sebidang Rel Kereta Api.....	27
---	----

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian	34
3.2 Waktu Penelitian.....	35
3.3 Teknik Pelaksanaan Survei	35
3.4 Teknik Pengambilan Data	37
3.5 Analisis dan Pengolahan Data	39
3.6 Diagram Alir Penelitian	41

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Penelitian	42
4.2 Parameter Karakteristik Lalu Lintas	42
4.2.1 Analisis Volume Lalu Lintas	43
4.2.2 Kecepatan Lalu Lintas	45
4.3 Model Hubungan Antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas dengan menggunakan model terbaik antara <i>Greenshields</i> , <i>Greenberg</i> , dan <i>Underwood</i>	46
4.3.1 Model <i>Greenshields</i>	47
4.3.2 Model <i>Greenberg</i>	48
4.3.3 Model <i>Underwood</i>	49
4.4 Nilai Gelombang Kejut	52

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	60
5.2 Saran	61

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1. Kerangka Dasar Karakteristik Lalu Lintas	6
Tabel 2.2. Ekvivalen Kendaraan Ringan Untuk Tipe Jalan 2/2TT	12
Tabel 2.3. Rangkuman Persamaan yang Dihasilkan Model <i>Greenshield</i>	17
Tabel 2.4. Penelitian Terdahulu.....	28
Tabel 3.1. Format Pencatatan Volume Lalu Lintas	37
Tabel 4.1. Data Volume Lalu Lintas Siang Arah Ramayana – Chandra.....	41
Tabel 4.2. Contoh Data Kecepatan Lalu Lintas Siang Hari Arah Ramayana – Chandra Pukul 12.00 – 12.05.....	44
Tabel 4.3. Nilai R^2 Pada Masing-Masing Model	48
Tabel 4.4. Contoh Perhitungan Data Regresi untuk Model Greenberg (Siang Arah Ramayana – Chandra) Pukul 12.00 – 12.05	49
Tabel 4.5. Perhitungan Nilai Gelombang Kejut (Siang Arah Ramayana – Chandra)	53
Tabel 4.6. Panjang Antrian dan Waktu Penormalan Hasil Perhitungan (Siang Arah Ramayana – Chandra)	54
Tabel 4.7. Rekapitulasi Nilai Gelombang Kejut dan Tundaan Rata-rata	57

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1. Hubungan matematis antara kecepatan, arus/volume, dan kepadatan	13
Gambar 2.2. Hubungan volume dan kecepatan.....	14
Gambar 2.3. Hubungan kecepatan dan kerapatan	15
Gambar 2.4. Hubungan volume dan kerapatan	15
Gambar 2.5. Klasifikasi gelombang kejut.....	21
Gambar 2.6. Kurva gelombang kejut.....	23
Gambar 2.7. Gelombang kejut (<i>shockwave</i>) pada jalan dengan hambatan bergerak	26
Gambar 3.1. Peta lokasi	33
Gambar 3.2. Lokasi penelitian	34
Gambar 3.3. Skema pembagian segmen jalan.....	35
Gambar 3.4. Gelombang kejut pada kondisi palang pintu perlintasan terbuka..	38
Gambar 3.5. Diagram alir penelitian	39
Gambar 4.1. Grafik lalu lintas siang hari.....	42
Gambar 4.2. Grafik lalu lintas sore hari.....	43
Gambar 4.3. Hubungan V-D-S Model <i>Greenshields</i>	45
Gambar 4.4. Hubungan V-D-S Model <i>Greenberg</i>	46
Gambar 4.5. Hubungan V-D-S Model <i>Underwood</i>	47
Gambar 4.6. Grafik jarak dan waktu pengamatan siang.....	55
Gambar 4.7. Grafik jarak dan waktu pengamatan sore.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Jalan Pemuda Bandar Lampung merupakan salah satu jalan kota yang termasuk ke dalam jenis jaringan jalan kolektor sekunder yang merupakan penghubung permukiman dengan pusat Kota Bandar Lampung. Berdasarkan data yang diperoleh dari Korlantas Polri, jumlah kendaraan yang ada di Bandar Lampung terdiri dari mobil penampung yang berjumlah 150.310 buah, bus sejumlah 1.654 kendaraan, mobil beban sejumlah 64.515 kendaraan, sepeda motor sejumlah 728.204 kendaraan, dan kendaraan khusus berjumlah 792 kendaraan. Dengan banyaknya kendaraan tersebut menjadikan kota Bandar Lampung menjadi salah satu kota dengan tingkat kemacetan sedang hingga tinggi. Kemacetan tersebut juga didukung dengan masalah sistem jaringan jalan raya lainnya, yaitu tundaan dan antrean yang terjadi akibat perlintasan kereta api.

Jalan Pemuda dikenal sebagai pusat pertokoan dan perbelanjaan. Jalan ini ramai dilewati kendaraan dan kerap menimbulkan kemacetan terutama pada jam sibuk. Penyebab kemacetan lainnya yaitu terdapat perlintasan sebidang rel kereta api yang memotong jalan tersebut, sehingga ketika melewati jalan ini pengendara harus menurunkan kecepatan ketika melewati perlintasan dan menaikkan kembali kecepatan kendaraan setelah melewati perlintasan. Kondisi ini dapat dijelaskan menggunakan teori gelombang kejut (*shockwave*).

Menurut Soedirdjo (2002), gelombang kejut didefinisikan sebagai suatu gerakan arus lalu lintas yang terjadi akibat adanya perubahan nilai arus dan

kerapatan lalu lintas. Dalam kasus ini yang mengakibatkan terjadinya perubahan nilai arus dan kerapatan adalah hambatan oleh perlintasan sebidang rel kereta api. Gelombang kejut ini juga menyebabkan terjadinya tundaan. Oleh sebab itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian guna mengetahui besarnya gelombang kejut dan tundaan yang terjadi pada perlintasan sebidang rel kereta api yang terdapat di Jalan Pemuda, Bandar Lampung.

1.2.Rumusan Masalah

Geometri perlintasan sebidang rel kereta api yang memotong Jalan Pemuda akan memaksa kendaraan untuk menurunkan kecepatan sehingga otomatis akan menyebabkan terjadinya gelombang kejut dan tundaan di area tersebut.

1.3.Batasan Masalah

Dengan mempertimbangkan luasnya permasalahan yang timbul dalam penelitian, serta keterbatasan waktu, tenaga dan biaya, maka perlu adanya batasan masalah dalam penelitian untuk memperjelas dalam menganalisa permasalahan. Untuk itu penulis memberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada jalan yang dilewati perlintasan sebidang kereta api yaitu di Jalan Pemuda, Bandar Lampung.
2. Waktu pengambilan data dilakukan pada hari kerja, yaitu pada pukul 12.00 – 13.00 dan 16.00 – 17.00 WIB.
3. Penelitian dilakukan pada saat palang pintu terbuka ketika kereta tidak sedang melintas.
4. Data yang digunakan adalah data primer yang diperoleh dari pengamatan secara langsung di lokasi penelitian.
5. Pengambilan data menggunakan rekaman video.

1.4.Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis tundaan yang terjadi akibat adanya perlintasan sebidang jalan dengan rel kereta api pada Jalan Pemuda menggunakan metode gelombang kejut (*shockwave*).

1.5.Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mengetahui besarnya nilai tundaan akibat adanya perlintasan sebidang yang memotong Jalan Pemuda Bandar Lampung.
2. Memberikan pemahaman dan wawasan mengenai pengaruh perlintasan sebidang rel kereta api yang memotong jalan terhadap arus lalu lintas.
3. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan tundaan dan panjang antrean kendaraan khususnya di daerah perlintasan kereta api.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perlintasan Sebidang Rel Kereta Api dengan Jalan Raya

Di Indonesia pertemuan jalan sebidang antara jalan kereta api dengan jalan raya dikenal dengan perlintasan. Pada perlintasan yang memiliki frekuensi yang rendah biasanya untuk alasan keamanan bagi masing-masing lalu lintas, maka lintasan dilengkapi dengan rambu “*stop*” ataupun “*cross bugs*”. Akan tetapi pada saat volume arus menjadi besar antara lalu lintas yang masuk dan yang keluar dari lintasan tersebut maka pemasangan sistem kontrol menjadi sangat diperlukan (Marpaung, 2019).

Menurut Arsyad (2017) lintasan kereta api yang memotong jalan raya melibatkan beberapa elemen pengontrol untuk keamanan, yaitu: rambu-rambu, lampu sinyal otomatis, gerbang kereta api otomatis / tidak. Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk mendesain lintasan kereta api:

1. Sudut

Untuk mengurangi titik rawan kecelakaan, sudut sebaiknya tidak lebih dari 45°.

2. Gerbang

Panjang gerbang dan titik pusat gerbang harus sama dengan pengilangan sepanjang jalan raya secara normal (tegak lurus).

3. Jarak Pandang

Jarak pandang minimal 50 meter (kanan dan kiri) disesuaikan dengan keadaan jalan dan keperluan.

4. Rambu – Rambu Peringatan

Rambu – rambu peringatan harus terlihat dari jauh, sehingga pengendara mengetahui bila akan mendekati perlintasan.

Perlintasan sebidang jalan dan jalan rel kereta api selain dilihat dari segi keselamatan, juga yang tidak kalah pentingnya adalah dampaknya terhadap tundaan kendaraan. Menurut Setyaningsih (2007) Tundaan yang terjadi pada perpotongan sebidang antara jalan raya dan jalan rel kereta api dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Pengoperasian kereta api yang meliputi kecepatan, panjang kereta, dan frekuensi kereta yang melintas dalam sehari.
2. Pengoperasian jalan termasuk kecepatan kendaraan dan tingkat kepadatan lalu lintas.
3. Kondisi geometrik jalan, yang meliputi lebar jalan, jumlah lajur, dan keberadaan pemisah arus, keberadaan rumble strips, dan lintasan.

Masalah yang kemudian muncul adalah jika volume kendaraan yang ada pada daerah perlintasan begitu besar, maka akan menimbulkan tundaan dan panjang antrean yang signifikan. Hal ini dapat menjadi pemicu munculnya gangguan transportasi lain seperti kecelakaan, peningkatan biaya operasional kendaraan dan penurunan kualitas lingkungan.

2.2. Karakteristik Arus Lalu Lintas

Arus lalu lintas merupakan interaksi yang unik antara pengemudi, kendaraan, dan jalan. Arus lalu lintas pada jalan dengan pengaturan yang menyebabkan kendaraan harus berhenti secara periodik disebut arus terganggu (*Interrupted Flow*), salah satu contoh arus lalu lintas terganggu yaitu adanya perlintasan dengan jalan kereta api. Adanya gangguan ini dapat menyebabkan timbulnya tundaan (*delay*) dan antrean kendaraan yang panjang terutama pada saat volume kendaraan pada pendekatan lintasan semakin besar (Alamsyah, 2005).

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

Tabel 2.1. Kerangka Dasar Karakteristik Lalu Lintas

Karakteristik Lalu Lintas	Mikroskopik	Makroskopik
Arus	Waktu Antara (<i>Time Headway</i>)	Tingkat Arus
Kecepatan	Kecepatan Individu	Kecepatan Rata – Rata
Kerapatan	Jarak Antara (<i>Distance Headway</i>)	Tingkat Kerapatan

Sumber : Soedirdjo, 2002

Terdapat 3 karakteristik yang menggambarkan kualitas tingkat pelayanan yang dialami oleh pengemudi kendaraan. Karakteristik yang terkait dengan arus lalu lintas merupakan volume, kecepatan (*speed*), dan kerapatan (*density*).

2.2.1. Arus dan Volume Lalu Lintas

Arus Lalu lintas adalah jumlah kendaraan dalam satuan mobil penumpang (smp) atau dalam PKJI 2014 disebut ekuivalen kendaraan ringan (ekr) yang melalui suatu potongan melintang jalan dalam satuan waktu tertentu. Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI, 2014) arus lalu lintas disebut sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melewati satu titik pada suatu penggal jalan per satuan waktu yang dinyatakan dalam satuan kend/jam (Q_{kend}), atau skr/jam (Q_{skr}), atau akr/hari (LHRT). Arus lalu lintas pada sebidang jalan karakteristiknya akan bervariasi menurut lokasi dan waktunya.

Sedangkan volume adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik per satuan waktu (Alamsyah, 2008). Volume umumnya dihitung dalam

kendaraan/hari atau kendaraan/jam. Volume juga dapat dinyatakan dalam periode waktu yang lain. Volume lalu lintas biasanya rendah pada malam hari tetapi meningkat dengan cepat ketika orang mulai pergi ke tempat kerja. Volume jam sibuk umumnya terjadi di jalan perkotaan pada saat orang-orang pergi dan pulang kerja atau sekolah. Lebih sulit untuk memperkirakan volume jam sibuk pada jalan antar-kota. Menurut (Soedirdjo, 2002), Pembahasan mengenai volume lalu lintas dibagi menjadi 3 (tiga), yaitu:

1. Volume harian (*Daily Volume*)

Volume harian memiliki 4 parameter utama, yaitu:

- a. Lalu lintas harian rata-rata tahunan (LHRT) atau *average annual daily traffic* (AADT) adalah rata-rata volume lalu lintas 24 jam disuatu tempat selama 365 hari, merupakan jumlah keseluruhan kendaraan yang melintasi lokasi tersebut dalam satu tahun, kemudian dibagi 365.
- b. Lalu lintas hari kerja rata-rata tahunan (LHKRT) atau *average annual weekday traffic* (AAWT) adalah rata-rata volume lalu lintas 24 jam yang terjadi pada hari kerja selama satu tahun.
- c. Lalu lintas harian rata-rata (LHR) atau *average daily traffic* (ADT) adalah rata-rata volume lalu lintas 24 jam disuatu tempat untuk periode waktu kurang dari satu tahun. Sedangkan AADT dihitung selama satu tahun.
- d. Lalu lintas hari kerja rata-rata (LHKR) atau *average weekday traffic* (AWT) adalah rata-rata volume lalu lintas 24 jam yang terjadi pada hari kerja selama periode kurang dari satu tahun, seperti selama satu bulan atau satu periode.

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

Volume jam-an adalah pengamatan arus lalu lintas untuk menentukan waktu puncak pada siang dan sore hari yang biasanya ramai akibat orang pergi dan pulang bekerja. Dari pengamatan

tersebut dapat diketahui bahwa arus yang paling besar yang dikenal dengan istilah jam puncak.

Perhitungan arus lalu lintas dapat dilakukan persatuan jam untuk satu arah atau lebih periode, misalkan didasarkan pada kondisi arus lalu lintas rencana jam puncak siang, siang dan sore. Pada kenyataannya, arus lalu lintas tidak selalu sama setiap saat. Variasi yang terjadi selama satu jam dinyatakan dalam faktor jam puncak (*Peak Hour Factor* / PHF), yaitu merupakan perbandingan antara volume arus lalu lintas jam puncak dengan 4 kali *rate of flow*/15 menit volume arus lalu lintas tertinggi pada jam yang sama (jam puncak), seperti persamaan 2.1 berikut.

$$PHF = \frac{v}{4 \times v_{15} \text{ (peak rate factor of flow)}} \quad 2.1$$

Keterangan:

PHF = factor jam puncak (*Peak Hour Factor*)

v = volume selama 1 jam (kendaraan/jam)

*v*₁₅ = volume selama 15 menit tersibuk pada jam tersebut
(kendaraan/15 menit).

Rate of flow adalah nilai ekivalensi dari volume lalu lintas perjam, dihitung dari jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada lajur/segmen jalan selama interval waktu dari satu jam.

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

Volume per sub jam adalah pengamatan terhadap arus lalu lintas yang kurang dari satu jam.

2.2.2. 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 lalu lintas, kondisi cuaca dan lingkungan alam disekitarnya.

$$u = \frac{d}{t} \quad 2.2$$

Keterangan:

u = kecepatan (km/jam atau m/detik)

d = jarak tempuh (km atau m)

t = waktu tempuh (jam atau detik)

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:

1. *Time Mean Speed* (TMS), didefinisikan sebagai kecepatan rata – rata dari seluruh kendaraan yang melewati suatu titik dari jalan selama periode waktu tertentu dengan persamaan berikut ini.

$$U_t = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} \quad 2.3$$

Keterangan:

U_t = Kecepatan rata – rata waktu (km/jam)

U_i = Kecepatan kendaraan (km/jam)

n = jumlah sampel kendaraan

2. *Space Mean Speed* (SMS), yang dalam PKJI 2017 disebut dengan kecepatan tempuh, adalah kecepatan rata-rata dari seluruh kendaraan yang menempati penggal jalan selama periode tertentu.

$$V = \frac{L}{T_t} \quad 2.4$$

Keterangan:

T_t = Waktu tempuh rata-rata kendaraan ringan (jam)

L = Panjang segmen (km)

V = Kecepatan tempuh atau kecepatan rata-rata KR (km/jam)

Kedua jenis kecepatan diatas sangat berguna dalam studi mengenai hubungan antara volume, kecepatan dan kerapatan/kepadatan.

2.2.3. Kerapatan (*Density*)

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

$$D = \frac{n}{L} \quad 2.5$$

Dimana:

D = kepadatan (skr/km)

n = jumlah kendaraan

L = jarak (km)

Menurut Soedirdjo (2002), kerapatan adalah jumlah kendaraan yang menggunakan suatu panjang jalan, pada umumnya ditentukan panjang 1 km dan satu lajur jalan. Kerapatan lalu lintas bervariasi dari nol (tidak ada kendaraan di suatu lajur sepanjang 1 km) sampai nilai yang menyatakan antrean 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 Persamaan 2.6 dan Persamaan 2.7.

$$V = \bar{U}_{sr} \times D \quad 2.6$$

$$D = V / \bar{U}_{sr} \quad 2.7$$

Dimana:

V = volume (skr/jam)

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

D = kerapatan (skr/km)

2.3. Ekivalensi Kendaraan Ringan

Untuk keperluan analisa dan perhitungan dari volume lalu lintas yang terdiri dari berbagai tipe, maka perlu dikonversikan kedalam satuan kendaraan ringan dengan menggunakan faktor ekivalensi kendaraan ringan.

PKJI 2014 mengklasifikasikan jenis – jenis kendaraan sebagai berikut:

1. Kendaraan ringan (KR), meliputi mobil penumpang, minibus, truk *pik-up* dan *jeep*.
2. Kendaraan berat menengah (KBM), meliputi truk dua gandar dan bus kecil.
3. Bus besar (BB).
4. Truk besar (TB), meliputi truk tiga gandar atau lebih, truk tempelan, dan truk gandingan.
5. Sepeda motor.

Menurut Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2014), EKR untuk kendaraan ringan adalah satu dan EKR untuk kendaraan berat dan sepeda motor ditetapkan sesuai dengan yang ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Ekvivalen Kendaraan Ringan Untuk Tipe Jalan 2/2 TT

Tipe Jalan	Arus lalu lintas total (kend/jam)	Ekr		
		KB	SM	
			Lebar jalur lalu lintas, L_{jalur}	
			≤ 6 m	> 6 m
Dua lajur tak terbagi	< 3700	1,3	0,5	0,4
(2/2 TT)	≥ 1800	1,2	0,35	0,25

Sumber: Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2014).

2.4. Hubungan Antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan

Volume, Kecepatan dan kerapatan merupakan 3 (tiga) variabel/parameter utama (makroskopis) dalam aliran lalu lintas yang digunakan untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas. Hubungan antara ketiga parameter tersebut dapat dinyatakan dalam hubungan matematis dengan persamaan 2.8 sebagai berikut.

$$V = D \times Us \quad 2.8$$

Keterangan:

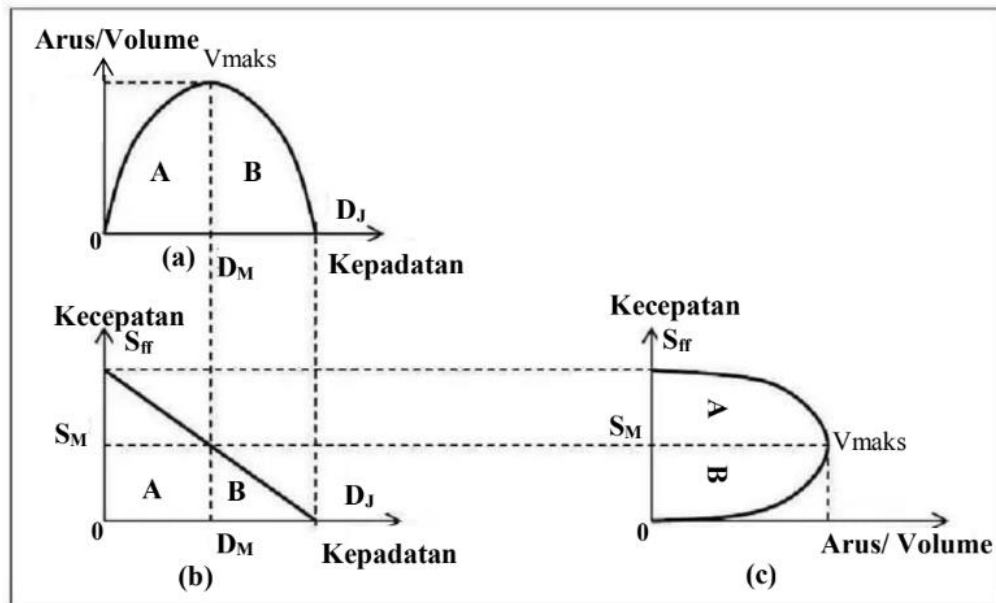
V = volume (kendaraan/jam)

Us = Kecepatan (km/jam)

D = Kerapatan (kendaraan/km)

Persamaan di atas hanya berlaku untuk arus lalu lintas tak terganggu, dimana setiap arus bergerak secara bebas tidak ada pengaruh dari luar. Contoh aliran ini dapat dilihat pada arus lalu lintas jalan utama dari jalan bebas hambatan. Hubungan antara ketiga parameter tersebut menggambarkan tentang aliran lalu lintas tidak terinterupsi (*uninterrupted traffic stream*) dimana volume merupakan hasil dari kecepatan dan kerapatan. Sementara itu hubungan

tersebut untuk lalu lintas yang stabil, kombinasi variabel yang menghasilkan hubungan dua dimensi.



Gambar 2.1. Hubungan matematis antara kecepatan, arus/volume, dan kepadatan.

Keterangan:

V_{Maks} = Kapasitas atau volume maksimum (kendaraan/jam)

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

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

D_j = Kerapatan pada kondisi lalu lintas macet total (kendaraan/km)

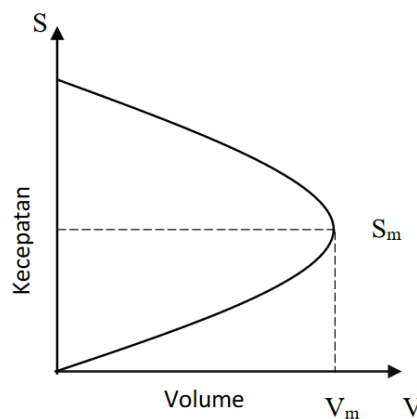
S_{ff} = Kecepatan pada kondisi volume lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kerapatan mendekati 0 (nol) atau kecepatan arus bebas (km/jam)

Perlu diketahui arus “nol” dapat terjadi dalam dua kondisi. Kondisi yang pertama yaitu ketika tidak ada kendaraan di jalan raya berarti kepadatannya nol, dimana kecepatan teoritis didasarkan pada “kecepatan arus bebas” (*free flow speed*) yang merupakan arus kecepatan tertinggi. Kondisi lain adalah ketika kepadatan arus lalu lintas begitu tinggi sehingga kendaraan yang

bergerak harus berhenti sehingga terjadi kemacetan lalu lintas yang disebut dengan istilah *traffic jam*.

2.4.1. Hubungan Volume dan Kecepatan

Hubungan mendasar antara volume dan kecepatan adalah dengan bertambahnya volume lalu lintas maka kecepatan rata-rata ruangnya akan berkurang sampai kepadatan kritis (volume maksimum) tercapai. Hubungan keduanya dapat kita lihat pada gambar 2.2 berikut ini.

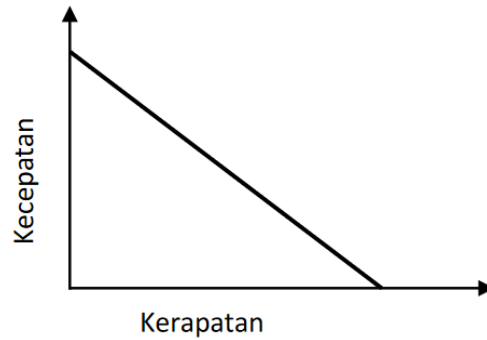


Gambar 2.2. Hubungan volume dan kecepatan.

Setelah kerapatan kritis tercapai, maka kecepatan rata-rata dan volume akan berkurang. Jadi kurva diatas menggambarkan dua kondisi yang berbeda, lengan atas menunjukkan kondisi stabil dan lengan bawah menunjukkan kondisi arus padat.

2.4.2. Hubungan Kecepatan dan Kerapatan

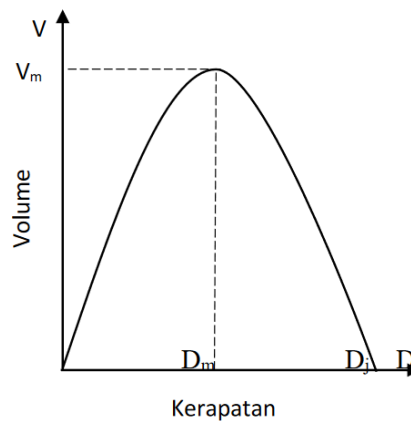
Kecepatan akan menurun apabila kerapatan bertambah. Kecepatan arus bebas akan terjadi apabila kerapatan sama dengan nol dan pada saat kecepatan sama dengan nol maka akan terjadi kemacetan (*jam density*). Hubungan keduanya dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3. Hubungan kecepatan dan kerapatan.

2.4.3. Hubungan Volume dan Kerapatan

Volume maksimum terjadi (V_{Maks}) terjadi pada saat kerapatan mencapai pada titik D_M (kerapatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum). Setelah mencapai titik ini volume akan menurun walaupun kerapatan bertambah sampai terjadi kemacetan di titik D_j . Hubungan keduanya dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut ini.



Gambar. 2.4. Hubungan volume dan kerapatan.

2.5. Tundaan

Tundaan adalah 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 di persimpangan jalan. Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi terjadinya tundaan di persimpangan, yaitu:

- Faktor fisik, yang meliputi jumlah jalur, lebar jalan, pengendali akses menuju jalan, dan 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 defenisi diatas dapat diturunkan kedalam persamaan matematis sebagai berikut:

$$T = TT + TG \quad 2.9$$

Dimana:

T = Tundaan (det/skr)

TT = Tundaan lalu lintas rata-rata (det/skr)

TG = Tundaan geometrik rata-rata (det/skr)

2.6. Greenshields

Greenshields yang mengadakan studi di jalan – jalan luar kota Ohio, USA mengusulkan model linier antara *space mean speed* (kecepatan) dengan kerapatan kendaraan ($S - D$). Dari penelitiannya, *Greenshields* memodelkan persamaan sebagai berikut:

Tabel 2.3. Rangkuman Persamaan yang Dihasilkan Model *Greenshield*

Hubungan	Persamaan	Hubungan	Persamaan
$S - D$	$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \times D$	V_M	$V_M = \frac{D_j \cdot S_{ff}}{4}$
$V - D$	$V = D \cdot S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \times D^2$	S_M	$S_M = \frac{S_{ff}}{2}$
$V - S$	$V = D_j \cdot S - \frac{D_j}{S_{ff}} \cdot S^2$	D_M	$D_M = \frac{D_j}{2}$

Sumber : Tamin (2008).

2.7. Greenberg

Pada tahun 1959 *Greenberg* menyelidiki aliran arus lalu lintas yang dilakukan pada bagian utara terowongan Lincoln di kota New York dan menganalisa hubungan antara kecepatan dan kerapatan dengan mempergunakan asumsi kontinuitas dari persamaan gerakan benda cair. *Greenberg* mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara kecepatan – kepadatan bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi logaritmik (Ofyar Tamin, 1992). Untuk persamaannya dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$S = S_M \cdot \ln \frac{D_j}{D} \quad 2.10$$

Dimana :

$$S_M = \text{Kecepatan maksimum (km/jam)}$$

Jika $S = \frac{V}{D}$ disubstitusikan ke dalam persamaan 2.11 maka akan didapatkan model antara volume/arus dengan kecepatan seperti pada persamaan berikut:

$$\frac{V}{D} = S_M \cdot \ln \frac{D_j}{D} \quad 2.11$$

$$V = S_M \cdot D \cdot \ln \frac{D_j}{D} \quad 2.12$$

Jika $D = \frac{V}{S}$ disubstitusikan ke dalam persamaan 2.11 maka akan didapatkan suatu model hubungan antara volume dan kecepatan seperti pada persamaan berikut:

$$S = S_M \cdot \ln \frac{D_j}{V/S}$$

$$V = D_j \cdot S \cdot \exp\left(-\frac{S}{S_M}\right) \quad 2.13$$

Arus maksimum terjadi pada saat tercapainya nilai kepadatan optimum (D_M), yaitu jika turunan pertama dari persamaan 2.14 sama dengan nol yaitu:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial D} &= S_M \cdot \ln\left(\frac{D_j}{D}\right) - S_M \\ D &= D_M = \frac{D_j}{e} \end{aligned} \quad 2.14$$

Selanjutnya jika nilai $D_M = \frac{D_j}{e}$ disubstitusikan ke persamaan 2.14 maka akan diperoleh nilai volume maksimum, sehingga :

$$V_{\text{maks}} = S_M \cdot D_M \quad 2.15$$

2.8. *Underwood*

Underwood mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan – Kepadatan bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi eksponensial (Ofyar Tamin, 1992). Persamaan dasar model *Underwood* dapat dinyatakan melalui persamaan 2.16.

$$S = S_{ff} \cdot e^{\frac{-D}{D_M}} \quad 2.16$$

Dimana:

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

D_M = Kepadatan pada kondisi arus maksimum (skr/km)

Jika persamaan 2.18 dinyatakan dalam bentuk logaritma natural, maka persamaan 2.18 dapat dinyatakan kembali sebagai persamaan 2.19 sehingga hubungan matematis antara kecepatan – kepadatan, selanjutnya dapat juga dinyatakan dalam persamaan 2.19.

$$\ln S = \ln S_{ff} - \frac{D}{D_M} \quad 2.17$$

$$\frac{V}{D} = S_{ff} \cdot e^{\frac{-D}{D_M}} \quad 2.18$$

$$V = D \cdot S_{ff} \cdot e^{\frac{-D}{D_M}} \quad 2.19$$

Persamaan 2.21 adalah persamaan yang menyatakan hubungan matematis antara arus – kepadatan.

$$S = S_{ff} \cdot e^{\frac{-V}{S \cdot D_M}} \quad 2.20$$

$$\ln S = \ln S_{ff} - \frac{D}{S \cdot D_M} \quad 2.21$$

$$\frac{V}{S \cdot D_M} = \ln S_{ff} - \ln S \quad 2.22$$

$$V = S \cdot D_M \cdot \ln S_{ff} - \ln S \quad 2.23$$

Persamaan 2.23 adalah persamaan yang menyatakan hubungan matematis antara Arus – Kecepatan (Kapasitas). Kondisi kecepatan pada saat arus maksimum (SM) didapat dengan persamaan:

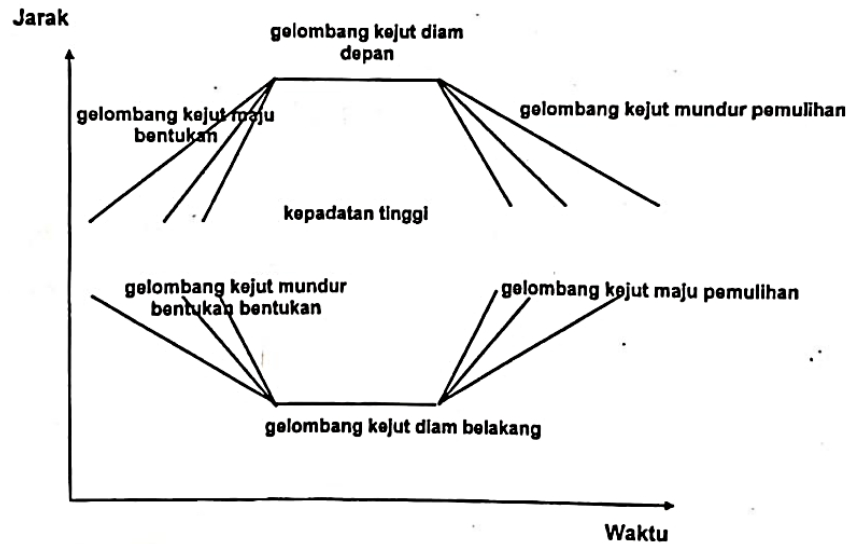
$$S_M = e^{\ln S_{ff} - 1} \quad 2.24$$

2.9. Gelombang Kejut

Gelombang kejut (*shock wave*) adalah gerakan atau perjalanan sebuah perubahan arus lalu lintas. Pada keadaan kondisi arus – bebas (*free – flow*), kendaraan akan melaju dengan kecepatan tertentu. Apabila arus tersebut mendapat hambatan (gangguan) maka akan terjadi pengurangan arus yang melewati lokasi hambatan tersebut. (Tamin, 2008).

Pengurangan arus ini akan menyebabkan kepadatan kendaraan pada daerah sebelum terjadi hambatan menjadi meningkat yang pada akhirnya mengakibatkan kecepatan turun dan terjadi antrean. Gelombang kejut dapat digambarkan sebagai gerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan

nilai kepadatan dan arus lalu lintas. Apabila arus dan kepadatan relatif tinggi, titik pada saat kendaraan harus mengurangi kecepatannya ditandai dengan nyala lampu rem, dan titik tersebut akan bergerak ke arah datangnya lalu lintas. (Tamin, 2008)



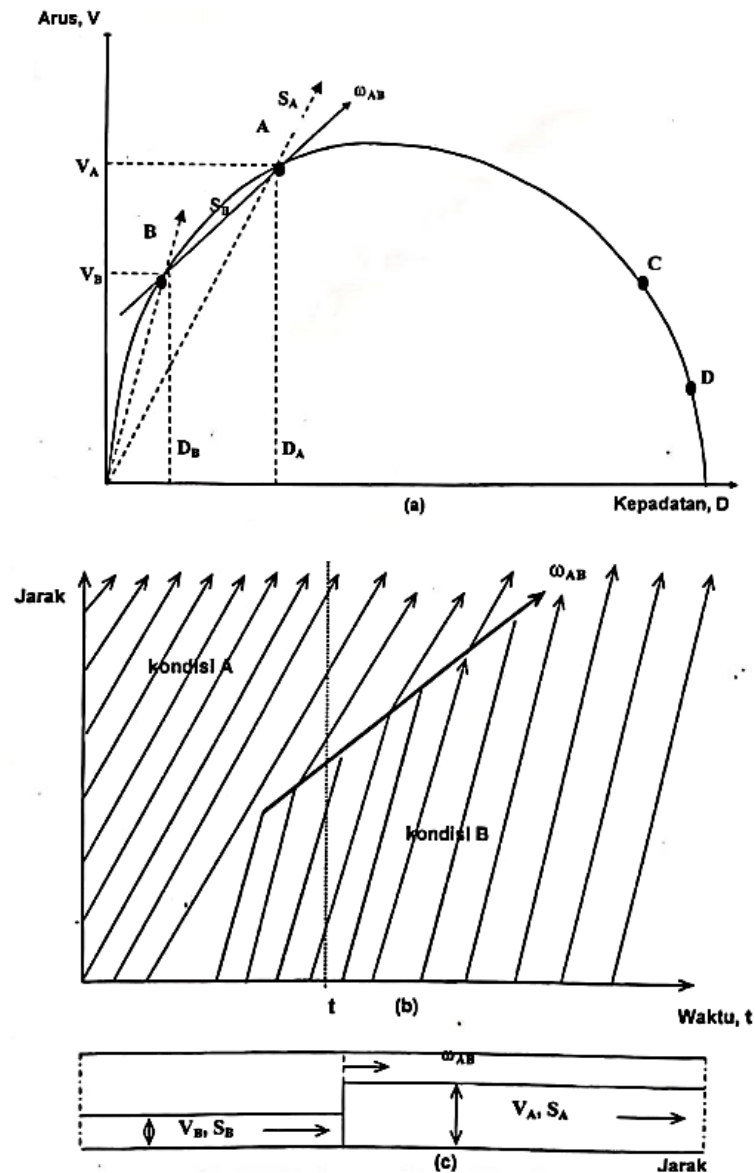
Gambar 2.5. Klasifikasi gelombang kejut.
Sumber: Wohl & Martin (1967) dalam Tamin (2008)

Pada Gambar 2.7. merupakan grafik hubungan antara jarak dan waktu yang membentuk klasifikasi dari gelombang kejut yang terjadi. Menurut Tamin (2008), gelombang kejut dapat diklasifikasikan menjadi 6 (enam) kelas, yaitu:

- a. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary shock wave*), terdapat pada lokasi penyempitan jalur (termasuk hambatan akibat adanya lampu lalu lintas) yang menunjukkan bahwa pada lokasi tersebut arus lalu lintas lebih besar dari kapasitas jalannya. Istilah ‘depan’ berarti bahwa bagian terdepan dari daerah kemacetan mempunyai kepadatan lebih rendah ke arah hilir dan lebih tinggi ke arah hulu. Istilah ‘diam’ berarti bahwa gelombang kejut terjadi pada lokasi tersebut dan tidak akan berpindah dengan berubahnya waktu.
- b. Gelombang kejut mundur bentukan (*backward forming shock wave*), terbentuk apabila terjadi kemacetan. Istilah ‘mundur’ berarti bahwa dengan berjalannya waktu, gelombang kejut akan bergerak ke belakang (ke arah

hulu atau ke arah yang berlawanan dengan arah pergerakan lalu lintas). Istilah ‘bentukan’ berarti bahwa dengan berjalannya waktu, kemacetan akan semakin meningkat ke arah hulu.

- c. Gelombang kejut maju pemulihan (*forward recovery shock wave*), terbentuk pada saat terjadinya kemacetan dimana arus lalu lintas berada dibawah kapasitas penyempitannya. Oleh karena itu panjang kemacetan akan berkurang. Istilah ‘maju’ berarti bahwa selama berjalannya waktu, gelombang kejut bergerak ke depan (ke arah hilir atau ke arah yang sama dengan arah pergerakan lalu lintas). Istilah ‘pemulihan’ berarti bahwa selama berjalannya waktu terdapat kondisi arus lalu lintas bebas (*free-flow*) pada daerah yang semakin jauh ke arah hilir.
- d. Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary shock wave*), terjadi apabila arah kedatangan lalu lintas sama dengan kapasitas pada daerah kemacetan untuk rentang waktu tertentu. Istilah ‘belakang’ berarti bagian paling belakang dari daerah kemacetan. Istilah ‘diam’ berarti bahwa gelombang tidak berpindah lokasinya selama rentang waktu tertentu.
- e. Gelombang kejut mundur pemulihan (*backward recovery shock wave*), terbentuk pada saat kemacetan terjadi dan kemudian terjadi peningkatan kapasitas jalan. Istilah ‘mundur’ berarti bahwa selama berjalannya waktu, gelombang kejut bergerak ke belakang (ke arah hulu atau ke arah yang berlawanan dengan arah pergerakan lalu lintas).
- f. Gelombang kejut maju bentukan (*forward forming shock wave*), istilah ‘maju’ berarti bahwa gelombang kejut bergerak ke arah yang sama dengan arah pergerakan lalu lintas sedangkan istilah ‘bentukan’ berarti bahwa selama berlangsungnya waktu kemacetan terjadi peningkatan arus lalu lintas pada tempat yang semakin jauh ke arah hilir.



Gambar 2.6. Kurva gelombang kejut.
 Sumber: Wohl dan Martin dalam Tamin (2008)

Gambar 2.8.(a) menggambarkan hubungan matematis antara Arus – Kepadatan pada suatu ruas jalan tanpa gangguan. Pada suatu rentang waktu tertentu, terdapat suatu kondisi arus lalu lintas bebas yang tetap, katakan kondisi A dimana arus, kepadatan, dan kecepatan diberi notasi: V_A , D_A , dan S_A . Kemudian pada rentang waktu selanjutnya, arus lalu lintas masuk berkurang dan terjadilah arus lalu lintas baru, katakan kondisi B dimana arus, kepadatan, dan kecepatannya diberi notasi: V_B , D_B , dan S_B . Perlu dicatat bahwa kondisi B memiliki kecepatannya yang lebih tinggi dari kondisi A dan kendaraan B ini

akhirnya dapat menyusul kendaraan A pada ruang dan waktu yang berbeda (Tamin, 2008).

Pada Gambar 2.8.(b) menggambarkan diagram jejak arus lalu lintas pada kondisi A dan B. Garis tebal tersebut melukiskan gelombang kejut atau diskontinuitas arus lalu lintas antara kondisi A dan B atau diagram jejak dimana kendaraan dengan kecepatan yang lebih tinggi pada kondisi arus B bergabung dengan kendaraan yang kecepatannya lebih rendah pada kondisi A. Notasi ω_{AB} digunakan untuk mewakili gelombang kejut serta indeks A dan B menunjukkan gelombang kejut terletak antara A dan B (Tamin, 2008).

Pada Gambar 2.8.(c) memperlihatkan bagian dari ruas jalan pada waktu t yang melukiskan 2 (dua) kondisi arus lalu lintas. Tiga kecepatan dengan gerakan ke kanan ditunjukkan dengan notasi S_A , S_B , dan ω_{AB} (Tamin, 2008).

S_A = kecepatan kendaraan pada kondisi arus A (km/jam)

S_B = kecepatan kendaraan pada kondisi arus B (km/jam)

ω_{AB} = kecepatan gelombang kejut antara 2 (dua) kondisi A dan B (km/jam)

Menurut Tamin (2008) pada batas gelombang kejut, jumlah kendaraan yang meninggalkan arus kondisi B (N_A) harus tepat sama dengan jumlah kendaraan yang memasuki arus kondisi A (N_A) selama tidak ada kendaraan yang keluar atau masuk lajur. Karena $N_A = N_B$, maka nilai gelombang kejut dapat dirumuskan:

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} \quad 2.25$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} \quad 2.26$$

$$\omega_{DC} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D} \quad 2.27$$

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} \quad 2.28$$

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

Dimana:

- ω_{DA} = gelombang kejut maju bentukan (km/jam)
- ω_{AB} = gelombang kejut mundur bentukan (km/jam)
- ω_{DC} = gelombang kejut maju pemulihan (km/jam)
- ω_{CB} = gelombang kejut mundur pemulihan (km/jam)
- ω_{AC} = gelombang kejut maju pemulihan (km/jam)

Interval waktu antara t_2 dan t_3 dapat dihitung sebagai berikut:

$$t_3 - t_2 = r - \left[\frac{\omega_{AB}}{\omega_{AB} - \omega_{AB}} \right] \quad 2.30$$

Panjang antrean maksimum pada waktu t_3 dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_m = \frac{r}{3600} \left[\frac{\omega_{CB} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right] \quad 2.31$$

Dimana :

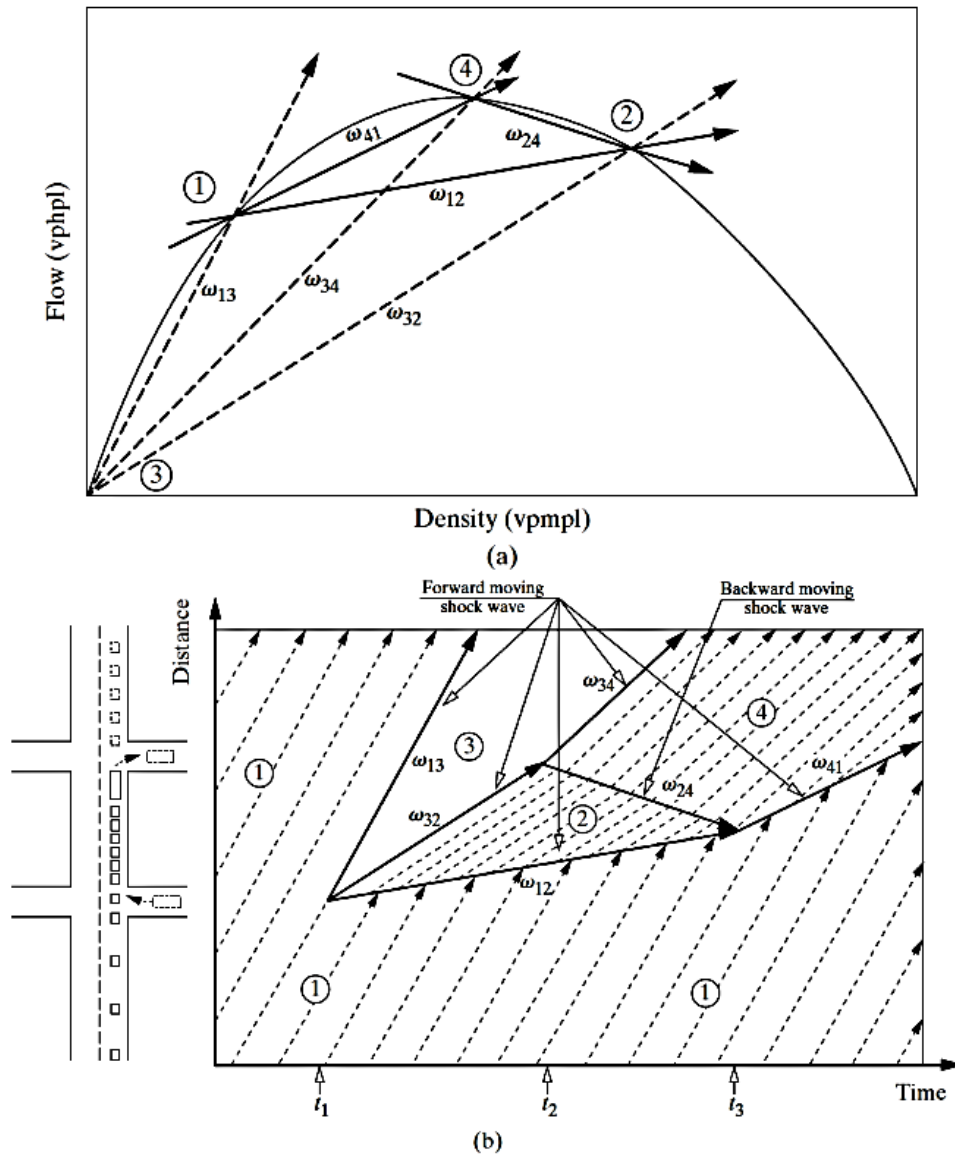
- Q_m = Panjang antrean maksimum (m)
- r = durasi efektif terjadinya hambatan (detik) = $t_2 - t_1$

$$t_4 - t_2 = \frac{r \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \cdot \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{AC}} + 1 \right| \quad 2.32$$

$(t_4 - t_2)$ = disebut sebagai waktu penormalan, yaitu total waktu antara sejak diberlakukannya penormalan lajur hingga antrean berakhir.

Menurut Gerber and Hoel (2009) terjadinya gelombang kejut (*shock wave*) pada tundaan lalu lintas bermacam-macam, yaitu:

- Gelombang kejut pada persimpangan jalan
- Gelombang kejut pada penyempitan jalan
- Gelombang kejut pada jalan dengan hambatan bergerak



Gambar 2.7. Gelombang kejut (*shockwave*) pada jalan dengan hambatan bergerak.

Sumber: Gerber and Hoel (2009)

Pada penelitian ini, penulis menganalisis gelombang kejut pada jalan dengan hambatan bergerak yaitu dimana gelombang kejut terjadi saat kendaraan mulai memasuki perlintasan kereta api. Pada saat kendaraan memasuki perlintasan akan menyebabkan tundaan atau penurunan kecepatan sehingga akan membentuk kepadatan di daerah hulu namun untuk daerah hilir kepadatannya rendah. Kendaraan yang berada di belakang tidak dapat mendahului kendaraan di depannya sehingga kecepatan akan menurun atau mengikuti

kecepatan yang berada di daerah hulu. Gelombang kejut (*shockwave*) pada jalan dengan hambatan bergerak contohnya terjadi oleh tundaan kendaraan berat yang melintas dengan kecepatan rendah lalu keluar meninggalkan lajur tersebut. Hal tersebut mengakibatkan kecepatan kendaraan di belakang akan mengikuti kecepatan kendaraan berat tersebut sehingga terjadi tundaan dan terbentuklah gelombang kejut.

Menurut (Gerber and Hoel, 2009) Gambar 2.9.(a) menunjukkan grafik hubungan arus dan kepadatan dimana terdapat kecepatan arus 1, 2, 3, dan 4 yang selanjutnya akan dibahas pada diagram jejak pada Gambar 2.9.(b). Pada saat titik $0 - t_1$ kendaraan dengan kecepatan arus (1) yaitu sebelum memasuki daerah hulu, belum terjadi tundaan arus lalu lintas. Pada titik t_1 , kendaraan yang berada tepat di belakang truk akan mengurangi kecepatannya dari truk. Ini menghasilkan peningkatan kepadatan tepat di belakang truk mengakibatkan kondisi lalu lintas (2). Terbentuk gelombang kejut yang bergerak dengan kecepatan ω_{12} . Dikarenakan kendaraan di depan truk akan terus berjalan sesuai kecepatannya, bagian di jalan raya di bagian hilir truk tidak akan memiliki kendaraan dengan demikian sehingga menciptakan kondisi lalu lintas (3). Ini juga menghasilkan gelombang kejut dengan kecepatan ω_{13} dan ω_{32} . Pada saat t_2 , saat truk meninggalkan jalan, arus akan ditingkatkan kapasitasnya menjadi jalan dengan kondisi lalu lintas (4). Hal ini menghasilkan pembentukan kecepatan gelombang kejut bergerak mundur ω_{24} dan gelombang kejut yang bergerak maju dengan kecepatan ω_{34} . Pada waktu t_3 , gelombang kejut dengan kecepatan ω_{12} dan ω_{24} bertepatan sehingga menghasilkan gelombang kejut baru yang bergerak maju dengan kecepatan ω_{41} .

2.10. Penelitian Terdahulu yang Berkaitan dengan Tundaan Pada Perlintasan Sebidang Rel Kereta Api

Penelitian terdahulu yang dapat dijadikan referensi tambahan dalam penelitian ini terdapat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Isi Penelitian
1.	Zam'aliani Marpaung	2019	Analisis Panjang Antrean Akibat Palang Pintu Kereta Api (Studi Kasus Jalan Kapten Muslim Kota Medan)	Didapatkan Volume maksimum dari hasil pengamatan di lapangan diperoleh sebesar 4966 smp/jam. Sedangkan volume terbesar saat kereta api melintas adalah 3573,2 smp/jam. Nilai kecepatan rata-rata terbesar yaitu 26,38 km/jam. Kerapatan kendaraan yang maksimum sebesar 427 smp/jam. Hubungan volume, kecepatan dan kerapatan adalah menggunakan model <i>Greenshield</i> yang menghasilkan koefisien determinasi (R^2) yang terbesar yaitu 0,9623. Panjang antrean terbesar dengan menggunakan <i>Shock Wave Analysis</i> Dari hasil perhitungan gelombang kejut (<i>shockwave</i>) diperoleh panjang antrean yang paling maksimum yaitu sebesar 1294 meter, waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan antrean 435 detik dan waktu penormalan yang dibutuhkan hingga antrean dapat dipulihkan kembali adalah sebesar 761 detik.
2.	Nur Via Wulandari	2022	Pengaruh Gelombang Kejut Terhadap Tundaan Lalu Lintas Pada Perlintasan Kereta Api (Studi Kasus Perlintasan Kereta Api Labuhan Ratu Jalan Untung Suropati, Labuhan Ratu, Bandar Lampung)	Berdasarkan perhitungan analisis gelombang kejut pada saat awal antrean di siang hari diperoleh kecepatan gelombang kejut maju bentukan (ωda) sebesar 5,114 km/jam. Pada saat arus jenuh dan awal penormalan diperoleh nilai kecepatan gelombang kejut maju pemulihan (ωdc) sebesar 2,789 km/jam dan saat akhir penormalan lajur diperoleh nilai kecepatan gelombang kejut maju pemulihan (ωac) sebesar 3,203 km/jam. Besar tundaan yang diperoleh sebesar 20,195 meter dengan waktu penormalan sebesar 34,658 detik. Pada pengamatan sore, diperoleh penurunan kecepatan yaitu saat awal antrean diperoleh kecepatan gelombang kejut maju bentukan (ωda)

Tabel 2.4. Lanjutan

No.	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Isi Penelitian
				sebesar 11,134 km/jam. Pada saat arus jenuh dan awal penormalan diperoleh nilai kecepatan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{dc}) sebesar 2,606 km/jam, pada saat akhir penormalan lajur diperoleh nilai kecepatan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{ac}) sebesar 2,553 km/jam. Besar tundaan yang diperoleh sebesar 6,722 meter dengan waktu penormalan sebesar 14,244 detik.
3.	M. Yasir Rahim	2017	Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan M.T. Haryono dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas	Dari hasil analisis yang dilakukan didapat 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. Panjang antrean maksimum = 77 meter, jumlah kendaraan antri $N = 39$ smp, serta rata-rata tundaan sebesar 79 detik.
4.	Sulthan Aditia Primo	2022	Tinjauan Gelombang Kejut di Pintu Perlintasan Kereta Api pada Kondisi Pintu Terbuka (Studi Kasus Segmen Jalan Urip Sumoharjo-Kimaja)	Berdasarkan analisis rasio <i>headway</i> didapatkan nilai ekivalen kendaraan ringan (e_{kr}) untuk sepeda motor (SM) sebesar 0,60. Hasil penelitian pada pengamatan siang menunjukkan peningkatan waktu tempuh dari 25,47 detik menjadi 31,29 detik akibat adanya antrean kendaraan. Pada perhitungan diperoleh nilai gelombang kejut maksimum $\omega_{ab} = -2,34$ km/jam, $\omega_{cb} = -8,48$ km/jam, dan $\omega_{ac} = 6,99$ km/jam dengan panjang antrean 13,5 m dan waktu penormalan 17,03 detik. Sedangkan hasil perhitungan untuk pengamatan sore diperoleh $\omega_{ab} = -14,92$ km/jam, $\omega_{cb} = -14,46$ km/jam, dan ω_{ac}

Tabel 2.4. Lanjutan

No.	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Isi Penelitian
				= 24,40 km/jam dengan panjang antrean 18 m dan waktu penormalan 17,73 detik.
5.	Tri Makmur Prasetyo	2023		Gelombang kejut yang terjadi pada ruas Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang, Bandar Lampung akibat perlintasan kereta api adalah ω_a sebesar 7,75 km/jam; ω_b sebesar -0,91 km/jam; ω_c sebesar 3,37 km/jam; ω_d sebesar -2,43 km/jam dan ω_e sebesar 1,16 km/jam.
6.	Umar Farouq	2018	Studi Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus: Perlintasan Kereta Api Jalan Bung Tomo Surabaya)	Berdasarkan hasil dari analisis metode Gelombang Kejut (<i>Shock Wave Analysis</i>) maka diperoleh: <ul style="list-style-type: none"> • Untuk arah ke Jalan Ngagel Jaya Selatan : kondisi antrean dan tundaan maksimum menghasilkan waktu pelepasan $t_a = 103$ detik, waktu pemulihan $t_b = 72$ detik, panjang antrean maksimum = 492m, serta rata-rata tundaan sebesar 72 detik. • Untuk arah ke Jalan Dinoyo : kondisi antrean dan tundaan maksimum menghasilkan waktu pelepasan $t_a = 105$ detik, waktu pemulihan $t_b = 76$ detik,
7.	Omid M. Rouhani	2014	Queue Dissipation Shockwave Speed for Signalized Intersections	Penelitian ini merupakan upaya untuk mengestimasi pengaruh kendaraan, waktu perjalanan, arah lalu lintas, dan peningkatan jalan terhadap kecepatan disipasi antrean. Waktu rata-rata akibat pengaruh gabungan dari semua faktor lain tidak dipertimbangkan dalam model linier adalah 1,69 detik
8.	Nurul Farhana Binti Jailani	2013	Extent Of Traffic Shockwave Propagation Induced By Midblock U-Turn Facilities	Penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi perambatan kecepatan gelombang kejut yang signifikan pada suatu pintu keluar fasilitas U-turn midblock yaitu sekitar -35,1 km / jam. Maka ini menyimpulkan bahwa fasilitas putar balik akan menyebabkan gelombang kejut lalu lintas yang dapat

No.	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Isi Penelitian
				menyebabkan kecelakaan di jalan raya.
9.	S. Chandana Wirasinghe	2015	Determination of Traffic Delays from Shock-wave Analysis	Penelitian tentang penentuan tundaan lalu lintas dari analisa gelombang kejut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gelombang kejut pada tundaan lalu lintas. Model yang digunakan pada penelitian ini adalah Greenshields . Hasil yang diperoleh yaitu kita dapat menentukan gelombang kejut secara matematis dari hasil permodelan Greenshields
10.	Wang Junhua dkk	2015	Modelling Secondary Accidents Identified by Traffic Shock Waves	Penelitian tentang pemodelan kecelakaan sekunder yang diidentifikasi oleh gelombang kejut. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari faktor-faktor yang melibatkan kecelakaan primer yang mengakibatkan kecelakaan sekunder. Hasil yang diperoleh dari analisis gelombang kejut adalah frekuensi kecelakaan sekunder rendah di jalan bebas hambatan antar negara bagian California.
11.	Sundara Parameswary, dkk.	2013	Determining The Impact Of Darkness on Highway Traffic Shockwave Propagation	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan rambat gelombang kejut kegelapan sekitar 35,43 km/jam/ dimana pengurangan kecepatan kendaraan masih dalam batas varians. Akibatnya, penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pada perambatan gelombang kejut lalu lintas jalan raya bersifat sementara dan cukup kecil jika dibandingkan dengan cahaya alam dan juga cahaya buatan.
12.	Iraj Bargegol, dkk.	2015	Timing Optimization of Signalized Intersections Using Shockwave Theory by Genetic Algorithm	Teori pada penelitian ini digunakan untuk teknik algoritma genetika untuk mengoptimalkan waktu tiga persimpangan yang ditandai di kota paling ramai di utara Iran (kota Rasht) untuk meminimalkan waktu perjalanan, penundaan dan menciptakan penyeberangan yang berkinerja lebih

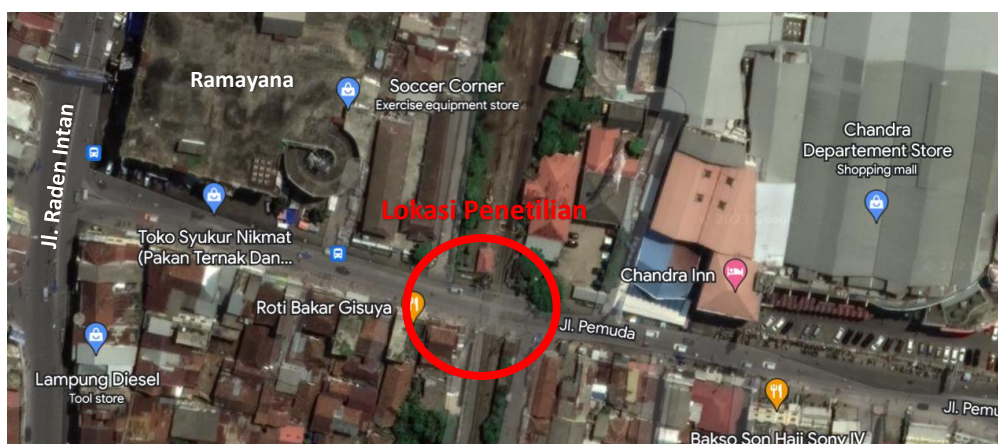
No.	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Isi Penelitian
				baik di sistem transportasi yang padat. Algoritma yang diterapkan menunjukkan bahwa setelah optimasi pengaturan waktu sinyal, waktu tunda kendaraan rata-rata dapat dikurangi di persimpangan di puncak, puncak siang, dan p.m. masing-masing mencapai 31, 22, dan 22 persen.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada perlintasan kereta api yang berada di Jalan Pemuda Bandar Lampung. Pada jalan ini terdapat banyak sekali pertokoan dan 2 pusat perbelanjaan, yaitu Chandra *Departement Store* Tanjung Karang dan Ramayana Pasar Bawah. Jalan ini merupakan salah satu ruas jalan yang berada di tengah kota yang berhimpitan sebidang dengan jalan rel. Lokasi tersebut menjadi pilihan peneliti dikarenakan kerap terjadinya kepadatan lalu lintas akibat geometri perlintasan sebidang rel dan juga volume yang cukup tinggi pada jam – jam puncak (*peak hour*). Adanya perlintasan ini mengakibatkan tundaan lalu lintas sehingga sesuai untuk melakukan penelitian analisis gelombang kejut.



Gambar 3.1. Peta lokasi.



Gambar 3.2. Lokasi penelitian.

3.2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan pada saat siang dan sore hari untuk mengetahui kondisi lalu lintas sepi sampai terjadinya antrean panjang pada saat jam puncak. Penelitian dilakukan pada hari kerja, dimana waktu yang ditentukan yaitu:

Siang hari pada jam : 12.00 WIB – 13.00 WIB

Sore hari pada jam : 16.00 WIB – 17.00 WIB

Pengamatan dilakukan dalam dua kondisi yaitu kondisi lalu lintas saat kendaraan memasuki perlintasan dan keluar dari perlintasan. Hal ini dilakukan guna mendapatkan data yang lebih akurat saat survei lapangan sehingga menghindari kesalahan atau penyimpangan pada hasil analisis.

3.3. Teknik Pelaksanaan Survei

1. Survei pendahuluan

Survei pendahuluan bertujuan untuk menentukan lokasi penelitian, peralatan yang dibutuhkan saat survei, data yang diperlukan dalam analisa

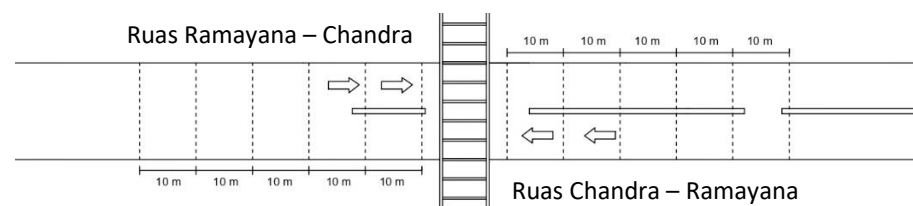
serta metode pengumpulan data. Survei pendahuluan ini dilakukan untuk mendapatkan informasi lebih awal mengenai kondisi aktual di lapangan. Berikut langkah-langkah survei pendahuluan yaitu:

- a) Pada survei pendahuluan dilakukan pada ruas Jalan Pemuda tepatnya pada perlintasan kereta api dan survei ini dilakukan oleh 3 orang mahasiswa.
- b) Melakukan pengukuran dan *marking* pada jalan guna mempermudah peneliti menghitung data.
- c) Pada survei ini dilakukan pengenalan dan penentuan batasan pengamatan yaitu pengamatan dilakukan 50 meter sebelum dan sesudah dari perlintasan kereta api.

2. Pelaksanaan survei lapangan

Survei lapangan ini dilakukan pada hari Senin siang dan sore hari dengan menggunakan rekaman kamera *drone*. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan pada pelaksanaan survei lapangan:

- a) Membuat penanda atau *marking* jalan yang akan diteliti yaitu batas – batas pembagian 5 segmen untuk sebelum dan sesudah perlintasan dimana dengan tiap segmen sepanjang 10 meter. *Marking* atau penanda jalan ini dilakukan agar dalam hasil rekaman terlihat jelas batas-batas pengamatannya.
- b) Melakukan rekaman menggunakan kamera *drone* dengan tangkapan sesuai dengan batas-batas pengamatan. Hasil video rekaman *drone* digunakan peneliti dalam mengambil data-data untuk perhitungan yaitu dengan memutar ulang rekaman hasil survei.



Gambar 3.3. Skema pembagian segmen jalan.

3. Peralatan Survei

Dalam penelitian ini digunakan alat bantu dalam pelaksanaan survei dan pengolahan, yaitu:

- a) Meteran untuk mengukur kondisi geometrik jalan.
- b) Kamera *drone* digunakan untuk merekam pergerakan lalu lintas yang melintas.
- c) *Pylox* digunakan sebagai penanda titik pengamatan (*marking*).
- d) *Stopwatch* digunakan untuk mendapatkan data waktu tempuh.

3.4. Teknik Pengambilan Data

Pada penelitian ini data yang dibutuhkan berupa data primer atau data lapangan. Data primer didapat dari hasil survei lapangan dengan merekam dan mencatat semua data yang diperlukan untuk penelitian ini. Pengamatan dilakukan sepanjang 50 meter sebelum dan 50 meter sesudah perlintasan kereta api. Survei lapangan dilakukan untuk mendapatkan data arus lalu lintas dan data waktu tempuh. Data – data tersebut dihitung per waktu 5 menit selama 2 jam. Berikut adalah langkah untuk mendapatkan data lalu lintas yang digunakan dalam perhitungan:

1. Arus/Volume Lalu Lintas

Data volume lalu lintas ditinjau pada semua jenis kendaraan per waktu 5 menit. Volume lalu lintas yang ditinjau yaitu jumlah sepeda motor (SM), kendaraan ringan (KR), dan kendaraan berat (KB) yang melintas. Langkah untuk mendapatkan volume lalu lintas yaitu pada setiap sampel kendaraan yang melintas di titik batas pengamatan, lalu dihitung jumlah sepeda motor (SM), kendaraan ringan (KR), dan kendaraan berat (KB) pada segmen sebelum perlintasan, di perlintasan, dan sesudah perlintasan. Format dalam pengambilan data volume lalu lintas dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.1. Format Pencatatan Volume Lalu Lintas

Periode Waktu	Jalan Pemuda Bandar Lampung		
	KR	KB	SM
12.00 – 12.05			
12.05 – 12.10			
...			

2. Waktu Tempuh

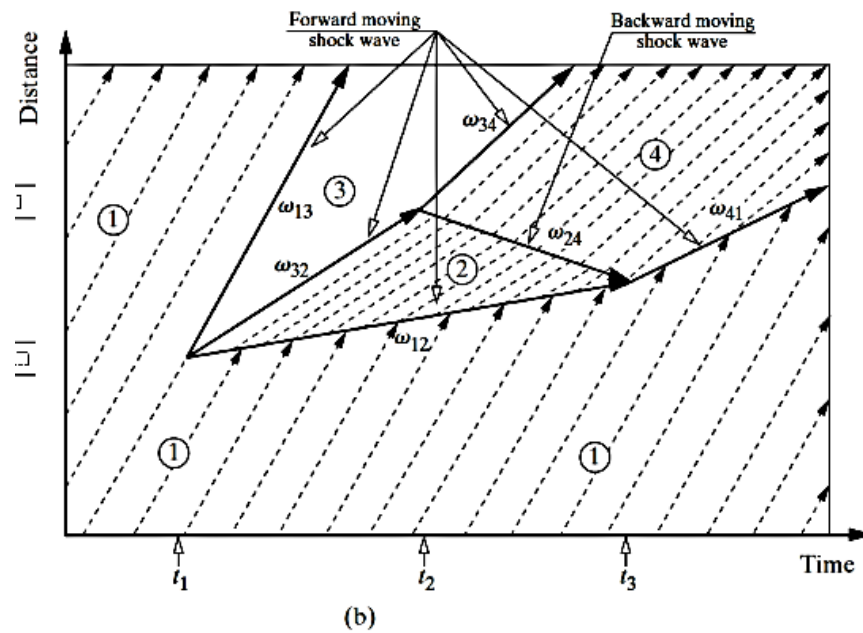
Waktu tempuh yang digunakan yaitu waktu tempuh setiap kendaraan per waktu 5 menit selama 2 jam. Langkah kerja untuk mendapatkan data waktu tempuh kendaraan sebagai berikut:

- a) Waktu tempuh yang didapat dengan mengikuti sampel kendaraan dari awal batas pengamatan sampai akhir batas pengamatan.
- b) Mencatat waktu tempuh kendaraan (detik) yang melewati 11 segmen pengamatan dengan menggunakan alat bantu *stopwatch*. Skema gambar dalam pengambilan data waktu tempuh dapat dilihat pada Lampiran.

3.5. Analisis dan Pengolahan Data

Untuk dapat melakukan analisis data, maka semua data yang dibutuhkan harus sudah diperoleh. Pengambilan data arus/volume dan waktu tempuh dilakukan pada kondisi palang pintu perlintasan terbuka dan tidak ada kereta yang melintas. Kemudian data arus/volume diolah dengan menggunakan program *Microsoft Excel*. Nilai EKR digunakan untuk mengubah satuan arus lalu lintas kendaraan menjadi Satuan Kendaraan Ringan (SKR). Selanjutnya adalah menghitung kecepatan berdasarkan waktu tempuh yang telah didapat. Selanjutnya mencari hubungan matematis antara arus, kecepatan, dan kepadatan agar dapat memperoleh kecepatan saat arus bebas (S_{ff}) dan kepadatan (D_j). Nilai S_{ff} dan D_j ini kemudian digunakan untuk mencari nilai V_M dan D_M . Nilai V_M dan D_M ini kemudian digunakan untuk menghitung nilai

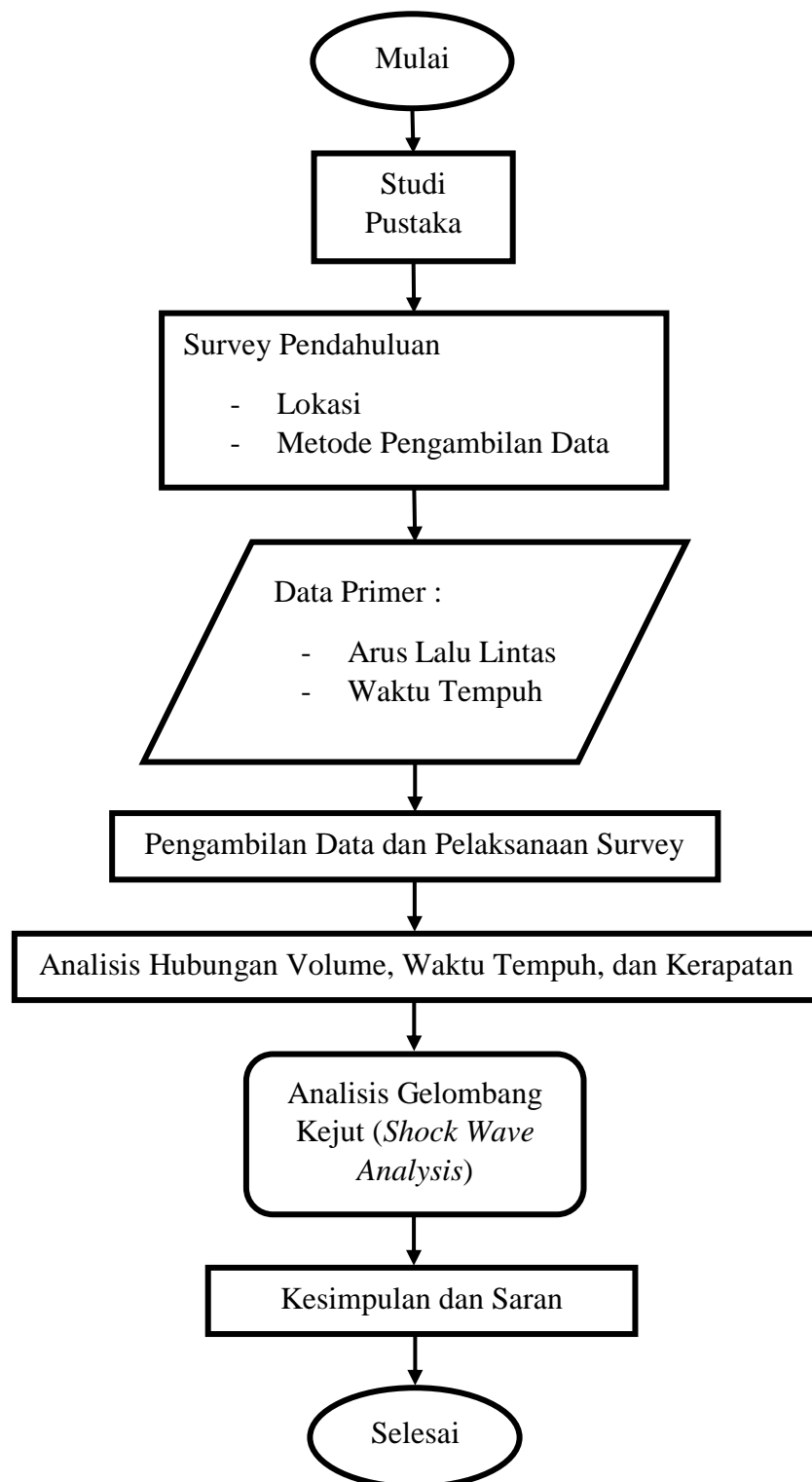
gelombang kejut. Nilai gelombang kejut yang diperoleh dapat digunakan untuk memperoleh tundaan yang terjadi.



Gambar 3.4. Gelombang kejut pada kondisi palang pintu perlintasan terbuka.

Pada saat titik $0 - t_1$ merupakan *free flow* atau arus bebas dimana kondisi kendaraan belum melewati perlintasan sebidang dan melaju dengan kecepatan normal (bagian 1). Selanjutnya sesaat sebelum melewati perlintasan, kendaraan A akan menurunkan kecepatannya, dan kendaraan lain dibelakangnya pun akan ikut mengurangi kecepatan sampai dengan melewati perlintasan (bagian 2). Terbentuk gelombang kejut yang bergerak dengan kecepatan ω_{12} . Dikarenakan kendaraan lain di depan kendaraan A akan terus berjalan sesuai kecepatannya, bagian di jalan raya di bagian hilir tidak akan memiliki arus kendaraan sehingga menciptakan kondisi lalu lintas (3). Ini juga menghasilkan gelombang kejut dengan kecepatan ω_{13} dan ω_{32} . Pada saat t_2 , saat kendaraan A meninggalkan jalan, arus akan ditingkatkan kapasitasnya menjadi jalan dengan kondisi lalu lintas (4). Hal ini menghasilkan pembentukan kecepatan gelombang kejut bergerak mundur ω_{24} dan gelombang kejut yang bergerak maju dengan kecepatan ω_{34} . Pada waktu t_3 , gelombang kejut dengan kecepatan ω_{12} dan ω_{24} bertepatan sehingga menghasilkan gelombang kejut baru yang bergerak maju dengan kecepatan ω_{41} .

3.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.5. Diagram alir penelitian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan analisis gelombang kejut di Perlintasan Kereta Api Jalan Pemuda pada pengamatan siang, saat awal antrian diperoleh kecepatan gelombang kejut maju bentukan (ω_{da}) sebesar 7,33 km/jam, kecepatan gelombang kejut mundur bentukan (ω_{ab}) sebesar -6,69 km/jam, kecepatan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{dc}) sebesar 2,76 km/jam, kecepatan gelombang kejut mundur pemulihan (ω_{cb}) sebesar -9,07 km/jam, dan kecepatan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{ac}) sebesar 2,72 km/jam.
2. Pada pengamatan sore, diperoleh kecepatan gelombang kejut maju bentukan (ω_{da}) sebesar 4,50 km/jam, kecepatan gelombang kejut mundur bentukan (ω_{ab}) sebesar -6,38 km/jam, kecepatan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{dc}) sebesar 2,15 km/jam, kecepatan gelombang kejut mundur pemulihan (ω_{cb}) sebesar -7,51 km/jam, dan kecepatan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{ac}) sebesar 1,80 km/jam.
3. Besar tundaan yang diperoleh pada pengamatan siang sebesar 33,95 detik dengan antrian sepanjang 5,19 meter dan waktu penormalan sebesar 45,98 detik. Pada pengamatan sore diperoleh tundaan sebesar 54,51 detik dengan antrian sepanjang 8,95 meter dan waktu penormalan sebesar 54,51 detik.

5.2. Saran

1. Pelintasan sebidang rel kereta api yang memotong jalan raya di Jalan Pemuda ini mengakibatkan tundaan yang cukup besar. Oleh karena itu, perlu adanya evaluasi geometri pada pertemuan perlintasan kereta api dengan jalan raya apakah sudah memenuhi persyaratan sesuai dengan peraturan yang berlaku, agar dapat mengurangi gelombang kejut dan tundaan yang terjadi pada lokasi ini.
2. Pemeliharaan atau perbaikan fasilitas jalan dan jalur rel perlu diperhatikan agar perpotongan atau persinggungan antara jalur kereta api dengan jalan raya maupun bangunan lain dapat berfungsi dengan baik.
3. Pembuatan jalan beton dapat menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi gelombang kejut dan tundaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, A.A. (2005). *Rekayasa Lalu Lintas*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Alamsyah, A.A. (2008). *Rekayasa Lalu Lintas Edisi Revisi*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Arsyad, Ahmad. (2017). *Studi Analisis Tundaan, Antrian dan Biaya Operasional Kendaraan Akibat Perlintasan Sebidang Jalan dengan Rel Kereta Api Pada Ruas Jalan Malang - Surabaya Km. 10*. (Skripsi Sarjana, Institut Teknologi Nasional Malang).
- Bargegol, I. dkk. (2015). Timing Optimization of Signalized Intersections Using Shockwave Theory by Genetic Algorithm. *CRPASE* Vol. 01(04), 160-167. https://www.crpase.com/archive/CRPASE-2015-VOL_01-ISSUE_04-06.pdf.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (2014). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Farhana, N. (2013). *Extent Of Traffic Shockwave Propagation Induced By Midblock U-Turn Facilities*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- Farouq, Umar. (2018). *Studi Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan Dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas (Studi Kasus: Perlintasan Kereta Api Jalan Bung Tomo Surabaya)*. (Skripsi Sarjana, Universitas Tujuh Belas Agustus).
- Gerber, N.J. dan Hoel, L.A. (2009). *Traffic and Highway Engineering*. Canada: University of Virginia.
- Junhua, W. dkk. (2015). Modelling Secondary Accidents Identified by Traffic Shock Waves. *Accident Analysis & Prevention* 87:141-7. doi: 10.1016/j.aap.2015.11.031.

- Marpaung, Zam'aliani. (2019). Analisis Panjang Antrian Akibat Palang Pintu Kereta Api (Studi Kasus Jalan Kapten Muslim Kota Medan). (Skripsi Sarjana, Universitas Sumatera Utara).
- Parameswary, S. dkk. (2013). Determining The Impact Of Darkness on Highway Traffic Shockwave Propagation. *American Journal of Applied Sciences*, 10 (9), 1000-1008. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2013.1000.1008>
- Primo, S.A. (2022). Tinjauan Gelombang Kejut di Pintu Perlintasan Kereta Api pada Kondisi Pintu Terbuka (Studi Kasus Segmen Jalan Urip Sumoharjo-Kimaja). (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).
- Rahim, M.Y. (2017). Pengaruh Perlintasan Sebidang Jalan M.T. Haryono dengan Rel Kereta Api Terhadap Karakteristik Lalu Lintas. (Skripsi Sarjana, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara).
- Rouhani, O.M. (2014). Queue Dissipation Shockwave Speed for Signalized Intersections. *Proceedings 54th Annual Transportation Research Forum, Annapolis, Maryland, March 21-23, 2013, Transportation Research Forum*, 54-61. doi: 10.22004/ag.econ.206954.
- Salter, R.J. dan Hounsell, N.B. (1996). Highway Traffic Analysis and Design. Macmillan: Press Ltd. London and Basingstroke.
- Setiyaningsih, Ika. (2007). Karakteristik Lalu Lintas Pada Persilangan Sebidang Jalan dan Jalan Rel. (Tesis Magister, Institut Teknologi Bandung).
- Soedirdjo, T.L. (2002). Rekayasa Lalu Lintas. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tamin, O.Z. (2008). Perencanaan dan Pemodelan Transportasi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wulandari, N.V. (2022). Pengaruh Gelombang Kejut Terhadap Tundaan Lalu Lintas Pada Perlintasan Kereta Api (Studi Kasus Perlintasan Kereta Api Labuhan Ratu Jalan Untung Suropati, Labuhan Ratu, Bandar Lampung). (Skripsi Sarjana, Universitas Lampung).