

**PENGARUH ANTRIAN IKUTAN AKIBAT PERLINTASAN KERETA API  
DI JALAN PERINTIS KEMERDEKAAN TERHADAP PENURUNAN  
KECEPATAN PADA JALAN GATOT SUBROTO**

**(Skripsi)**

**OLEH  
RENALDY SUGENDRA  
1715011028**



**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

**PENGARUH ANTRIAN IKUTAN AKIBAT PERLINTASAN KERETA API  
DI JALAN PERINTIS KEMERDEKAAN TERHADAP PENURUNAN  
KECEPATAN PADA JALAN GATOT SUBROTO**

**Oleh**

**RENALDY SUGENDRA**

**Skripsi**

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

**Pada**

**Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi : **PENGARUH ANTRIAN IKUTAN AKIBAT  
PERLINTASAN KERETA API DI JALAN  
PERINTIS KEMERDEKAAN TERHADAP  
PENURUNAN KECEPATAN PADA JALAN  
GATOT SUBROTO**

Nama Mahasiswa : **Renaldy Sugendra**

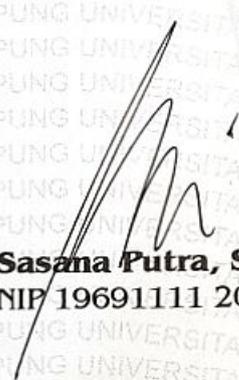
Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011028

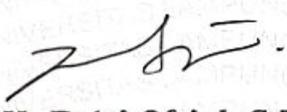
Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

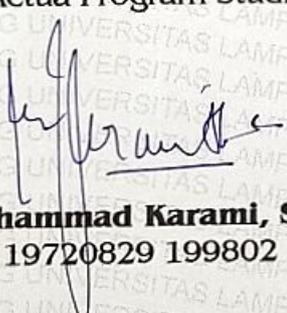
1. Komisi Pembimbing

  
**Sasana Putra, S.T., M.T.**  
NIP 19691111 200003 1 002

  
**Siti A. M. Putri Ofrial, S.T., M.T.**  
NIP 19910113 201903 2 020

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 : Siti A. M. Putri Ofrial, S.T., M.T.**

**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, 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 : 07 Agustus 2023**

## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, adalah:

Nama : Renaldy Sugendra

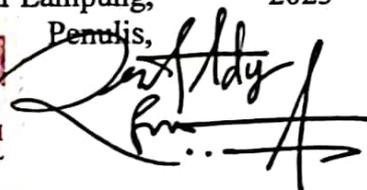
MPM : 1715011028

Prodi/jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

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

Bandar Lampung, 2023  
Penulis,  
  
  
Renaldy Sugendra

# *Persembahan*

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahirabbil'alamin dengan ridho-Mu ya Allah Akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga dengan terselesainya skripsi ini dapat menjadikanku insan yang berguna dan bermanfaat. Ku persembahkan skripsi ini untuk:

Kedua orangtuaku, Bapak Gunawan dan Ibu Susniati yang selalu mendoakan, memberikan kasih sayang, dukungan, dan menjadi penyemangat suka maupun duka dari aku kecil hingga aku dapat menyelesaikan perkuliahanku.

Saudara dan saudariku tersayang, Ovid Gumensie, dan Reza Reskita yang selalu memberikanku nasehat dan semangat hingga aku dapat menyelesaikan perkuliahanku.

Dosen Pembimbing dan Penguji yang sangat berjasa dan selalu memberikan ilmu dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

Seluruh dosen yang telah mengajarkan banyak hal. Terima kasih untuk ilmu, pengetahuan dan pelajaran hidup yang sudah diberikan.

Sahabat-sahabatku, rekan seperjuangan Teknik Sipil Angkatan 2017, yang selalu menemani dalam suka maupun duka, memberikan semangat, dan pengalaman-pengalaman berharga selama perkuliahanku.

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Muara Enim, pada tanggal 12 Mei 1999, merupakan anak ke-tiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Gunawan dan Ibu Susniati. Penulis memiliki satu saudara yang bernama Ovid Gumensie dan seorang saudari yaitu Reza Reskita.

Penulis menempuh pendidikan tingkat dasar di SDN 18 Muara Enim yang diselesaikan pada tahun 2011, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMPN 1 Muara Enim yang diselesaikan pada tahun 2014, dan dilanjutkan ke pendidikan tingkat atas di SMAN 1 Muara Enim yang diselesaikan pada tahun 2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri).

Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif didalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai anggota Departemen Kesekretariatan periode tahun 2018/2019. Kemudian pada periode 2019/2020 penulis tercatat lagi sebagai anggota Departemen Kesekretariatan. Pada tahun 2020 penulis menjadi panitia inti (Festival) pada acara The Biggest Event of Civil Engineering Lampung University The 6<sup>th</sup> Civil Brings Revolution yang bertema “Build Your Nation For Your Generation”.

Pada tahun 2020 Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) Program Mandiri Putra Daerah di Kota Muara Enim, Sumatera Selatan, selama 40 hari pada periode I, April – Mei 2021. Dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Sipil, penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Gedung Bank Tabungan Negara KC Karawang yang berlokasi di Jl. Galuh Mas Raya, Sukaharja, Telukjambe Timur, Kab. Karawang, selama 3 bulan terhitung sejak tanggal 24 Mei sampai 24 Agustus 2021.

Penulis mengambil tugas akhir dengan judul Pengaruh Antrian Ikutan Akibat Perlintasan Kereta Api di Jalan Perintis Kemerdekaan Terhadap Penurunan Kecepatan pada Jalan Gatot Subroto.



## *Motto*

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”  
(QS. Al-Baqarah : 286)

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lain”  
(HR. Ahmad, Ath-Thabrani, Ad-Daruqutni)

“Yakinlah, ada sesuatu yang menantimu selepas banyak kesabaran yang kau jalani, yang akan membuatmu terpana hingga kau lupa betapa pedihnya rasa sakit”  
(Ali bin Abi Thalib)

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan menjadi takdirku, dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan pernah melewatkanmu”  
(Umar bin Khatab)

“Jadilah anak muda yang produktif, sehingga menjadi pribadi yang profesional dengan tidak melupakan dua hal yaitu iman dan takwa”  
(B.J. Habibie)

“Kadang kita terlalu sibuk memikirkan kesulitan-kesulitan, sehingga kita tidak punya waktu untuk mensyukuri rahmat Tuhan”  
(Jenderal Soedirman)

## SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan skripsi dengan judul “*Pengaruh Antrian Ikutan Akibat Perintasan Kereta Api di Jalan Perintis Kemerdekaan Terhadap Penurunan Kecepatan pada Jalan Gatot Subroto*” adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. 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 sekaligus Dosen Pembimbing II, atas arahan, bimbingan dan dukungan kepada penulis selama masa perkuliahan.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
4. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang sudah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, serta semangat dalam membimbing dalam penyusunan skripsi.
5. Ibu Siti Anugrah Mulya Putri Ofrial, S.T., M.T., selaku Pembimbing Kedua atas segala arahan, masukan, bimbingan dan dukungan dalam hal penyusunan skripsi.
6. Ibu Dr. Rahayu Sulistiyorini, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang telah memberi saran, arahan, dan dukungan dalam pengerjaan skripsi.
7. Seluruh dosen Program Studi S1 Teknik Sipil atas semua bekal ilmu pengetahuan yang telah diberikan.

8. Kedua orangtuaku tercinta, Bapak Gunawan dan Ibu Susniati, yang selalu menyebut namaku dalam setiap doanya, memberikan nasehat, dukungan, mengajarkanku hal-hal yang Allah cintai, dan selalu menjadi orang yang paling berjasa dalam hidupku.
9. Sahabat-sahabatku tersayang Dinda Maya Sari Putri, Ilham Zukri Batubara, Meryana, Milenia Permata, Ayu Lena Meilina, Rico Adrian, dan Anugrah Gusti Ridwanda, yang sudah menjadi teman, sahabat, dan tempat berbagi cerita selama perkuliahan, sangat senang mengenal kalian semoga persahabatan kita selalu awet sampai kapanpun.
10. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017, yang selalu berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman, dan membuat kesan yang tak terlupakan, terimakasih atas kebersamaan kalian. Sukses selalu untuk kita semua.
11. Seluruh keluarga besar HIMATEKS (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil) Universitas Lampung yang telah mendukung dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Semua pihak yang telah membantu tanpa pamrih yang tidak dapat di sebutkan keseluruhan satu persatu, semoga kita semua berhasil menggapai impian.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, besar harapan semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat khususnya dalam bidang rekayasa lalu lintas dan transportasi. Aamiin.

Bandar Lampung,            2023  
Penulis,

**Renaldy Sugendra**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
1.5. Batasan Masalah .....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1. Karakteristik Jalan Raya .....	5
2.1.1. Arus dan Volume Lalu Lintas ( <i>Flow</i> ).....	6
2.1.2. Kecepatan ( <i>Speed</i> ) .....	7
2.1.3. Kepadatan ( <i>Density</i> ).....	9
2.2. Perhitungan Volume, Kecepatan, dan Kerapatan .....	9
2.2.1. Perhitungan Volume .....	10
2.2.2. Ekuivalensi Mobil Penumpang .....	10
2.2.3. Perhitungan Kecepatan .....	11
2.2.4. Perhitungan Kepadatan .....	13
2.3. Permodelan Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan .....	13
2.3.1. Kepadatan ( <i>Density</i> ) .....	13
2.4. Tundaan.....	21
2.5. Antrian .....	22
2.6. Perlintasan Sebidang Rel Kereta Api.....	23
2.7. Gelombang Kejut .....	24
2.7.1. Klasifikasi Gelombang Kejut.....	24
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>32</b>
3.1. Tahapan Pekerjaan .....	32
3.2. Pemilihan Lokasi Penelitian .....	33
3.3. Studi Literatur .....	34
3.4. Peralatan.....	34

3.5. Waktu Penelitian.....	35
3.6. Alat Penelitian.....	35
3.7. Pengumpulan Data .....	36
<b>IV. PELAKSANAAN PEKERJAAN.....</b>	<b>38</b>
4.1. Parameter Karakteristik Lalu Lintas .....	38
4.1.1. Nilai Ekvivalen Kendaraan Ringan (EKR).....	38
4.2. Kecepatan Lalu Lintas .....	47
4.3. Volume Lalu Lintas .....	54
4.4. Kepadatan Lalu Lintas .....	58
4.5. Hubungan Matematis Antara Volume, Kecepatan, dan Kepadatan dengan Metode <i>Greenshields</i> .....	62
4.6. Nilai Gelombang Kejut .....	68
<b>V. KESIMPULAN.....</b>	<b>82</b>
5.1. Kesimpulan .....	82
5.2. Saran .....	83

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ilustrasi antrian kendaraan yang terjadi .....	2
2. Hubungan antara arus, kecepatan, dan kerapatan .....	15
3. Kombinasi pasangan kendaraan yang ditinjau .....	16
4. Contoh cara pencatatan <i>time headway</i> KR-KR.....	17
5. Klasifikasi gelombang kejut.....	25
6. Perwujudan gelombang kejut pada jalur menyempit.....	27
7. Gelombang kejut saat kereta api melintas dan pintu perintasan ditutup.....	28
8. Lokasi antrian dan lokasi hilangnya antrian.....	30
9. Diagram alir prosedur penelitian.....	32
10. Lokasi penelitian .....	33
11. Sketsa dimensi lokasi penelitian .....	35
12. Mekanisme pengambilan data kecepatan dengan 3 antrian kendaraan.....	48
13. Data kecepatan rata-rata lalu lintas waktu pengamatan pagi hari .....	53
14. Data kecepatan rata-rata lalu lintas waktu pengamatan sore hari .....	54
15. Data volume rata-rata lalu lintas waktu pengamatan pagi hari .....	57
16. Data volume rata-rata lalu lintas waktu pengamatan sore hari .....	58
17. Data kepadatan rata-rata lalu lintas waktu pengamatan pagi hari.....	61
18. Data kepadatan rata-rata lalu lintas waktu pengamatan sore hari .....	61
19. Hubungan antara volume (V), kecepatan (S), dan kepadatan (D) pengamatan pagi hari .....	66
20. Hubungan antara volume (V), kecepatan (S), dan kepadatan (D) pengamatan sore hari.....	67
21. Gelombang kejut pada penyempitan jalan (jarak dan waktu).....	70
22. Ilustrasi penyempitan ruas jalan saat terjadi antrian .....	80

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kerangka dasar karakteristik lalu lintas .....	5
2. Rekomendasi panjang jalanan untuk studi kecepatan setempat.....	8
3. EKR untuk jalanan perkotaan terbagi dan satu arah .....	11
4. Data <i>time headway</i> tiap antrian kendaraan waktu pengamatan 08.45 – 08.50.....	39
5. Hasil pengamatan senjang rata-rata <i>time headway</i> waktu pengamatan pagi hari.....	41
6. Hasil pengamatan senjang rata-rata <i>time headway</i> waktu pengamatan sore hari .....	41
7. Nilai <i>time headway</i> terkoreksi waktu pengamatan pagi hari .....	42
8. Nilai <i>time headway</i> terkoreksi waktu pengamatan sore hari .....	42
9. Hasil perhitungan nilai EKR SM waktu pengamatan pagi hari .....	45
10. Hasil perhitungan nilai EKR SM waktu pengamatan sore hari .....	45
11. Rekapitulasi perhitungan nilai EKR SM, KR, dan KB waktu pengamatan pagi hari .....	46
12. Rekapitulasi perhitungan nilai EKR SM, KR, dan KB waktu pengamatan sore hari.....	46
13. Data perhitungan kecepatan kendaraan saat terjadi antrian akibat penutupan palang pintu pada pukul 08.45 – 08.50.....	50
14. Kecepatan total pukul 08.45 – 08.50 waktu pengamatan pagi hari .....	52
15. Rekapitulasi kecepatan waktu pengamatan pagi dan sore hari .....	52
16. Volume kendaraan pukul 08.45 – 08.50 .....	55
17. Volume kendaraan pukul 08.45 – 08.50 terkonversi .....	55
18. Rekapitulasi nilai volume waktu pengamatan pagi dan sore hari .....	56
19. Data perhitungan kepadatan pukul 08.45 – 08.50 waktu pangamatan pagi hari.....	59
20. Data perhitungan kepadatan pukul 08.45 – 08.50 waktu pangamatan sore hari .....	60
21. Data regresi untuk model <i>Greenshields</i> pagi hari .....	63
22. Data regresi untuk model <i>Greenshields</i> sore hari .....	64
23. Perhitungan nilai gelombang kejut dengan satu antrian kendaraan waktu pengamatan pagi hari.....	70
24. Perhitungan nilai gelombang kejut dengan dua antrian kendaraan waktu pengamatan pagi hari.....	70
25. Perhitungan nilai gelombang kejut dengan empat antrian kendaraan waktu pengamatan pagi hari.....	71

26. Perhitungan nilai gelombang kejut dengan satu antrian kendaraan waktu pengamatan sore hari.....	71
27. Perhitungan nilai gelombang kejut dengan dua antrian kendaraan waktu pengamatan sore hari.....	71
28. Perhitungan nilai gelombang kejut dengan tiga antrian kendaraan waktu pengamatan sore hari.....	72
29. Perhitungan nilai gelombang kejut dengan empat antrian kendaraan waktu pengamatan sore hari.....	72
30. Panjang antrian dan waktu penormalan satu antrian hasil pengamatan pagi hari .....	73
31. Panjang antrian dan waktu penormalan satu antrian hasil pengamatan sore hari.....	73
32. Panjang antrian dan waktu penormalan dengan satu antrian kendaraan hasil perhitungan pagi hari .....	74
33. Panjang antrian dan waktu penormalan dengan satu antrian kendaraan hasil perhitungan sore hari .....	75
34. Perbandingan antara waktu penormalan T hasil survei dan T riil dengan satu antrian kendaraan pagi hari .....	75
35. Perbandingan antara waktu penormalan T hasil survei dan T riil dengan satu antrian kendaraan sore hari .....	76
36. Perbandingan antara panjang antrian Q hasil survei dan Q riil dengan satu antrian kendaraan pagi hari .....	76
37. Perbandingan antara panjang antrian Q hasil survei dan Q riil dengan satu antrian kendaraan sore hari .....	77
38. Rekapitulasi hasil uji validitas model pagi hari .....	78
39. Rekapitulasi hasil uji validitas model pagi hari .....	78
40. Tundaan yang terjadi akibat adanya antrian kendaraan pada saat palang pintu kereta api ditutup pagi hari.....	78
41. Tundaan yang terjadi akibat adanya antrian kendaraan pada saat palang pintu kereta api ditutup sore hari.....	79

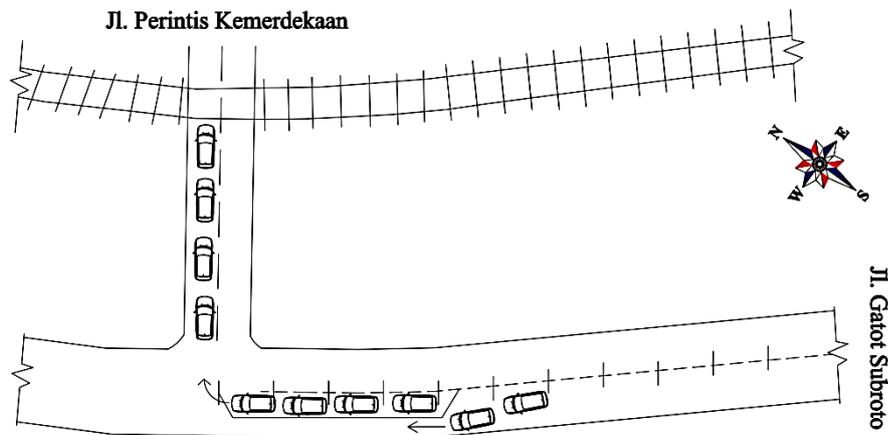
## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Semakin banyak terjadinya pergerakan masyarakat di antara Pulau Sumatera dan Pulau Jawa menyebabkan meningkatnya arus lalu lintas pada mayoritas ruas jalan yang ada di Kota Bandar Lampung. Penyempitan jalan merupakan salah satu permasalahan yang paling umum ditemui dan sangat berpotensi dalam mempengaruhi kondisi lalu lintas (Yupiter Indrajaya, 2003). Adapun definisi dari penyempitan jalan adalah suatu bagian jalan dengan kondisi kapasitas lalu lintas sesudahnya lebih kecil dari bagian masuk. Sehingga pada kondisi seperti ini sangat memungkinkan antrian kendaraan yang diakibatkan adanya perubahan arus, kecepatan, dan kepadatan ruas jalan untuk terjadi.

Kondisi jalan seperti ini terjadi pada Jalan Gatot Subroto, Pahoman, Kota Bandar Lampung dimana penyebab utama terjadinya penyempitan disebabkan oleh penutupan pelang kereta api yang pada Jalan Perintis Kemerdekaan. Hal ini juga sangat berpotensi dalam menimbulkan antrian kendaraan pada kedua sisi lajur jalan yang berada di antara jalur kereta api sehingga pada saat pelang kereta dibuka, kendaraan yang datang dari sisi lajur sebelah kiri arah utara pertigaan Jalan Gatot Subroto dan hendak meneruskan perjalanan ke arah timur harus berhati-hati terhadap kendaraan yang datang dari lajur sisi kanan arah timur Jalan Gatot Subroto menuju ke lajur kiri Jalan Perintis kemerdekaan serta kendaraan yang datang dari lajur sisi kanan Jalan Perintis kemerdekaan dan hendak menuju ke lajur kiri Jalan Gatot Subroto, sehingga penurunan kecepatan kendaraan yang terjadi pada ruas Jalan Gatot Subroto tidak dapat dihindarkan. Untuk lebih didapatkan

gambaran dari antrian kendaraan yang terjadi pada kedua ruas jalan tersebut, dilampirkan ilustrasi sebagaimana di seperti pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Ilustrasi antrian kendaraan yang terjadi.

Ditinjau dari penjabaran permasalahan pertigaan Jalan Gatot Subroto di atas, untuk mengetahui cara yang efektif dalam mengatasi penyempitan jalan yang terjadi maka harus dilakukan upaya peningkatan kinerja pertigaan agar tercapai kelancaran lalu lintas yang optimal. Oleh karena itu, sebagai penulis tugas akhir ini saya tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Antrian Ikutan Akibat Perlintasan Kereta Api di Jalan Perintis Kemerdekaan Terhadap Penurunan Kecepatan Kendaraan pada Jalan Gatot Subroto”.

## 1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan keterbatasan dalam hal waktu, kemampuan, dan kesempatan mahasiswa dalam penelitian, maka penelitian ini hanya akan membahas mengenai:

1. Bagaimana pengaruh antrian kendaraan akibat penutupan palang kereta api di Jalan Perintis Kemerdekaan terhadap tundaan yang terjadi di Jalan Gatot Subroto?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar tundaan kecepatan kendaraan yang terjadi pada Jalan Gatot Subroto Pahoman, Kota Bandar Lampung, Lampung.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan penulis dapatkan setelah dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mendapat pengalaman dalam melakukan penelitian di bidang ilmu ketekniksipilan terkhususnya pada konsentrasi transportasi.
2. Sebagai acuan refrensi penelitian selanjutnya yang merujuk pada kasus dan metode yang sama.
3. Memberikan informasi kepada pihak berwenang dalam MRL (Manajemen Rekayasa Lalu Lintas) di Kota Bandar Lampung.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan pada penilitan ini antara lain, adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di pertigaan Jalan Gatot Subroto – Jalan Perintis Kemerdekaan.
2. Pokok bahasan dalam studi ini ialah analisis penurunan kecepatan kendaraan pada Jalan Gatot Subroto dengan menggunakan metode Gelombang Kejut.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Uraian sistematika penulisan penelitan yang dilakukan ini tercakup ke dalam lima bab, yakni sebagai berikut:

## BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang uraian mendetail terkait informasi-informasi yang digunakan pada penelitian ini seperti latar belakang, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian serta sistematika penulisannya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Di dalam bab ini terdapat kajian mengenai teori-teori dasar yang digunakan untuk membahas dan menganalisa masalah serta beberapa istilah studi literatur yang memiliki kaitan dan dapat digunakan dalam penelitian ini.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi metode tentang penerapan dari teori-teori yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya kemudian disusun sedemikian rupa menjadi langkah-langkah pemecahan masalah yang dihadapi.

## BAB IV PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA

Dalam bab ini terdapat data-data penelitian yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis hingga memperoleh hasil dari pengolahan data yang ditentukan sebelumnya.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab terakhir ini dikemukakan untuk kesimpulan serta saran penulis terkait penelitian yang telah dibahas dan dilakukan sebelumnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Karakteristik Jalan Raya

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 1 menggambarkan kerangka dasar dari karakteristik lalulintas. Tabel 1. Kerangka Dasar Karakteristik Lalu Lintas.

Karakteristik Lalu Lintas	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

Sumber: PKJI 2014

Mewakili karakteristik arus makroskopik diskusi dengan aliran menekankan pola variasi lokasi dan jenis kendaraan dari waktu ke waktu. Karakteristik kecepatan makroskopik menganalisis kecepatan sekelompok kendaraan yang melewati sudut pandang atau bentang jalan yang telah ditentukan dalam jangka waktu tertentu. Fokus utama adalah pada perubahan waktu, ruang dan jenis kendaraan. Karakteristik kepadatan makroskopik adalah situasi dimana kendaraan yang menempati suatu ruas jalan. Hal ini juga penting dalam mengevaluasi kinerja lalu lintas dari sudut pandang pengguna maupun pengelola jalan;

### 2.1.1. Arus dan Volume Lalulintas (*Flow*)

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI 2014) Arus lalu lintas disebut juga dengan jumlah kendaraan yang melewati suatu titik di jalan per satuan waktu dimana secara umum dinyatakan dalam kendaraan per jam. Sedangkan volume adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tiap satuan waktu (Alamsyah, 2008). Volume biasanya diukur dalam satuan kendaraan/hari atau kendaraan/jam. Volume juga dapat dinyatakan dalam periode waktu lain menyesuaikan pada kebutuhan dan situasi.

Aktivitas lalu lintas umumnya rendah di malam hari, tetapi meningkat pesat ketika orang mulai bekerja. Lalu lintas disaat jam sibuk sering terjadi pada jalan-jalan perkotaan ketika orang-orang pergi bekerja atau sekolah. Sulit untuk memperkirakan volume jam sibuk di jalanan antar kota. Dalam pembahasannya volume dibagi menjadi 3 (tiga) (Soedirdjoe, 2002) yaitu:

#### 1. Volume harian (*Daily Volume*)

Ada empat parameter volume harian yang banyak digunakan yaitu:

- a) Lalu Lintas Harian Tahunan Rata-Rata (AADT) adalah volume lalu lintas rata-rata 24 jam pada lokasi tertentu selama 365 hari penuh, yaitu jumlah total kendaraan yang melewati lokasi tersebut kemudian dibagi 365.
- b) Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan (LKHRT) adalah lalu lintas rata-rata 24 jam yang terjadi pada hari kerja di sepanjang tahun.
- c) Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR) atau *Average Daily Traffic* (ADT) adalah lalu lintas rata-rata 24 jam di suatu lokasi selama periode kurang dari setahun. Sedangkan AADT dihitung sepanjang tahun.

d) *Average Weekday Traffic* (AWT) adalah rata-rata lalu lintas 24 jam yang terjadi pada hari kerja selama periode kurang dari satu tahun, seperti satu bulan atau suatu periode waktu.

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

Yaitu suatu pengamatan terhadap arus lalu lintas 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 (*Hourly Volumes*)

Yaitu pengamatan terhadap arus lalu lintas berdurasi sekitar satu jam.

### 2.1.2. Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan adalah ukuran jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh (Soedirdjo, 2002). Kecepatan suatu kendaraan dipengaruhi oleh faktor manusia, kendaraan, infrastruktur, dan juga oleh lalu lintas itu sendiri, serta kondisi cuaca dan lingkungan alam sekitarnya.

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

1. Kecepatan Titik/Sesaat (*Spot Speed*)

Merupakan kecepatan sesaat kendaraan ketika melewati titik tetap tertentu di jalan.

2. Kecepatan Perjalanan (*Journey Speed*)

Merupakan kecepatan efektif rata-rata kendaraan lalu jarak yang ditempuh dibagi dengan total waktu tempuh.

### 3. Kecepatan Bergerak (*Running Speed*)

Merupakan kecepatan rata-rata kendaraan untuk menempuh jarak tertentu dalam keadaan saat kendaraan masih mengemudi, yaitu keadaan setelah disimpulkan dengan adanya hambatan (misalnya hambatan di persimpangan). Kecepatan perjalanan ini dapat ditentukan dari jarak yang ditempuh dibagi dengan total waktu tempuh dikurangi dengan waktu berhenti yang disebabkan oleh hambatan yang disebabkan oleh gangguan lalu lintas.

### 4. Hambatan (*Delay*)

- Hambatan tetap (*fixed delay*)
- Hambatan bergerak (*running delay*)

Perihal akan lalu lintas yang berjalan, setiap kendaraan melaju dengan kecepatan yang berbeda. Oleh karena itu, volume lalu lintas tidak disebut kecepatan, tetapi lebih dikenal sebagai distribusi kecepatan suatu kendaraan. Dari distribusi tersebut, nilai rerata atau *typical value* dapat digunakan untuk menentukan karakteristik arus lalu lintas dan panjang jalan yang dibutuhkan untuk mencari kecepatan, panjang jalan yang direkomendasikan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Rekomendasi Panjang Jalan untuk Studi Kecepatan Setempat.

Perkiraan kecepatan rata-rata arus lalu lintas (km/jam)	Panggal jalan (m)
< 40	25
40- 65	50
> 65	75

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga, 1990.

### 2.1.3. Kepadatan (*Density*)

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

Menurut Soedirdjoe (2002), kepadatan adalah jumlah kendaraan yang digunakan pada suatu ruas jalan, biasanya sepanjang 1 km dan satu lajur. Kepadatan lalu lintas berkisar dari 0 (tidak ada kendaraan di jalur 1 km) hingga nilai yang menunjukkan garis atau antrian kendaraan yang tidak bergerak. Batas atas disebut kepadatan dan biasanya ada di antara 115 dan 156 kendaraan per kilometer.

Kepadatan sulit diukur secara langsung (karena memerlukan titik tinggi tertentu yang memungkinkan jumlah kendaraan dapat diamati pada suatu ruas jalan), sehingga besaran yang ditentukan dari dua parameter sebelumnya adalah kecepatan dan volume (Alamsyah, 2008). Dimana densitas, kecepatan dan volume memiliki hubungan seperti terlihat pada persamaan (1) dan (2) di bawah ini:

- $V = \bar{U}_{sr} \times D$ .....(1)

- $D = V / \bar{U}_{sr}$ .....(2)

Keterangan:

V = volume (skr/jam)

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

D = kepadatan (skr/km)

## 2.2 Perhitungan Volume, Kecepatan, dan Kerapatan

Volume merupakan jumlah kendaraan yang melintasi suatu arus jalan yang diukur pada periode waktu yang telah ditentukan dengan menggunakan satuan kendaraan per satuan waktu.

### 2.2.1. Perhitungan Volume

Volume kendaraan merupakan parameter yang menggambarkan keadaan lalu lintas di jalan. Kendaraan yang menggunakan suatu segmen dijumlahkan dengan mengalikan faktor konversi kendaraan yang ditentukan agar kemudian jumlah kendaraan yang menggunakan segmen ini dapat ditentukan. Nilai ini kemudian dikonversi menjadi variabel bersatuan skr/jam untuk mendapatkan nilai volume lalu lintas kendaraan per jam.

### 2.2.2. Ekuivalensi Mobil Penumpang

Untuk menganalisis dan menghitung volume lalu lintas dari berbagai jenis kendaraan yang ada, perlu dilakukan pengubahan satuan menjadi satu unit kendaraan ringan yang disebut unit mobil penumpang dengan menggunakan faktor ekuivalen mobil penumpang. PKJI (2014), mendefinisikan unit mobil penumpang dan unit setara mobil penumpang sebagai berikut:

- Satuan Kendaraan Ringan, yakni satuan arus, dimana lalu lintas berbagai jenis kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan EKR.
- Ekuivalensi Kendaraan Ringan, yaitu koefisien konversi jenis kendaraan yang berbeda relatif terhadap mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya sehubungan dengan dampaknya terhadap perilaku jalan.

Menurut PKJI (2014), jalan perkotaan dan persimpangan, kendaraan pada arus lalu lintas dapat dibagi dalam 3 (tiga) tipe yakni sebagai berikut:

- a) 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.

- b) 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.
- c) 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 3.

Tabel 3. EKR untuk Jalan Perkotaan Terbagi dan Satu Arah.

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

Berdasar pada Tabel 3 dapat diketahui volume lalulintas yang melewati suatu titik dihitung melalui persamaan (3) sebagaimana di bawah ini:

$$V = \sum (V_i \text{ EKR}_i) \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

V = Volume (Skr/jam)

$V_i$  = Arus kendaraan tipe ke-i

$\text{EKR}_i$  = Faktor ekr kendaraan tipe ke-i

### 2.2.3. Perhitungan Kecepatan

Kecepatan adalah laju kendaraan yang dinyatakan sebagai besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh dibagi waktu tempuh. Kecepatan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4) di bawah ini:

$$\bar{U} = \frac{x}{t} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

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

x = jarak tempuh kendaraan (km)

t = waktu tempuh kendaraan (jam)

Kecepatan kendaraan pada suatu ruas jalan akan bervariasi tergantung pada waktu dan volume lalu lintas. Ada 2 (dua) hal penting yang perlu diperhatikan dalam mengevaluasi hasil dari perhitungan studi kecepatan kendaraan, yaitu:

- a. Kecepatan ruang (sr) menunjukkan kecepatan rata-rata kendaraan pada suatu ruas jalan selama periode tertentu yang dinyatakan dalam km/jam.
- b. Kecepatan rata-rata terhadap waktu (t) menunjukkan kecepatan kendaraan yang melewati suatu titik selama periode 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 persamaan. (5) dan persamaan (6) sebagai berikut:

$$\bar{U}_t = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X}{t_i}}{n} \dots \dots \dots (5)$$

$$\bar{U}_{sr} = \frac{x \cdot n}{\sum_{i=1}^n t_i} \text{ atau } \bar{U}_{sr} = \frac{x}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

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

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

X = jarak tempuh (km)

t<sub>i</sub> = waktu tempuh kendaraan (jam)

n = jumlah kendaraan yang diamati

#### 2.2.4. Perhitungan Kepadatan

Kepadatan adalah parameter yang menggambarkan kondisi lalu lintas ketika ada sejumlah besar kendaraan yang menempati suatu ruas jalan tertentu. Nilai densitas dapat dihitung jika sebelumnya telah diperoleh nilai volume dan kecepatan menggunakan persamaan ini (7):

$$D = \frac{V}{\bar{U}_{sr}} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

- D = kerapatan (skr/km)
- V = volume lalulintas (skr/jam)
- $\bar{U}_{sr}$  = kecepatan rata-rata ruang

### 2.3 Pemodelan Hubungan Antara Volume, Kecepatan dan Kerapatan

Analisis suatu ruas jalan didasarkan pada hubungan antara ketiga variabel parameter di atas yaitu volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada kondisi lalu lintas ideal. Hubungan tersebut mengikuti definisi kriteria tingkat layanan berdasarkan faktor penyesuaian untuk kendaraan yang berbeda.

#### 2.3.1. Arus dan Volume Lalulintas (*Flow*)

Model ini adalah yang pertama direkam dalam upaya untuk mengamati perilaku lalu lintas. Greenshields melakukan penelitian terhadap jalur lalu lintas di kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tidak terputus dan bergerak bebas (kondisi steady state). Greenshields menemukan bahwa hubungan antara kecepatan dan kepadatan adalah linier. Hubungan linier antara kecepatan dan kepadatan ini telah menjadi hubungan yang paling umum dalam jurnal pergerakan lalu lintas, karena fungsi relasinya paling sederhana dan oleh karena itu mudah diterapkan. Persamaan umum untuk hubungan antara kecepatan dan kepadatan

menggunakan regresi linier adalah seperti yang ditunjukkan pada persamaan (8) di bawah ini:

$$Y = A + Bx \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

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

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

Sehubungan 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 persamaan (9) sebagai berikut:

$$\bar{U}_{sr} = \bar{U}_f - \frac{\bar{U}_f}{D_j} \times D \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan:

$\bar{U}_{sr}$  = Kecepatan rata-rata ruang

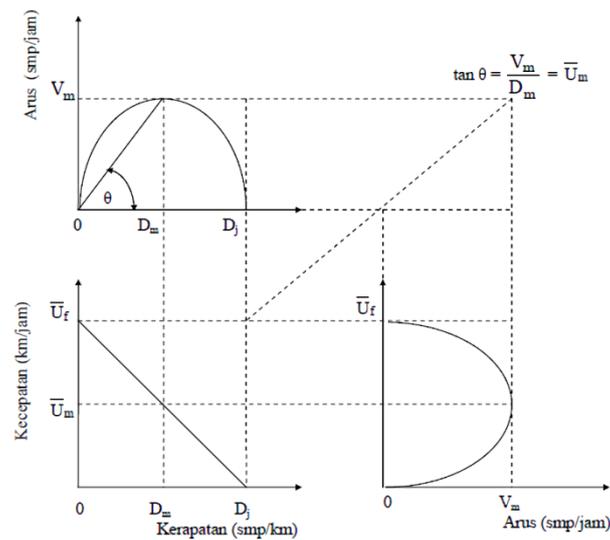
$\bar{U}_f$  = Kecepatan rata-rata ruang keadaan arus bebas (*free flow*)

$D_j$  = Kerapatan pada saat macet (*jam density*)

$D$  = Kerapatan

Selanjutnya, hubungan antara ketiga kecepatan, volume dan kepadatan ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar ini menunjukkan bentuk umum hubungan antara volume dan kecepatan, volume dengan kepadatan serta kecepatan dengan kerapatan. Hubungan antara kecepatan dan kepadatan adalah monoton ke bawah, artinya jika kepadatan meningkat, maka kecepatan menurun. Volume menjadi nol ketika densitasnya sangat tinggi sehingga tidak memungkinkan kendaraan untuk bergerak. Ketika kepadatannya nol, tidak akan ada kendaraan yang ada di lokasi sehingga volume

juga akan bernilai nol. Di antara dua nilai ekstrim yang didapat, hubungan antara dua parameter tersebut dapat dikembangkan.



Gambar 2. Hubungan antara arus, kecepatan, dan kerapatan.

Gambar 2 menunjukkan beberapa poin penting, yaitu tingkat volume nol terjadi di bawah dua kondisi yang berbeda. Pertama, jika tidak ada sampel pada media, maka nilai densitas dan fluksnya sama dengan nol. Secara teoritis, kecepatan dalam kondisi ini ditentukan oleh pengemudi pertama (dengan asumsi nilai yang tinggi). Kecepatan ini dinyatakan dalam  $\bar{U}_f$ . Kedua, jika kepadatan menjadi sangat tinggi sehingga semua kendaraan harus berhenti, maka kecepatannya adalah nol dan begitu pula arusnya. Karena tidak ada pergerakan maka kendaraan tidak dapat melewati setiap titik ruas jalan tersebut. Kepadatan di mana semua kendaraan berhenti disebut kepadatan kemacetan yang dinyatakan dalam  $D_j$ .

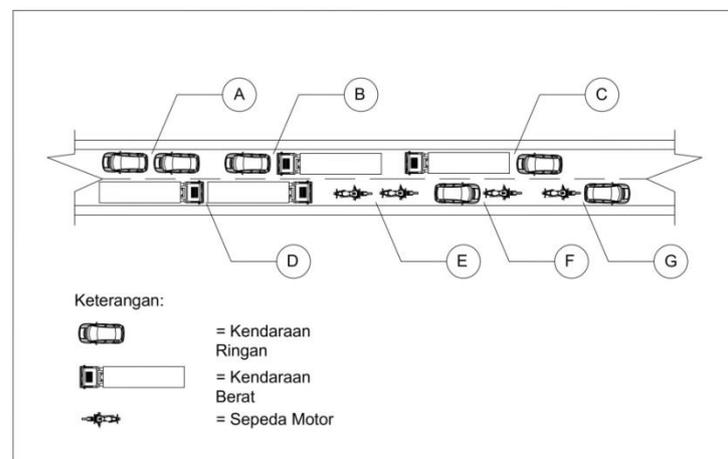
Di antara dua kondisi ekstrim tersebut, dinamika arus lalu lintas menghasilkan efisiensi yang maksimal. Saat arus meningkat dari nol, kepadatan juga meningkat karena lebih banyak mobil di jalan. Jika ini terjadi, kecepatan akan berkurang karena interaksi antar kendaraan. Penurunan ini dapat diabaikan pada kepadatan dan aliran rendah dan sedang. Ketika kepadatan meningkat,

kurva ini menunjukkan bahwa kecepatan berkurang secara signifikan sebelum mencapai kapasitas. Ketika densitas meningkat dari nol, arus juga meningkat. Namun, jika kerapatan terus meningkat, akan tercapai suatu titik di mana kecepatan dan arus akan berkurang. Titik maksimum ini disebut kapasitas.

a. Waktu Antara (*Headway*)

Waktu antara (maju) adalah waktu antara dua kendaraan yang melewati suatu titik tertentu. Semakin kecil jangka waktunya, semakin tinggi kapasitas prasarananya. Waktu antara yang digunakan dalam rekayasa lalu lintas jalan berkaitan dengan kapasitas beban jalan.

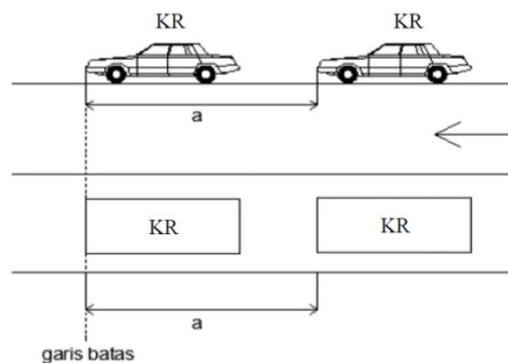
Perhitungan Nilai Ekuivalen Kendaraan Ringan (EKR) dengan Analisis Rasio Headway. Dalam bukunya yang berjudul “*Highway Traffic Analysis and Design*”, R.J. Salter menerangkan cara menghitung nilai Ekuivalen Kendaraan Ringan (EKR). Nilai EKR didapat dengan mencatat waktu antara (time headway) kendaraan yang berurutan pada saat kendaraan tersebut melewati suatu titik pengamatan yang telah ditentukan. Penjelasan dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Kombinasi pasangan kendaraan yang ditinjau.

Pada gambar di atas menjelaskan cara mencatat *time headway* kendaraan yang berurutan pada saat melewati suatu titik pengamatan. Pada gambar diterangkan bahwa:

- A = pencatatan *time headway* antara kendaraan ringan dengan kendaraan ringan yang berurutan,
- B = pencatatan *time headway* antara kendaraan ringan dengan kendaraan berat yang berurutan,
- C = pencatatan *time headway* antara kendaraan berat dengan kendaraan ringan yang berurutan,
- D = pencatatan *time headway* antara kendaraan berat dengan kendaraan berat yang berurutan,
- E = pencatatan *time headway* antara sepeda motor dengan sepeda motor yang berurutan,
- F = pencatatan *time headway* antara kendaraan ringan dengan sepeda motor yang berurutan,
- G = pencatatan *time headway* antara sepeda motor dengan kendaraan ringan yang berurutan.



Gambar 4. Contoh cara pencatatan *time headway* KR-KR.

Gambar 4. menunjukkan contoh cara menghitung waktu antara kendaraan ringan dan kendaraan ringan secara berurutan. Gambar di bawah menunjukkan bagaimana jarak waktu dihitung dengan mengamati waktu antara kendaraan yang lewat berdasarkan titik yang telah ditentukan oleh pengamat.

Dikarenakan sampel dipilih acak maka dimungkinkan adanya suatu kesalahan standar deviasi dari distribusi yang dinyatakan sebagai *standard error* (E) yang dapat dicari nilainya menggunakan persamaan (10) sebagai berikut:

$$E = \frac{S}{n^{0.5}} \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan:

E = *standard error*

s = standar deviasi

n = jumlah sampel

dengan s adalah standar deviasi:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2},$$

dimana:

$x_i$  = nilai *time headway* ke-i

$\bar{x}$  = nilai rata-rata sampel *time headway*

Untuk perkiraan nilai rata-rata *time headway* seluruh pasangan kendaraan ( $\mu$ ) dapat disesuaikan dengan tingkat kepastian atau keyakinan yang diinginkan (*desired level of confidence*). Perkiraan ini terletak dalam suatu interval yang disebut interval keyakinan (*confidence interval*) yang mempunyai batas toleransi kesalahan sebesar e dan variabel tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (11) sebagaimana di bawah ini:

$$e = K \cdot E \dots \dots \dots (11)$$

dimana:

K = tingkat kepastian distribusi normal

E =  $\mu_{1,2} = \bar{x} \pm e$

$\mu_{1,2}$  = batas keyakinan atas dan bawah nilai rata-rata

$\bar{x}$  = nilai rata-rata *time headway*

e = batas toleransi kesalahan

Pada sampel kurang dari 30 ( $n < 30$ ) maka perkiraan rata-rata *time headway* pasangan kendaraan secara keseluruhan sebaiknya dilakukan dengan distribusi t atau disebut juga distribusi *student*.

Nilai EKR KB dihitung dengan cara membagi nilai rata-rata *time headway* KB diikuti KB dengan nilai rata-rata *time headway* KR diikuti KR. Hasil akan benar jika *time headway* KB tidak tergantung pada kendaraan yang mendahului maupun mengikutinya. Kondisi ini didapat jika jumlah rata-rata *time headway* KR diikuti KR ditambah rata-rata *time headway* KB diikuti KB sama dengan jumlah rata-rata *time headway* KR diikuti KB ditambah rata-rata *time headway* KB diikuti KR. (Sumber: Iskandar, 2010)

Hal tersebut diatas dapat ditulis dengan menggunakan persamaan (12) sebagai berikut:

$$t_a + t_d = t_b = t_c \dots\dots\dots(12)$$

dimana:

$t_a$  = nilai rata-rata *time headway* KR diikuti KR

$t_d$  = nilai rata-rata *time headway* KR diikuti KB

$t_b$  = nilai rata-rata *time headway* KB diikuti KR

$t_d$  = nilai rata-rata *time headway* KB diikuti KB

Keadaan yang dapat memenuhi persamaan di atas sulit diperoleh karena tiap kendaraan mempunyai karakteristik yang berbeda. Demikian juga pengemudi memiliki kemampuan berbeda dalam mengemudi. Oleh karena itu diperlukan koreksi terhadap nilai rata-rata *time headway* dengan menggunakan persamaan (13) sebagai berikut:

$$\left[ t_a - \frac{k}{nd} \right] + \left[ t_d - \frac{k}{nd} \right] = \left[ t_b + \frac{k}{nd} \right] + \left[ t_c + \frac{k}{nd} \right] \dots\dots\dots(13)$$

dengan:

$$k = \frac{na \times nb \times nc \times nd (ta+td-tb-tc)}{nd \times nb \times nc + na \times nb \times nc + na \times nd \times nc + na \times nd \times nb}$$

dimana:

na = jumlah data *time headway* KR diikuti KR

nb = jumlah data *time headway* KR diikuti KB

nc = jumlah data *time headway* KB diikuti KR

nd = jumlah data *time headway* KB diikuti KB

selanjutnya nilai rata-rata *time headway* pasangan kendaraan tersebut dikoreksi dengan menggunakan keempat persamaan seperti halnya berikut ini:

$$tak = ta - \frac{k}{na} \dots \dots \dots (14)$$

$$tbk = tb - \frac{k}{nb} \dots \dots \dots (15)$$

$$tck = tc - \frac{k}{nc} \dots \dots \dots (16)$$

$$tdk = td - \frac{k}{nd} \dots \dots \dots (17)$$

dengan menggunakan nilai rerata dari *time headway* yang sudah dilakukan koreksi, maka:

$$tak + tdk = tbk + tck \dots \dots \dots (18)$$

dimana:

tak = nilai rata-rata *time headway* KR-KR terkoreksi

tbk = nilai rata-rata *time headway* KR-KB terkoreksi

tck = nilai rata-rata *time headway* KB-KR terkoreksi

tdk = nilai rata-rata *time headway* KB-KB terkoreksi,

apabila semua persyaratan di atas telah memenuhi maka nilai EKR KB dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$EKR \text{ KB} = \frac{tdk}{tak} \dots \dots \dots (19)$$

## 2.4 Tundaan

Tundaan menurut PKJI (2014) disebut sebagai tambahan waktu tempuh yang diperlukan untuk melintasi simpang dibandingkan dengan keadaan tanpa simpang. Dua jenis tundaan yang dapat terjadi pada arus lalu lintas, yaitu:

### 1. Tundaan tetap.

Tundaan tetap adalah tundaan yang disebabkan oleh perangkat pengatur lalu lintas. Keterlambatan ini sering terjadi pada persimpangan. Berbagai faktor yang mempengaruhi terjadinya tundaan pada simpang, yaitu:

- Faktor-faktor fisik, yang meliputi jumlah jalur, lebar jalan, pengendali akses menuju jalan tersebut, dan tempat-tempat transit.
- Faktor fisik, antara lain jumlah lajur, lebar jalan, akses kontrol, dan lokasi transit. Kontrol lalu lintas, termasuk jenis dan waktu lampu lalu lintas, rambu berhenti, pengendali belokan dan parkir.

### 2. Tundaan Operasional.

Tundaan ini merupakan tundaan yang disebabkan oleh gangguan antar elemen arus lalu lintas atau tundaan yang disebabkan oleh pengaruh lalu lintas lainnya. Misalnya kendaraan yang masuk dan keluar tempat parkir, pejalan kaki, atau kendaraan yang tidak bergerak. Namun, tundaan operasional juga bisa disebabkan oleh terganggunya arus lalu lintas itu sendiri. Misalnya, kemacetan akibat jumlah kendaraan yang melebihi 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 lalulintas (*congestion*).

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 di persimpangan, semakin tinggi penundaan di persimpangan. Keterlambatan pada simpang jalan dan rel kereta api tidak hanya disebabkan oleh penutupan palang perlintasan, tetapi juga karena lintasan badan jalan yang tidak rata dan juga menyebabkan keterlambatan bahkan pada saat melintasi pintu gerbang yang sudah terbuka, yang disebut tundaan geometrik. Berdasarkan definisi di atas, secara matematis dapat disimpulkan persamaan (20) sebagai berikut:

$$W = W_0 + T \dots\dots\dots(20)$$

Keterangan:

W = Waktu tempuh total

W<sub>0</sub> = Waktu tempuh pada kondisi arus bebas, yang merupakan waktu minimum yang diperlukan untuk melintasi suatu ruas jalan tertentu.

T = Tundaan

Tundaan terdiri atas tundaan lalulintas (TT) dan tundaan Geometrik (TG), dan secara matematis dapat dinyatakan dengan persamaan (21) berikut ini:

$$T = TT + TG \dots\dots\dots(21)$$

dengan:

TT = Tundaan lalulintas rata-rata

TG = Tundaan geometrik rata-rata

## 2.5 Antrian

Antrian kendaraan merupakan fenomena lalu lintas yang terjadi setiap hari. Antrian dalam Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (2014) didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang mengantri pada suatu persimpangan dan dinyatakan dalam satuan kendaraan atau kendaraan penumpang,

sedangkan panjang antrian didefinisikan sebagai panjang antrian pada media dalam suatu pendekatan dan dinyatakan dalam meter. Pergerakan kendaraan dalam antrian akan dikendalikan oleh pergerakan majunya atau kendaraan dihentikan oleh bagian 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 jangka waktu tertentu, atau ketika waktu antara kedatangan kurang dari waktu layanan (pada tingkat mikro) di lokasi tertentu, antrian akan terbentuk. 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.

## **2.6 Perlintasan Sebidang Jalan dengan Rel Kereta Api**

Perlintasan sebidang antara jalan raya dan rel adalah kasus khusus bagian jalan raya di mana tanggung jawab peraturan dan keselamatan dibagi antara kepentingan jalan dan kepentingan perkeretaapian. Pengemudi kendaraan yang mendekati persimpangan harus memiliki pandangan yang tidak terhalang ke lorong yang cukup untuk memungkinkan pengendalian kendaraan. Selain dipertimbangkan dari segi keselamatan, perlintasan sebidang juga berdampak pada keterlambatan kendaraan. 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.

## 2.7 Gelombang Kejut

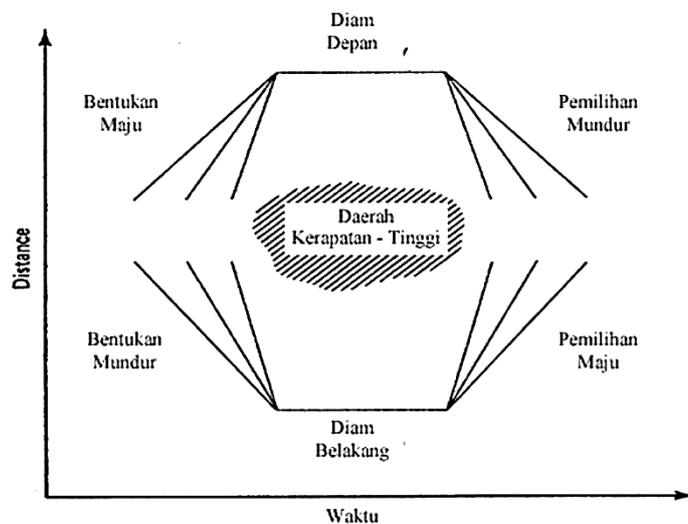
Gelombang kejut didefinisikan sebagai pergerakan arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kepadatan dan volume lalu lintas (Soedirdjo, 2002). Gelombang kejut terbentuk ketika arus berkepadatan rendah pada bentangan jalan diikuti oleh arus berkepadatan tinggi, kemungkinan sebagai akibat dari kecelakaan, berkurangnya lajur, atau memasuki tanjakan. Misalnya, perilaku berpatisipasi dalam berlalu lintas di pintu masuk jalan sempit, di persimpangan dengan lampu merah atau di persimpangan. Pada perlintasan sebidang, gangguan terjadi pada saat kereta 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

1. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary*), ditemukan pada penyempitan lajur (termasuk lampu lalu lintas) dan menunjukkan bahwa pada lokasi ini lalu lintas lebih besar dari kapasitas jalan. Istilah *front* menyiratkan bahwa itu adalah bagian depan (tepi hilir) dari zona padat dengan kepadatan lebih rendah di hilir dan lebih tinggi di hulu. Istilah diam berarti bahwa gelombang kejut terjadi di sana dan tidak berubah posisi seiring waktu.
2. Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary*), ditemukan di lokasi yang padat (termasuk lampu lalu lintas) dan menunjukkan bahwa di lokasi ini arus lalu lintas paling terlihat.
3. Gelombang kejut bentukan mundur (*backward forming*), terbentuk dalam kasus kemacetan dan menunjukkan area dalam ruang dan waktu di mana arus berlebih hadir. Istilah *reverse* berarti bahwa seiring waktu gelombang kejut akan bergerak ke arah yang berlawanan (arah hulu atau

berlawanan dengan arah aliran). Istilah *form* mengandung pengertian bahwa dari waktu ke waktu kemacetan akan bertambah dan berkembang di hulu. Dalam ruang dan waktu, daerah asal di sebelah kiri gelombang kejut memiliki kerapatan yang lebih rendah dan di sebelah kanan, kerapatan yang lebih tinggi.

4. Gelombang kejut pemulihan maju (*forward recovery*), terjadi ketika volume lalu lintas turun di bawah kapasitas terbatas. Oleh karena itu, jamming time dapat dikurangi. Istilah maju berarti bahwa seiring waktu gelombang kejut bergerak maju (hilir atau searah dengan pergerakan lalu lintas). Istilah pemulihan menyiratkan bahwa seiring waktu akan ada kondisi aliran bebas di daerah hilir. Ruangwaktu di sebelah kiri gelombang kejut memiliki kerapatan yang lebih tinggi dan di sebelah kanan memiliki kerapatan yang lebih rendah.



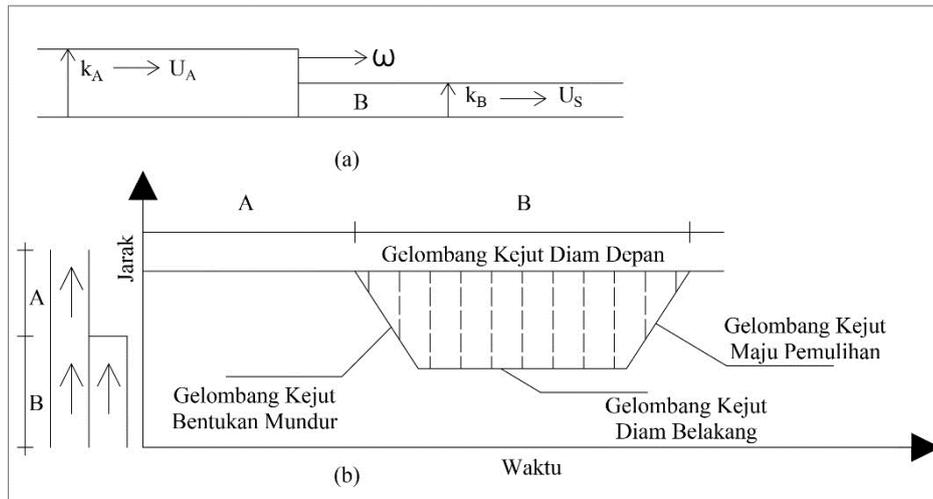
Gambar 5. Klasifikasi gelombang kejut (Soedirdjoe, 2002).

5. Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary*), terjadi ketika lalu lintas yang masuk sama dengan kapasitas daerah yang akan macet untuk jangka waktu tertentu. Kepadatan lebih tinggi di bagian hilir dan lebih rendah di bagian hulu. Istilah stasioner berarti bahwa gelombang tidak berubah posisi untuk jangka waktu tertentu.

6. Gelombang kejut pemulihan mundur (*backward recovery*), terbentuk ketika terjadi kemacetan, tetapi kemudian terjadi peningkatan kapasitas jalan. Istilah *backward* berarti bahwa dari waktu ke waktu gelombang kejut bergerak ke arah yang berlawanan (arah hulu atau berlawanan dengan arah aliran). Istilah pemulihan menyiratkan bahwa dari waktu ke waktu, kondisi aliran bebas meningkat semakin jauh dari zona kemacetan asli. Zona padat berada di sebelah kiri gelombang kejut dan keadaan aliran bebas berada di sebelah kanan.
7. Gelombang kejut bentukan maju (*forward forming*), istilah maju menyiratkan bahwa gelombang kejut merambat ke arah yang sama dengan arah aliran, sedangkan istilah bentukan berarti bahwa selama kemacetan terjadi peningkatan arah hilir paling banyak. Ruang dan waktu di sebelah kiri gelombang kejut memiliki kerapatan yang lebih rendah dan di sebelah kanan memiliki kerapatan yang lebih tinggi.

Kondisi pada saat pintu perlintasan ditutup dapat digambarkan pada Gambar 6. dengan keterangan sebagai berikut (Setyaningsih, 2007):

1. Kondisi jalan tertutup total. Situasi ini terjadi ketika kereta api lewat dan pertigaan ditutup. Akibatnya, nilai densitas pada kondisi *inflow* (volume kebutuhan = *demand*) berangsur-angsur menjadi densitas yang terhambat. Mobil di depan rombongan melambat saat mendekati perempatan dan akhirnya berhenti, membentuk antrean panjang di belakang.
2. Ketika pintu perlintasan dibuka, kepadatan di luar keadaan secara bertahap kembali ke keadaan di mana kepadatan mencapai keadaan maksimumnya.
3. Pada tahap ini kecepatan gelombang kejut 2 ( $U_{sw2}$ ) akan menyusul kecepatan gelombang kejut 1 ( $U_{sw1}$ ), dimana kerapatan dalam kondisi macet menghilang dan arus kembali ke keadaan normal sebelum menutup.



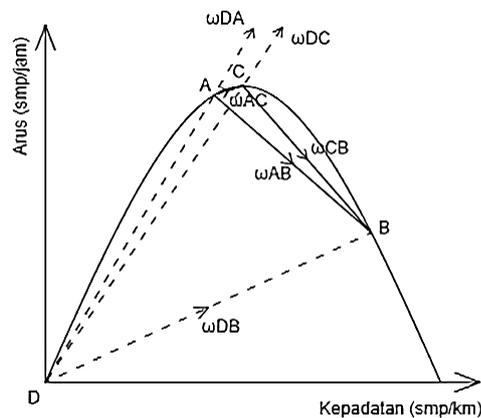
Gambar 6. Perwujudan gelombang kejut pada jalur menyempit  
 Sumber: *Traffic Flow Fundamental, Adolf Darlington (1990)*.

Gelombang kejut akibat adanya penyempitan di ruas jalan tertinjau ketika penghalang horizontal ditutup mengakibatkan penyempitan atau efek leher botol (*bottleneck*) sehingga terjadilah antrian dan proses pemulihannya setelah arus lalu lintas tidak lagi mengalami hambatan (Tamin, 2003). Pada kondisi pertama yaitu saat palang perlintasan menutup saat kereta lewat, kendaraan mulai berhenti dan kepadatan meningkat, gangguan terjadi pada saat kendaraan masuk antrian dan pada saat kendaraan start. saat gerbang penyeberangan terbuka. Pada kondisi kedua, ketika konvoi melintasi rel, kendaraan di depan melambat untuk meningkatkan kepadatan, dan setelah melintasi rel, kendaraan mempercepat untuk mengurangi kepadatan.

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 lalu lintas akibat adanya antrian. Selanjutnya ada gelombang kejut diam depan (*frontal stationery shock wave*) dimana

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 t1 di garis henti : ωAD (gelombang kejut bentukan maju), ωDB (gelombang kejut diam depan), dan ωAB (gelombang kejut bentukan mundur). Kecepatan dari ketiga gelombang kejut ini dinyatakan pada diagram Gambar 7 (Sumber: Luthfi Ramadhan, dkk. 2017) dan dapat dihitung dengan menggunakan rumus- rumus berikut:



Gambar 7. Gelombang kejut pada perlintasan kereta api saat palang pintu perlintasan ditutup.

$$\omega_{DA} = \frac{V_D - V_A}{D_D - D_A} = + \mu_A \dots\dots\dots(22)$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_D - V_B}{D_D - D_B} = 0 \dots\dots\dots(23)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_A - V_B}{D_A - D_B} = \frac{V_A}{D_B - D_A} \dots\dots\dots(24)$$

Keterangan:

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

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

$\omega_{AB}$  = 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  $t_2$  berhenti meningkat dari 0 sampai arus jenuh. Hal ini menyebabkan dua gelombang kejut baru, yakni  $\omega_{DC}$  (gelombang kejut pemulihan maju) dan  $\omega_{BC}$  (gelombang kejut pemulihan mundur), sedangkan gelombang kejut akhir adalah  $\omega_{DB}$  (gelombang kejut diam didepan. Kecepatan kedua gelombang kejut baru ini dapat dilihat secara grafis pada Gambar 7 dan dihitung menggunakan persamaan 25 dan 26 sebagai berikut:

$$\omega_{DC} = \frac{V_D - V_C}{D_D - D_C} = + \mu_C \dots \dots \dots (25)$$

$$\omega_{BC} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = \frac{V_C}{D_B - D_C} \dots \dots \dots (26)$$

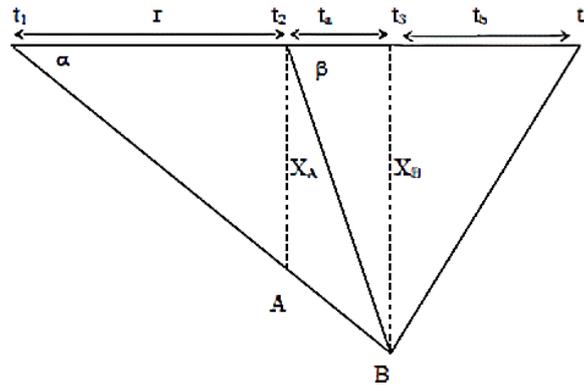
Keterangan:

$\omega_{DC}$  = gelombang kejut pada saat pintu perlintasan dibuka, keadaan penampang di depan pintu dari arus nol dan kondisi densitas bergerak perlahan ke arah hilir lalu lintas hingga mencapai titik C ( $V_C$  = volume maksimum = kapasitas,  $D_C$  = kerapatan maksimum).

$\omega_{BC}$  = gelombang kejut dari mobil yang berhenti ketika pintu ditutup mulai bergerak, diikuti oleh mobil yang mengikutinya sampai mobil terakhir tidak menunggu tetapi kecepatannya dipengaruhi oleh arus di belakangnya.

Kondisi arus D, C, B, dan A tetap sampai  $\omega_{AB}$  dan  $\omega_{BC}$  memotong waktu  $t_3$ . Interval waktu antara  $t_2$  dan  $t_3$  dapat dihitung dengan persamaan 27 berikut ini dan Gambar 8 digunakan sebagai ilustrasi (Sumber: Setyaningsih, 2007):

$$T_a = r \left( \frac{\omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right) \dots\dots\dots(27)$$



Gambar 8. Lokasi antrian dan lokasi hilangnya antrian.

Lokasi antrian dari garis henti pada waktu  $t_2$  dapat dihitung dengan persamaan 28 dan 29 di bawah ini:

$$X_A = r \cdot \tan \alpha \dots\dots\dots(28)$$

$$\tan \alpha = \frac{V_A}{D_J - D_A} \dots\dots\dots(29)$$

Lokasi hilangnya antrian dari garis henti pada waktu  $t_3$  dapat dihitung dengan rumus pada persamaan 30 sebagai berikut:

$$X_B = \frac{r}{3600} \left[ \frac{\omega_{BC} - \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \right] \dots\dots\dots(30)$$

Keterangan:

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

Respon lalu lintas yang tidak segera setelah palang pintu dibuka mengakibatkan kendaraan masih bisa tunda meski tanpa antrian.

Bertepatan pada saat t3 gelombang kejut gerak maju baru ωAC terbentuk, dan dua gelombang kejut gerak mundur ωAB dan ωBC berakhir. Gelombang kejut ωAC dapat dihitung dengan rumus seperti pada persamaan berikut ini:

$$\omega_{AC} = \frac{V_A - V_C}{D_A - D_C} \dots\dots\dots(31)$$

Kondisi arus D, C, dan A tetap sampai waktu tertentu sampai pintu perlintasan ditutup kembali, tetapi sebelumnya pada saat waktu t4 , gelombang kejut bentukan maju ωAC memotong garis henti dan arus di garis henti menurun dari arus maksimum VC menjadi VA . Periode waktu dari mulai pintu perlintasan dibuka sampai tingkat pelepasan garis henti turun dibawah nilai maksimum (t2 sampai t4) dapat dihitung dengan menggunakan kedua persamaan di bawah ini:

Kondisi arus D, C dan A tetap untuk beberapa waktu sampai persimpangan menutup, tetapi sebelum itu, pada waktu t4, gelombang kejut AC yang terbentuk maju melintasi garis berhenti dan arus mengalir di garis berhenti berkurang dari arus maksimum . VC ke VA. Waktu dari pembukaan penghalang overshoot sampai pelepasan stop line turun di bawah nilai maksimum (t2 sampai t4) dapat dihitung dengan menggunakan dua persamaan di bawah ini:

$$T_B = \frac{r \omega_{AB}}{\omega_{BC} - \omega_{AB}} \left[ \frac{\omega_{BC}}{\omega_{AC}} + 1 \right] \dots\dots\dots(32)$$

Jumlah kendaraan yang mengalami antrian :

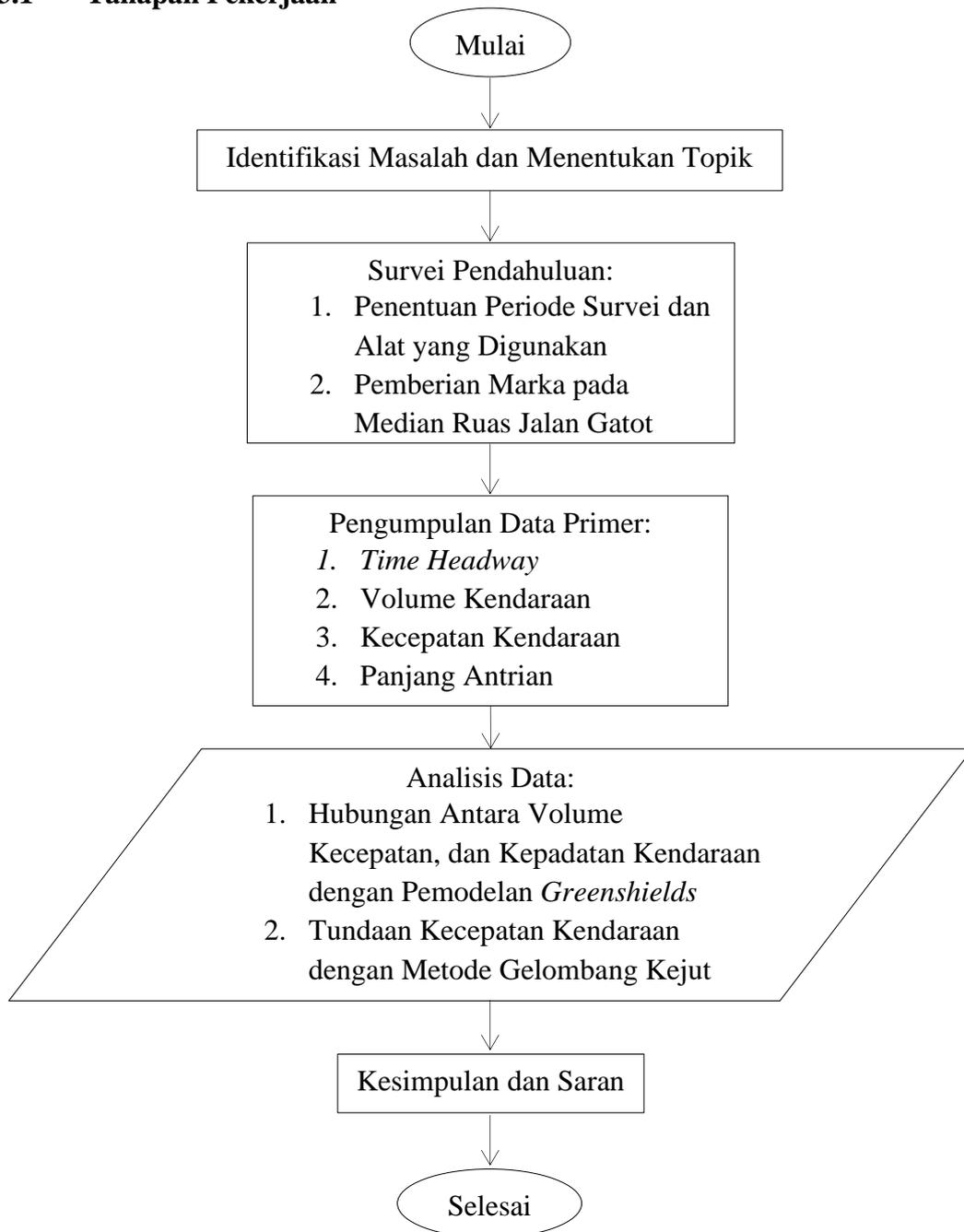
$$N = ( r + t_a ) \times V_A S \dots\dots\dots(33)$$

Tundaan yang terjadi adalah:

$$T = \frac{1}{2} \times r + N \dots\dots\dots(34)$$

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Pekerjaan



Gambar 9. Diagram alir prosedur penelitian.

Sehubungan dengan penelitian yang dilakukan sebelum memulai perhitungan terhadap data yang akan didapatkan diperlukan penyusunan kerangka kerja yang berisi alur atau langkah-langkah dari penelitian ini dari awal hingga didapatkan suatu kesimpulan. Perencanaan tahapan pekerjaan yang akan dilakukan dibuat dalam bentuk diagram alir penelitian seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9 di atas dimana pengumpulan data primer yang didapatkan merupakan data yang didapat melalui pengamatan langsung di lapangan dan dalam hal ini video rekaman drone yang telah diambil pada saat survey sebenarnya dilakukan digunakan sebagai media pengamatan.

### 3.2 Pemilihan Lokasi Penelitian

Peninjauan antrian kendaraan dilakukan di ruas Jalan Gatot Subroto yang disebabkan oleh penutupan palang kereta pada Jalan Perintis Kemerdekaan ini. Alasan pemilihan tempat ini sebagai lokasi penelitian tidak lain karena:

1. Besaran volume dan jenis kendaraan yang melewati jalan ini sangat bervariasi.
2. Konflik lalu lintas yang terjadi pada ruas jalan ini terbilang cukup sering terjadi.



Gambar 10. Lokasi penelitian (Sumber: *Google Maps*).

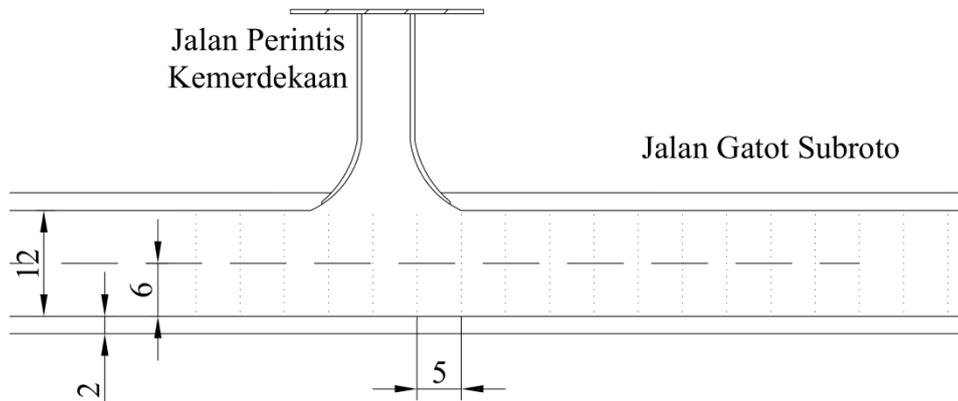
### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan secara bertahap dalam suatu proses penelitian, pengolahan data dan penulisan, karena tahapan ini sangat penting untuk melengkapi penelitian. Aspek yang mendukung dalam studi literatur adalah pemahaman terhadap buku-buku yang membahas tentang gelombang kejut (*shockwave*) dan jurnal penelitian tentang analisis tundaan dan panjang antrian, serta teori-teori dasar tentang lalu lintas yang berguna untuk memperluas pengetahuan atau wawasan terkait penelitian ini.

### 3.4 *Pilot Survey*

Sebelum melakukan pendataan lebih lanjut, diperlukan survei pendahuluan (*pilot survey*) untuk memastikan langkah apa yang selanjutnya harus dilaksanakan. *Pilot survey* atau survei pendahuluan dilakukan untuk menunjang semua data yang nantinya telah semua dikumpulkan dari lokasi. Survei pendahuluan adalah survei berskala kecil dan sangat penting, terutama agar survei selanjutnya dapat dijalankan secara efektif dan efisien. Tahap ini diawali dengan studi lapangan, yaitu penyelidikan terhadap tempat yang akan diukur. Setelah semua hal di atas telah diperhitungkan, survei yang sebenarnya akan dilakukan. Adapun survei pendahuluan yang harus dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan lokasi dan waktu pengamatan yang sesuai pada saat survei sebenarnya.
2. Menentukan instrumen pengamatan lokasi penelitian yang akan dipakai, dalam hal ini ialah dengan menggunakan alat drone.
3. Memberi marka jalan dengan menggunakan cat pada median Jalan Gatot Subroto tiap 5 meter sepanjang 85 meter.



Gambar 11. Sketsa dimensi lokasi penelitian.

### 3.5 Waktu Penelitian

Penelitian akan dilakukan dalam kurun waktu satu hari yaitu pada hari Senin. Dalam satu hari dilakukan pengamatan pada jam sibuk (*peak hours*) yaitu:

- a. Pencatatan arus lalu lintas kendaraan dilakukan untuk mendapatkan data waktu tundaan dan panjang antrean, pada saat jam sibuk (dimana terdapat volume lalu lintas padat/maksimum), yaitu di pagi hari (pukul 07.00 – 09.00 WIB) dan sore hari (pukul 15.00 – 17.00 WIB).
- b. Pengambilan data dilakukan pada waktu mulai memasuki jam sibuk (*peak hour*) pada saat palang pintu kereta api dibuka dan ditutup.

### 3.6 Alat Penelitian

Adapun beberapa peralatan yang dipakai dalam pelaksanaan penelitian ini yakni sebagai berikut:

- a. *Drone* digunakan untuk merekam kendaraan yang melintasi titik pengamatan.
- b. Meteran digunakan untuk menghitung panjang antrian kendaraan.
- c. Alat tulis digunakan untuk mencatat data-data yang diperlukan.
- d. *Stopwatch* digunakan untuk menghitung kecepatan kendaraan.

- e. *Hand counter* digunakan dalam perhitungan jenis kendaraan yang melintas sesuai dengan kategori yang telah ditetapkan.
- f. *Software* pemutar video untuk dijadikan media putar ulang hasil keadaan tempat pengamatan yang telah ditangkap oleh alat *drone*.

### 3.7 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang dibutuhkan untuk kondisi lapangan adalah volume kendaraan ( $V$ ) dan waktu tempuh kendaraan untuk melewati suatu ruas jalan tertentu. Data waktu tempuh menunjukkan kecepatan rata-rata terhadap waktu dan ruang, sedangkan kepadatan dihitung berdasarkan data volume dan kecepatan kendaraan.

Volume lalu lintas ditentukan dengan menggunakan variasi jenis kendaraan untuk mencatat jumlah kendaraan yang melewati titik pengamatan tertentu di lokasi pemeriksaan dan mengubah data tersebut menjadi satuan mobil penumpang (skr).

Kecepatan lokal kendaraan diukur dengan mencatat waktu tempuh kendaraan dalam menempuh jarak tertentu yang telah ditentukan sebelumnya, kecepatan adalah hasil bagi antara jarak dan waktu tempuh. Selanjutnya, variabel densitas ( $D$ ) atau kepadatan diperoleh dengan membagi besaran volume dengan kecepatan.

Data utama yang harus didapatkan segera setelah dilakukannya survei pendahuluan (*pilot survey*) adalah pengumpulan data primer yang terdiri dari:

#### 1) Volume Lalu Lintas

Pengamatan dapat dilakukan dengan cara manual dan visual menyesuaikan dengan keadaan dan efektivitas pelaksanaan pengamatan itu sendiri. Pengamatan dengan kedua cara ini dimulai dengan mencatat jumlah kendaraan yang melewati titik pengamatan yang telah ditentukan sebelumnya dengan interval waktu setiap 15 menit. Adapun jumlah kendaraan yang diperiksa dibagi menjadi tiga kelompok yakni kendaraan dengan kategori kendaraan berat (KB), kendaraan ringan (KR), dan sepeda motor (SM).

Catatan dapat bervariasi untuk setiap lokasi dalam satu kali periode pengamatan.

## 2) Kecepatan dan Waktu Tempuh

Kecepatan diperoleh dengan membagi jarak yang ditempuh dengan waktu. Data ini didapatkan dengan mencatat waktu yang dibutuhkan bagi suatu kendaraan untuk menempuh jarak tertentu kemudian membaginya dengan panjang jarak tersebut. Kecepatan rata-rata merupakan variabel kecepatan yang digunakan dalam analisis hubungan antara kecepatan, kepadatan, dan volume lalu lintas.

## 3) Perhitungan Tundaan dengan Metode Gelombang Kejut

Tundaan yang terjadi akibat penutupan pintu perlintasan dihitung dengan metode gelombang kejut, dimana parameter yang digunakan dalam perhitungan ini terdiri dari 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 di ruas Jalan Gatot Subroto akibat antrian kendaraan yang terjadi dibelakang perlintasan sebidang jalan dengan jalur rel yang berada di Jalan Perintis Kemerdekaan yang disimbolkan dengan  $t_1$  digunakan untuk menghitung panjang jarak antrian kendaraan dimana kendaraan terakhir mengalami tundaan, yang diberi simbol  $L$  dan dinyatakan dalam satuan kilometer (km). Kemudian dihitung durasi 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.

## V. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata volume kendaraan saat terjadi penyempitan pada ruas Jalan Gatot Subroto yang didapat dari pengamatan jumlah kendaraan yang melintas dari arah tenggara ke barat laut sebesar 61 SKR/jam pada pagi hari dan 79 SKR/jam pada sore hari; kecepatan lalu lintas sebesar 19,34 km/jam di pagi hari dan 8,15 km/jam pada sore hari; serta kepadatan lalu lintas didapat 8,65 SKR/km pada waktu pagi hari dan 109,54 SKR/km pada saat sore hari.
2. Panjang antrian ( $Q_m$ ) pada ruas Jalan Gatot Subroto saat terjadinya penutupan palang pintu kereta api di Jalan Perintis Kemerdekaan adalah sebesar 5m di pagi hari dan 35 m pada sore hari.
3. Gelombang kejut yang terjadi pada ruas Jalan Gatot Subroto akibat adanya antrian kendaraan secara berturut-turut adalah sebagai berikut: gelombang kejut maju bentukan  $\omega_{da}$  pagi = 20,72 km/jam dan  $\omega_{da}$  sore = 9,08 km/jam; gelombang kejut bentukan mundur  $\omega_{ab}$  pagi = -1,32 km/jam dan  $\omega_{ad}$  sore = -1,07 km/jam; gelombang kejut maju pemulihan  $\omega_{dc}$  pagi = 5,17 km/jam dan  $\omega_{dc}$  sore = 1,98 km/jam; gelombang kejut mundur pemulihan  $\omega_{cb}$  pagi = -10,64 km/jam dan  $\omega_{cb}$  sore = -4,10 km/jam; serta gelombang kejut maju pemulihan  $\omega_{ac}$  pagi = 4,73 km/jam dan  $\omega_{ac}$  sore = 1,75 km/jam.
4. Besarnya tundaan atau peningkatan waktu tempuh saat melewati Jalan Gatot Subroto ketika terjadi penyempitan akibat antrian kendaraan di pagi hari dari 4,25 detik pada keadaan normal menjadi 7,6925 detik sedangkan kendaraan mengalami peningkatan waktu tempuh yang semula sebesar 10,68 detik pada keadaan normal menjadi 21,196 detik pada waktu pengamatan sore hari.

## 5.2 **Saran**

Dari kesimpulan yang telah dijabarkan sebagaimana di atas, dapat diberikan beberapa saran sebagaimana berikut ini:

1. Hasil perhitungan gelombang kejut menghasilkan panjang antrian dan waktu penormalan yang rata-rata lebih besar dari pengamatan secara langsung di lapangan. Hal ini disebabkan oleh pendeknya durasi penelitian yang hanya dilakukan selama 4 jam yakni dua jam pada saat pagi hari dan dua jam di saat sore. Untuk mendapatkan hasil yang tingkat kesesuaiannya lebih mendekati dengan perhitungan teoritis, disarankan untuk mengambil data pengamatan dengan durasi yang lebih lama lagi

## DAFTAR PUSTAKA

- Ghifari, B., Agus, S., Amirotul M. H. M., 2019, *Studi Gelombang Kejut pada Simpang Bersinyal dengan Menggunakan EMP Atas Dasar Analisis Headway*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Idham, M., 2000, *Analisis Gelombang Kejut pada Persimpangan dengan Lampu Lalu Lintas*. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Politeknik Bengkalis, Riau.
- Malau, H., Rikki, Medis S. Surbakti, 2014, *Aplikasi Shockwave Analysis dan Queueing Analysis untuk Menghitung Panjang Antrian pada Perlintasan Sebidang Kereta Api*. Jurnal, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Helti, Merlien, L. A. B., James, A. T., Samuel, Y. R., 2016, *Analisa Gelombang Kejut pada Persimpangan Bersinyal*. Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Prof .Dr. Serge P. Hoogendoorn, 2012, *Traffic Flow Model and Shockwave Analysis*. Old Dominion University Civil and Enviromental Engineering.
- Shivam, Gupta., 2005, *Delay at Signalized Intersection*. Department of Traffic Engineering, Indian Institute of Technology, Mumbai.
- Tamin, Ofyzar. Z., 2000, *Perencanaan dan Permodelan Transportasi*. Teknik Sipil Insititut Teknologi Bandung, Bandung.
- Tamin, Ofyzar. Z., 2003, Edisi ke-2, *Perencanaan dan Permodelan Transportasi*. Teknik Sipil Insititut Teknologi Bandung, Bandung.
- Zulfhazli, 2006, *Analisa Gelombang Kejut pada Lengan Persimpangan Terhadap Aliran Arus Lalu Lintas*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe.