

**ANALISA GELOMBANG KEJUT DAN PENGARUHNYA TERHADAP
ARUS LALU LINTAS DI JALAN DIPONEGORO**

(Skripsi)

**OLEH
DIANA WILLIANI YOGA KARTIWI
1715011088**



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

ABSTRAK

ANALISA GELOMBANG KEJUT DAN PENGARUHNYA TERHADAP ARUS LALU LINTAS DI JALAN DIPONEGORO

Oleh

DIANA WILLIANI YOGA KARTIWI

Kemacetan yang terjadi di Jalan Diponegoro saat nyala lampu lalu lintas berwarna merah sering kali menyebabkan antrian kendaraan terutama pada jam puncak. Antrian kendaraan ini diakibatkan oleh adanya penyempitan badan jalan yang dapat menyebabkan tundaan arus lalu lintas dan terbentuknya gelombang kejut. Hubungan matematis antara kecepatan (S), arus (V), dan kepadatan (D) dibuat menggunakan Model Greenshield. Model tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai gelombang kejut yang terbentuk. Dari nilai yang didapat dapat dihitung panjang antrian maksimum (Q_m) dan waktu penormalan (T) yang dibutuhkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar panjang antrian yang terjadi dengan berdasarkan penerapan analisis gelombang kejut. Berdasarkan perhitungan analisis gelombang kejut pada pengamatan pagi diperoleh $\omega_{da} = 25,87$; $\omega_{ab} = 1,38$; $\omega_{dc} = 5,66$; $\omega_{cb} = 7,88$; $\omega_{ac} = 4,93$; $Q_m = 27,77$ m; $T = 32,99$ s. Sedangkan pada pengamatan sore diperoleh $\omega_{da} = 29,43$; $\omega_{ab} = 1,86$; $\omega_{dc} = 7,71$; $\omega_{cb} = 12,58$; $\omega_{ac} = 6,86$; $Q_m = 15,34$ m; $T = 12,43$ s.

Kata kunci : Penyempitan, Gelombang Kejut, Greenshield, Panjang Antrian.

ABSTRACT

SHOCK WAVE ANALYSIS AND ITS EFFECT ON TRAFFIC FLOW ON DIPONEGORO ROAD

By

DIANA WILLIANI YOGA KARTIWI

The traffic jam that occurs on Jalan Diponegoro when the traffic light is red often causes queues of vehicles, especially during peak hours. This queue of vehicles is caused by a narrowing of the road body which can cause delays in traffic flow and the formation of shock waves. The mathematical relationship between speed (S), current (V), and density (D) is made using the Greenshield Model. The model is then used to calculate the value of the shock wave that is formed. From the value obtained, the required maximum queue length (Q_m) and normalization time (T) can be calculated. The purpose of this study is to find out how long the queue is based on the application of shock wave analysis. Based on the calculation of the shock wave analysis in the morning observations obtained $\omega_{da} = 25.87$; $\omega_{ab} = 1.38$; $\omega_{dc} = 5.66$; $\omega_{cb} = 7.88$; $\omega_{ac} = 4.93$; $Q_m = 27.77$ m; $T = 32.99$ s. Meanwhile, in the evening observation, $\omega_{da} = 29.43$; $\omega_{ab} = 1.86$; $\omega_{dc} = 7.71$; $\omega_{cb} = 12.58$; $\omega_{ac} = 6.86$; $Q_m = 15.34$ m; $T = 12.43$ s.

Key words : Refinement, Shockwave, Greenshield, Queue Length

**ANALISA GELOMBANG KEJUT DAN PENGARUHNYA TERHADAP
ARUS LALU LINTAS DI JALAN DIPONEGORO**

Oleh

DIANA WILLIANI YOGA KARTIWI

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

: **ANALISA GELOMBANG KEJUT DAN
PENGARUHNYA TERHADAP ARUS
LALU LINTAS DI JALAN DIPONEGORO**

Nama Mahasiswa

: **Diana Williani Yoga Kartiwi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011088

Program Studi

: Teknik Sipil

Fakultas

: Teknik



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

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.**

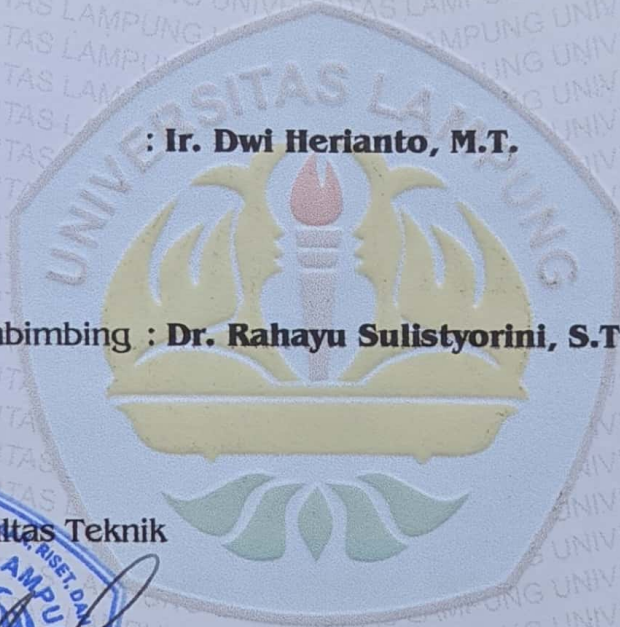
Sekretaris : **Ir. Dwi Herianto, M.T.**

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. 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 : **14 Juli 2023**



SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, adalah:

Nama : Diana Williani Yoga Kartiwi

MPM : 1715011088

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,
Penulis,

2023



Diana Williani Yoga Kartiwi

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotagajah, pada tanggal 2 Maret 1999, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Yoga Pratama dan Ibu Tri Wijayanti. Penulis memiliki satu saudara, yaitu yang bernama Danang Kartiwa Yoga Waluyajati.

Penulis menempuh pendidikan tingkat dasar di SDN 02 Kotagajah yang diselesaikan pada tahun 2011, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di MTs. Maa'rif 02 Kotagajah yang diselesaikan pada tahun 2014, dan dilanjutkan ke pendidikan tingkat atas di SMAN 1 Punggur yang diselesaikan pada tahun 2017. Penulis terdaftar sebagai mahasiswi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur PMPAP (Penerimaan Mahasiswa Perluasan Akses Pendidikan).

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

Pada tahun 2020 Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Nambah Rejo, Kotagajah, selama 40 hari pada periode II, Juli – Agustus 2020. Dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Sipil, penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik 5.1 ITERA yang berlokasi di Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kab. Lampung Selatan, selama 3 bulan terhitung sejak tanggal 3 Mei sampai 3 Agustus 2021.

Penulis mengambil tugas akhir dengan judul Analisa Gelombang Kejut Dan Pengaruhnya Terhadap Arus Lalu Lintas Di Jalan Diponegoro.

Persembahkan

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 Yoga Pratama dan Ibu Tri Wijayanti yang selalu mendoakan, memberikan kasih sayang, dukungan, dan menjadi penyemangat suka maupun duka dari aku kecil hingga aku dapat menyelesaikan perkuliahanku.

Adikku tersayang, Danang Kartiwa Yoga Waluyajati 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.

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 “*Analisa Gelombang Kejut Dan Pengaruhnya Terhadap Arus Lalu Lintas Di Jalan Diponegoro*” 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. Bapak Ir. Dwi Herianto, 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 Yoga Pratama dan Ibu Tri Wijayanti, 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 Basing Group, Mildariezka S. R, Goldyna Septania, Netta Riana, Millenia Yessy Desviolla, Corry Jayaputri Sahast, dan Evanthe Calosa, yang sudah menjadi teman, sahabat, dan tempat berbagi cerita selama perkuliahan, sangat senang mengenal kalian semoga persahabatan kita selalu awet sampai kapanpun.
10. Sahabat-sahabatku tersayang, Maria Ulfa, terimakasih sudah menjadi sahabat yang selalu mendukungku, tempat berbagi cerita selama menjalani perkuliahan dan membantuku dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. 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.
12. Seluruh keluarga besar HIMATEKS (Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil) Universitas Lampung yang telah mendukung dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. 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 kontruksi. Aamiin.

Bandar Lampung, 2023
Penulis,

Diana Williani Yoga Kartiwi

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Tundaan	4
2.2. Persimpangan	5
2.3. Karakteristik Arus Lalu Lintas	5
2.3.1. Waktu Antara (<i>Time Headway</i>)	6
2.3.2. Arus/Volume Lalu Lintas (<i>Flow</i>)	11
2.3.3. Kecepatan (<i>Speed</i>)	12
2.3.4. Kepadatan (<i>Density</i>)	12
2.4. Pemodelan Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan	13
2.5. Model <i>Greenshield</i>	16
2.6. Analisis Gelombang Kejut	17
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.2. Teknik Pelaksanaan Survei.....	24
3.2.1. Survei pendahuluan	24
3.2.2. Pelaksanaan survei lapangan	25
3.2.3. Peralatan	25
3.3. Teknik Pengumpulan Data	26
3.4. Diagram Alir Penelitian	29

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	30
4.1. Pengambilan Data Primer.....	30
4.2. Parameter Karakteristik Lalu Lintas.....	30
4.2.1. Nilai Ekvivalen Kendaraan Ringan (EKR)	31
4.2.2. Arus/Volume Lalu Lintas	38
4.2.3. Kecepatan Lalu Lintas	43
4.2.4. Kepadatan Lalu Lintas.....	46
4.3. Hubungan Antara Volume, Kecepatan, dan Kepadatan dengan Model <i>Greenshields</i>	49
4.4. Nilai Gelombang Kejut.....	54
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	62
5.1. Kesimpulan.....	62
5.2. Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Kerangka Dasar Karakteristik Lalu lintas	6
Tabel 2. Data <i>Time Headway</i> (Pagi Pada Jalan Diponegoro)	32
Tabel 3. Hasil Perhitungan Senjang Rata-rata <i>Time Headway</i>	33
Tabel 4. Nilai <i>Time Headway</i> Terkoreksi (Pagi Pada Jalan.....	34
Tabel 5. Perhitungan Nilai EKR SM (Pagi Pada Jalan	36
Tabel 6. Perhitungan Nilai EKR dengan <i>Analisis Rasio Headway</i>	37
Tabel 7. Rekapitulasi Nilai EKR dengan <i>Analisis Rasio Headway</i>	38
Tabel 8. Volume Rata-rata Kendaraan Jalan Diponegoro Pagi.	39
Tabel 9. Rekapitulasi volume lalu lintas pagi dan sore.....	40
Tabel 10. Data Rekapitulasi Kecepatan Lalu Lintas Jalan.....	44
Tabel 11. Contoh Perhitungan Kepadatan Lalu Lintas.	46
Tabel 12. Rekapitulasi Nilai Kepadatan Pagi dan Sore.	47
Tabel 13. Data Regresi Model Greenshields Pagi.	50
Tabel 14. Perhitungan Nilai Gelombang Kejut Pengamatan Pagi.	56
Tabel 15. Perhitungan Nilai Gelombang Kejut Pengamatan Sore.	57
Tabel 16. Panjang Antrian dan Waktu Penormalan Hasil Perhitungan	58
Tabel 17. Panjang Antrian dan Waktu Penormalan Hasil Perhitungan	59

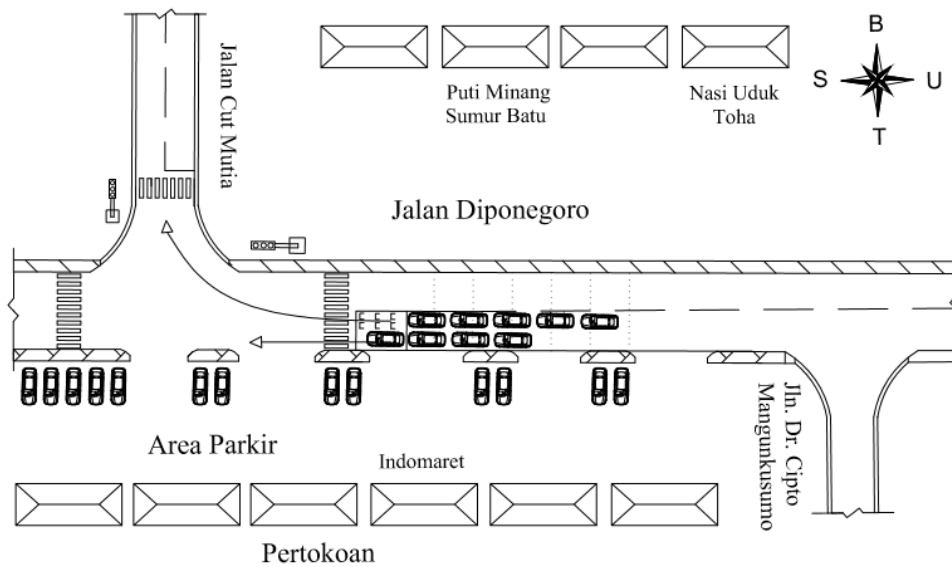
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Ilustrasi Antrian Kendaraan.	1
Gambar 2. Kombinasi pasangan kendaraan yang ditinjau.	7
Gambar 3. Contoh cara pencatatan time headway KR-KR.....	8
Gambar 4. Hubungan matematis antara kecepatan, arus/volume, dan.....	13
Gambar 5. Klasifikasi Gelombang Kejut.....	17
Gambar 6. Kurva gelombang kejut pada penyempitan jalan.	20
Gambar 7. Lokasi penelitian.	23
Gambar 8. Sketsa ruas jalan.	26
Gambar 9. Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 10. Grafik data volume lalu lintas pagi.	41
Gambar 11. Grafik data volume lalu lintas pagi.	42
Gambar 12. Grafik kecepatan lalu lintas pagi.....	45
Gambar 13. Grafik kecepatan lalu lintas sore.	45
Gambar 14. Grafik data kepadatan lalu lintas pagi.	48
Gambar 15. Grafik data kepadatan lalu lintas sore.	48
Gambar 16. Grafik hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan dengan Model Greenshields pengamatan pagi.....	52
Gambar 17. Grafik hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan dengan Model Greenshields pengamatan sore.....	53
Gambar 18. Grafik jarak dan waktu pengamatan pagi.....	60
Gambar 19. Grafik jarak dan waktu pengamatan sore.....	60

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan Diponegoro merupakan jalan 4 lajur 2 arah tak terbagi yang menghubungkan pusat perkotaan dengan wilayah pemukiman di Kota Bandar Lampung. Permasalahan yang dihadapi khususnya di wilayah ini adalah saat terjadinya antrian kendaraan yang akan berbelok menyebabkan penyempitan badan jalan dan terdapat hambatan samping berupa aktivitas keluar masuk kendaraan dari area ruko yang dapat menimbulkan tundaan perjalanan pada saat kendaraan melewati jalan tersebut. Ilustrasi antrian kendaraan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Antrian Kendaraan.

Pada gambar ilustrasi diatas menunjukkan antrian kendaraan pada pertigaan dari Jalan Diponegoro yang akan berbelok ke Jalan Cut Mutia dan mengakibatkan penyempitan pada badan jalan akibat lampu merah sehingga kendaraan yang ingin berjalan lurus akan mengalami penurunan kecepatan yang mana dapat menyebabkan tundaan arus lalu lintas akibat terbentuknya gelombang kejut (*shock wave*) pada jalan tersebut. Sedangkan pada saat lampu hijau kendaraan akan berjalan normal dikarenakan 2 lajur jalan bisa digunakan untuk kendaraan yang akan berjalan lurus.

Berdasarkan latar belakang permasalahan pada pertigaan Jalan Diponegoro diatas, 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. Maka dari itu, penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul “Analisa Gelombang Kejut dan Pengaruhnya Terhadap Arus Lalu Lintas Di Jalan Diponegoro”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari permasalahan yang telah disampaikan pada latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh antrian kendaraan akibat pergantian nyala lampu lalu lintas berwarna merah diukur dari nilai dan besarnya antrian perjalanan dari kendaraan yang bergerak lurus di Jalan Diponegoro.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar panjang antrian yang terjadi akibat adanya penyempitan badan jalan antara arus kendaraan yang berhenti saat lampu merah dengan arus kendaraan yang bergerak lurus pada pertigaan Jalan Diponegoro – Jalan Cut Mutia dengan berdasarkan penerapan analisis gelombang kejut (*shock wave*).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan penulis dapatkan setelah dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan acuan bagi pemerintah dan pihak terkait dibidang manajemen rekayasa lalu lintas.
2. Sebagai referensi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan analisa gelombang kejut (*shock wave*).
3. Untuk mengetahui seberapa besar panjang antrian dan waktu penormalan akibat pengaruh gelombang kejut (*shock wave*).

1.5. Batasan Masalah

Agar penelitian dalam tugas akhir ini lebih terarah, penulis membatasi yang akan dibahas antara lain:

1. Lokasi penelitian dilakukan di Jalan Diponegoro – Jalan Cut Mutia, Kota Bandar Lampung pada hari kerja (*weekday*) di jam sibuk (*peak hour*).
2. Data yang digunakan adalah data primer yaitu diperoleh dari pengamatan secara langsung pada lokasi penelitian dengan menggunakan rekaman video.
3. Metode yang digunakan untuk analisa data adalah metode gelombang kejut (*shock wave*).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tundaan

Tundaan adalah sebagai waktu tempuh tambahan yang diperlukan kendaraan untuk melewati suatu simpang dibandingkan pada situasi tanpa simpang (PKJI, 2014). Jika makin besar nilai tundaan, makin besar pula tingkat kemacetan pada ruas jalan tersebut sehingga tundaan digunakan sebagai parameter untuk menentukan tingkat kemacetan Lalu lintas pada suatu jalan. Terdapat dua jenis tundaan yang dapat terjadi didalam Lalu lintas, yaitu:

1. Tundaan Tetap

Tundaan tetap merupakan tundaan yang disebabkan oleh alat-alat pengendali Lalu lintas. Tundaan ini seringkali terjadi di persimpangan-persimpangan jalan dan perlintasan kereta api. Terdapat berbagai faktor yang mempengaruhi terjadinya tundaan yaitu faktor-faktor fisik jalan tersebut dan pengendali Lalu lintas.

2. Tundaan Operasional

Tundaan operasional merupakan tundaan yang disebabkan oleh gangguan antara unsur-unsur didalam Lalu lintas atau tundaan yang disebabkan oleh adanya pengaruh dari Lalu lintas lain. Contohnya yaitu kendaraan yang masuk keluar dari tempat parkir, pejalan kaki, dan kendaraan yang berhenti.

2.2. Persimpangan

Persimpangan adalah simpul pada bagian jalan dimana dua atau lebih ruas jalan bertemu atau berpotongan yang mencakup fasilitas jalur jalan dan tepi jalan, dimana lalu lintas dapat berlalu lalang didalamnya. Persimpangan merupakan bagian penting di jalan raya dikarenakan sebagian besar akan tergantung dari efisiensi, kapasitas lalu lintas, kecepatan, waktu perjalanan, dan lain-lain akan tergantung pada perencanaan pada persimpangan tersebut. Setiap persimpangan mencakup pergerakan lalu lintas menerus dan lalu lintas yang saling memotong pada satu atau lebih dari kaki persimpangan dan mencakup juga pergerakan perputaran.

Pada persimpangan terdapat empat jenis pergerakan arus lalu lintas yang dapat menimbulkan konflik, yaitu:

1. Persilangan yaitu gerakan memotong terhadap kendaraan lain dari arah bersilangan pada persimpangan.
2. Jalinan yaitu gerakan memisah kemudian bergabung atau berpisah dari beberapa kendaraan.
3. Penggabungan yaitu gerakan bergabungnya kendaraan dari suatu jalur ke jalur yang lain.
4. Pemisahan yaitu gerakan berpecah dari suatu arus yang sama ke jalur yang lain.

2.3. Karakteristik Arus Lalu Lintas

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

Tabel 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)

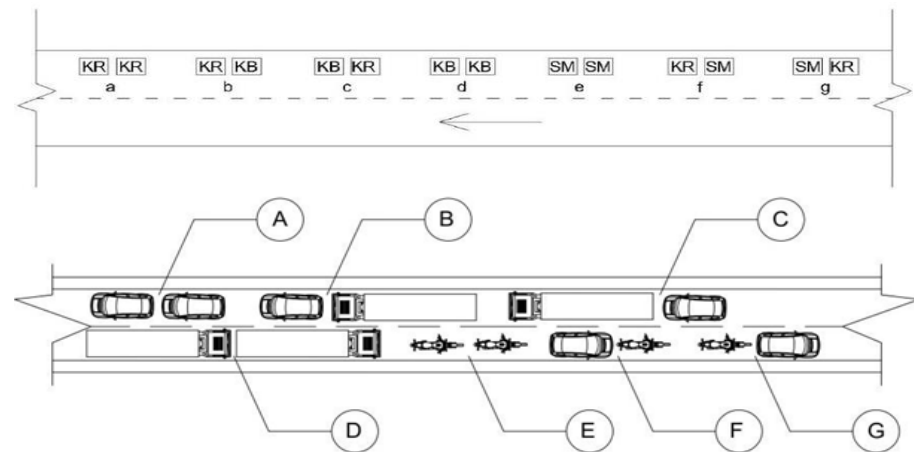
Data mengenai lalu lintas diperlukan untuk berbagai kebutuhan perencanaan transportasi. Berikut adalah data parameter karakteristik Lalu lintas yang diperlukan dalam penelitian, meliputi:

2.3.1. Waktu Antara (*Time Headway*)

Waktu antara (*time headway*) adalah waktu antara dua sarana angkutan untuk melewati suatu titik tertentu. Semakin kecil waktu antara maka semakin tinggi kapasitas dari prasarana tersebut. Waktu antara digunakan dalam perhitungan rekayasa lalu lintas untuk mengetahui Nilai Ekvivalen Kendaraan Ringan (EKR) berdasarkan kondisi jalan yang diamati.




Perhitungan Nilai Ekvivalen Kendaraan Ringan (EKR) berdasarkan *Analisis Rasio Headway*. Salter & Hounsell, 1996 menerangkan cara menghitung nilai Ekvivalen 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 2 berikut.



Gambar 2. Kombinasi pasangan kendaraan yang ditinjau.

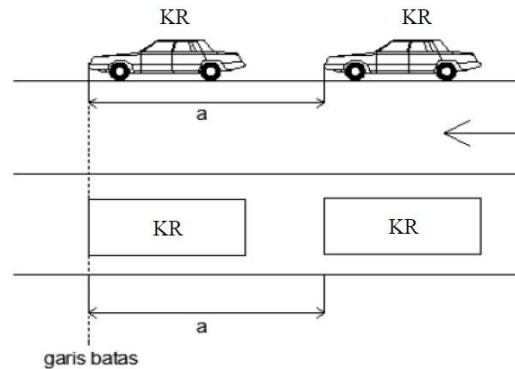
Keterangan :

-  = Kendaraan Ringan (KR)
-  = Kendaraan Berat (KB)
-  = Sepeda Motor (SM)

Pada gambar 2 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

Contoh cara pencatatan *time headway* antara kendaraan ringan dengan kendaraan ringan yang berurutan dijelaskan pada gambar 3.



Gambar 3. Contoh cara pencatatan time headway KR-KR.

Pada Gambar 3 menunjukkan cara mendapatkan nilai *time headway* dengan menghitung waktu antara kendaraan yang melintas berdasarkan titik yang telah ditentukan oleh pengamat.

Menurut (Salter & Hounsell, 1996) Tinjauan *Statik Rasio Headway* bahwa sebaran statistik berguna untuk menggambarkan segala kemungkinan kejadian yang bernilai acak. Oleh sebab itu, dikarenakan sampel dipilih acak maka dimungkinkan adanya suatu kesalahan standar deviasi dari distribusi yang dinyatakan sebagai standard error (E) sebagai berikut:

$$E = \frac{s}{n^{0,5}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

E = standard error

s = standar deviasi

n = jumlah sampel

Dengan s adalah standar deviasi:

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

Dimana:

n = jumlah sampel

x_i = nilai *time headway* ke-I (detik)

x = nilai rata-rata sampel *time headway* (detik)

R.J. Salter & N.B. Hounsell menyatakan bahwa untuk perkiraan nilai rata-rata *time headway* seluruh pasangan kendaraan (μ) 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:

$$e = K \cdot E \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

K = tingkat kepastian distribusi normal

Nilai rata-rata *time headway* untuk distribusi normal ($n \geq 30$):

$$\mu_{1,2} = x \pm e \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

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

x = nilai rata-rata *time headway* (detik)

e = batas toleransi kesalahan

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, (Iskandar, 2010).

Hal di atas tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$t_{KR-KR} + t_{KB-KB} = t_{KR-KB} + t_{KB-KR} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

t_{KR-KR} = nilai rata-rata *time headway* KR diikuti KR (detik)

t_{KR-KB} = nilai rata-rata *time headway* KR diikuti KB (detik)

t_{KB-KR} = nilai rata-rata *time headway* KB diikuti KR (detik)

t_{KB-KB} = nilai rata-rata *time headway* KB diikuti KB (detik)

Keadaan yang dapat memenuhi persamaan diatas 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* sebagai berikut:

$$\left[t_{KR-KR} - KR - \frac{k}{n_{KR-KR}} \right] + \left[t_{KB-KB} - KB - \frac{k}{n_{KB-KB}} \right] = \left[t_{KR-KB} - KB - \frac{k}{n_{KR-KB}} \right] + \left[t_{KB-KR} - KR - \frac{k}{n_{KB-KR}} \right] \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

n_{KR-KR} = jumlah data *time headway* KR diikuti KR

n_{KR-KB} = jumlah data *time headway* KR diikuti KB

n_{KB-KR} = jumlah data *time headway* KB diikuti KR

n_{KB-KB} = jumlah data *time headway* KB diikuti KB

Selanjutnya nilai rata-rata *time headway* pasangan kendaraan tersebut dikoreksi sebagai berikut:

$$t_{k\ KR-KR} = t_{KR-KR} - \frac{K}{n_{KR-KR}} \dots\dots\dots(7)$$

$$t_{k\ KR-KB} = t_{KR-KB} - \frac{K}{n_{KR-KB}} \dots\dots\dots(8)$$

$$t_{k\ KB-KR} = t_{KB-KR} - \frac{K}{n_{KB-KR}} \dots\dots\dots(9)$$

$$t_{k\ KB-KB} = t_{KB-KB} - \frac{K}{n_{KB-KB}} \dots\dots\dots(10)$$

Dengan menggunakan nilai rata-rata *time headway* yang sudah dikoreksi maka:

$$t_{k\ KR-KR} + t_{k\ KB-KB} = t_{k\ KR-KB} + t_{k\ KB-KR} \dots\dots\dots(11)$$

Dimana:

$t_{k\ KR-KR}$ = nilai rata-rata *time headway* KR-KR tekoreksi (detik)

$t_{k\ KR-KB}$ = nilai rata-rata *time headway* KR-KB tekoreksi (detik)

$t_{k\ KB-KR}$ = nilai rata-rata *time headway* KB-KR tekoreksi (detik)

$t_{k\ KB-KB}$ = nilai rata-rata *time headway* KB-KB tekoreksi (detik)

Apabila persyaratan tersebut telah memenuhi syarat, maka nilai EKR KB dapat dihitung dengan persamaan:

$$EKR\ KB = \frac{tk\ KB - KB}{tk\ KR - KR} \dots\dots\dots(12)$$

2.3.2. Arus/Volume Lalu Lintas (*Flow*)

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 2014) arus Lalu lintas disebut sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melewati satu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan per-jam. Arus Lalu lintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya akan bervariasi baik berdasarkan lokasi maupun waktunya. Sedangkan volume adalah jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tiap satuan waktu (Alamsyah, 2008). Volume lalu lintas dinyatakan dengan satuan kendaraan/jam. Menurut Soedirdjoe (2002), dalam pembahasannya volume dibedakan menjadi tiga yaitu:

1. Volume harian (*daily volume*)

Volume harian ini digunakan sebagai dasar perencanaan jalan dan observasi umum tentang pengukuran volume.

2. Volume per jam (*hourly volumes*)

Volume jam-an suatu pengamatan terhadap arus Lalu lintas untuk menentukan jam puncak dalam periode pagi dan sore yang biasanya terjadi kesibukan masyarakat.

3. Volume per sub jam (*sub hourly volumes*)

Volume per sub jam adalah pengamatan terhadap arus Lalu lintas lebih kecil dari satu jam.

2.3.3. Kecepatan (*Speed*)

Kecepatan didefinisikan sebagai laju dari suatu pergerakan kendaraan yang dihitung dari dalam jarak per satuan waktu (Tamin, 2003). 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.

Kecepatan dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \frac{L}{t} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

S = kecepatan (km/jam)

L = jarak tempuh kendaraan (km)

t = waktu tempuh kendaraan (jam)

2.3.4. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan adalah sebagai jumlah kendaraan yang menempati panjang ruas jalan tertentu atau lajur yang umumnya dinyatakan sebagai jumlah kendaraan per kilometer (Alamsyah, 2008). Kepadatan (Density) dinyatakan dengan notasi D, adalah jumlah kendaraan yang berada dalam satu satuan panjang jalan tertentu, biasa dinyatakan dalam satuan kendaraan/km (Tamin, 2003).

Kepadatan dirumuskan sebagai berikut:

$$D = \frac{V}{S} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

D = Kepadatan (kend/km)

V = Volume (kend/jam)

S = Kecepatan (km/jam)

2.4. Pemodelan Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Analisis karakteristik arus lalu lintas untuk suatu ruas jalan dapat dilakukan dengan mempelajari hubungan matematis antara kecepatan, arus, dan kepadatan lalu lintas yang terjadi pada ruas jalan tersebut. Hubungan matematis antara kecepatan, arus, dan kepadatan lalu lintas dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$V = D \times S \dots\dots\dots(15)$$

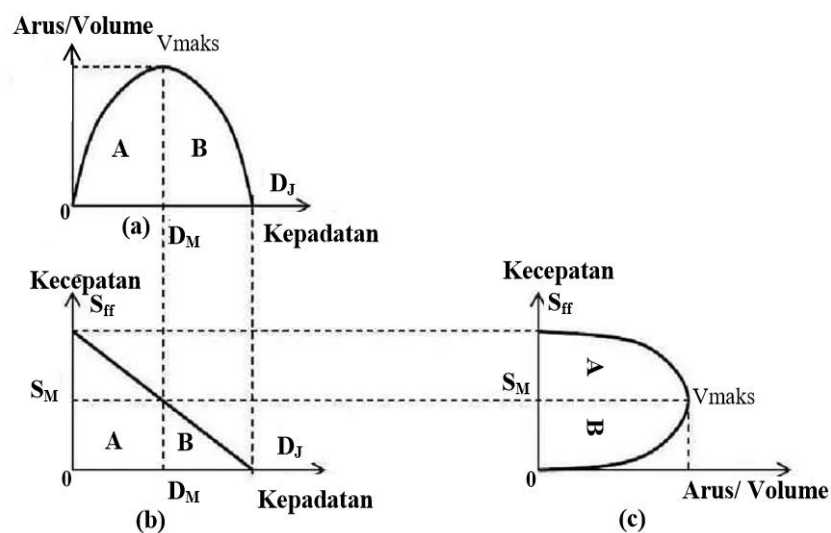
Dimana:

V = Volume (kend/jam)

D = Kepadatan (kend/km)

S = Kecepatan (km/jam)

Hubungan matematis antarparameter tersebut dapat juga dijelaskan pada Gambar 4 yang memperlihatkan bentuk umum hubungan matematis antara Kecepatan-Kepadatan (S - D), Arus-Kepadatan (V - D), dan Arus- Kecepatan (V - S). Pada grafik tersebut diketahui nilai volume maksimum, kecepatan maksimum, kepadatan maksimum, kepadatan jenuh, dan kecepatan arus bebas. Berikut adalah grafik hubungan matematis antara volume/arus, kecepatan, dan kepadatan Lalu lintas:



Gambar 4. Hubungan matematis antara kecepatan, arus/volume, dan Kepadatan.

Pada Gambar 4 menunjukkan hubungan yang signifikan dari ketiga grafik tersebut sehingga tergambar sejajar dikarenakan saling terkait antara ketiganya. Pada gambar tersebut dapat diterangkan bahwa:

1. Hubungan Arus/Volume-Kepadatan pada Gambar 4 (a)

Pada grafik yang pertama ini, untuk sumbu y akan menjelaskan arus/volume lalu lintas dan sumbu x menjelaskan kepadatan lalu lintas. Pada titik 0 (nol), arus/volume yang melintas tidak ada sehingga tidak terjadi kepadatan lalu lintas. Pada kondisi A, volume mulai meningkat sehingga kepadatan akan meningkat juga sampai titik volume maksimum (V_{maks}). Pada kondisi V_{maks} ini kendaraan yang melintas telah mendekati dari kapasitas ruas jalan tersebut. titik-titik tebal tersebut disebut kepadatan kritis yaitu kondisi dimana arus yang melintas melewati dari kapasitas jalan sehingga mulai terjadi antrian hingga kemacetan/arus yang tidak stabil. Pada kondisi B, yaitu telah terjadi antrian sehingga arus kendaraan yang akan melintas menurun dan kepadatan bertambah sampai terjadi kemacetan di titik Dj.

2. Hubungan Kecepatan-Kepadatan pada Gambar 4 (b)

Pada grafik yang kedua, untuk sumbu y akan menjelaskan kecepatan kendaraan dan sumbu x menjelaskan kepadatan lalu lintas. Pada titik 0 (nol), terjadi kecepatan arus bebas dimana kendaraan dapat memacu kendaraan tinggi tanpa hambatan sehingga kepadatan rendah. Pada kondisi A, kecepatan mulai menurun sehingga kepadatan akan meningkat hingga sampai titik kecepatan kritis. titik-titik tebal disebut kepadatan kritis yaitu kondisi dimana mulai terjadi antrian hingga kemacetan/arus yang tidak stabil. Pada kondisi B, yaitu telah terjadi antrian sehingga kecepatan kendaraan yang akan melintas menurun dan kepadatan bertambah sampai terjadi kemacetan di titik Dj.

3. Hubungan Arus/Volume-Kecepatan pada Gambar 4 (c)

Pada grafik yang ketiga ini, untuk sumbu y akan menjelaskan kecepatan lalu lintas dan sumbu x menjelaskan volume/ arus lalu lintas. Pada titik 0 (nol), arus/volume yang melintas tidak ada sehingga terjadi kecepatan arus bebas. Pada kondisi A, arus/volume mulai meningkat sehingga kecepatan akan menurun hingga sampai titik volume maksimum (V_{maks}). Titik-titik tebal disebut kecepatan kritis yaitu kondisi dimana mulai terjadi antrian hingga kemacetan/ arus yang tidak stabil. Pada kondisi B, yaitu telah terjadi antrian sehingga arus kendaraan yang akan melintas menurun dan kecepatan kendaraan menurun sampai terjadi kemacetan.

Gambar 4 memperlihatkan beberapa parameter penting arus Lalu lintas lainnya, yakni:

V_{Maks} = kapasitas atau arus maksimum (SKR/jam)

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

D_M = kepadatan pada kondisi arus lalu lintas maksimum (SKR/km)

D_j = kepadatan pada kondisi lalu lintas macet total (SKR/km)

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

Apabila kepadatan terus meningkat, maka akan dicapai suatu kondisi dimana peningkatan kepadatan tidak akan meningkatkan arus lalu lintas, malah sebaliknya akan menurunkan arus lalu lintas. Titik maksimum arus lalu lintas tersebut dinyatakan dengan kapasitas arus.

2.5. Model *Greenshield*

Pemodelan ini merupakan model paling awal yang tercatat dalam usaha mengamati perilaku lalu lintas. *Greenshields* mengadakan studi pada jalur jalan di kota Ohio, dimana kondisi lalu lintas memenuhi syarat karena tanpa gangguan dan bergerak secara bebas (*steady state condition*). *Greenshields* mendapat hasil bahwa hubungan antara kecepatan dan kerapatan bersifat linier. *Greenshields* merumuskan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan–Kepadatan diasumsikan linear (Tamin, 2008), seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$S = S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D \dots\dots\dots(16)$$

Dimana:

S = Kecepatan (km/jam)

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

D_j = Kepadatan pada kondisi arus lalu lintas macet total (kend/km)

Hubungan matematis antara Arus–Kepadatan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$V = D \cdot S_{ff} - \frac{S_{ff}}{D_j} \cdot D^2 \dots\dots\dots(17)$$

Hubungan matematis antara Arus–Kecepatan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$V = D_j \cdot S - \frac{D_j}{S_{ff}} \cdot S^2 \dots\dots\dots(18)$$

Kondisi arus maksimum/ Kapasitas (V_M) didapat dengan persamaan:

$$V_M = \frac{D_j \times S_{ff}}{4} \dots\dots\dots(19)$$

Kondisi kepadatan maksimum (D_M) didapat dengan persamaan:

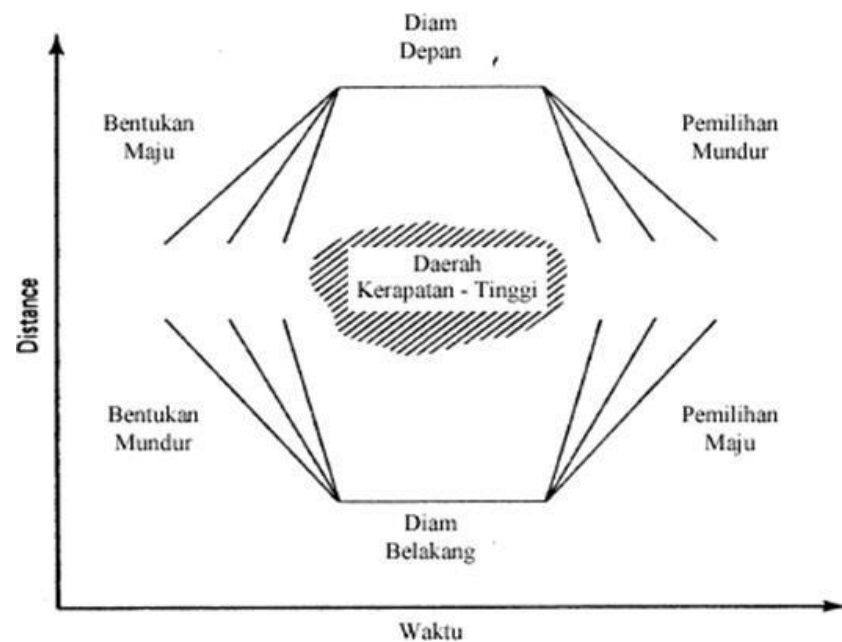
$$D_M = \frac{D_j}{2} \dots\dots\dots(20)$$

Kondisi kecepatan arus maksimum (S_M) didapat dengan persamaan:

$$S_M = \frac{S_{ff}}{2} \dots\dots\dots(21)$$

2.6. Analisis Gelombang Kejut

Gelombang kejut (*shock wave*) didefinisikan sebagai gerakan atau perjalanan sebuah perubahan arus lalu lintas yang merupakan dasar dari penentuan panjang antrian dan waktu penormalan yang diakibatkan oleh adanya hambatan berupa pengurangan kapasitas jalan ataupun penutupan jalur (Tungka, 2006). Gelombang kejut didefinisikan sebagai gerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kerapatan dan arus lalu lintas (Soedirdjo, 2002). Gelombang kejut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kerapatan rendah yang diikuti oleh arus dengan kerapatan tinggi, dimana kondisi ini mungkin diakibatkan oleh kecelakaan, pengurangan jumlah lajur, atau jalur masuk ramp. Misalnya saja perilaku lalu lintas pada saat memasuki jalan menyempit ketika nyala lampu merah.

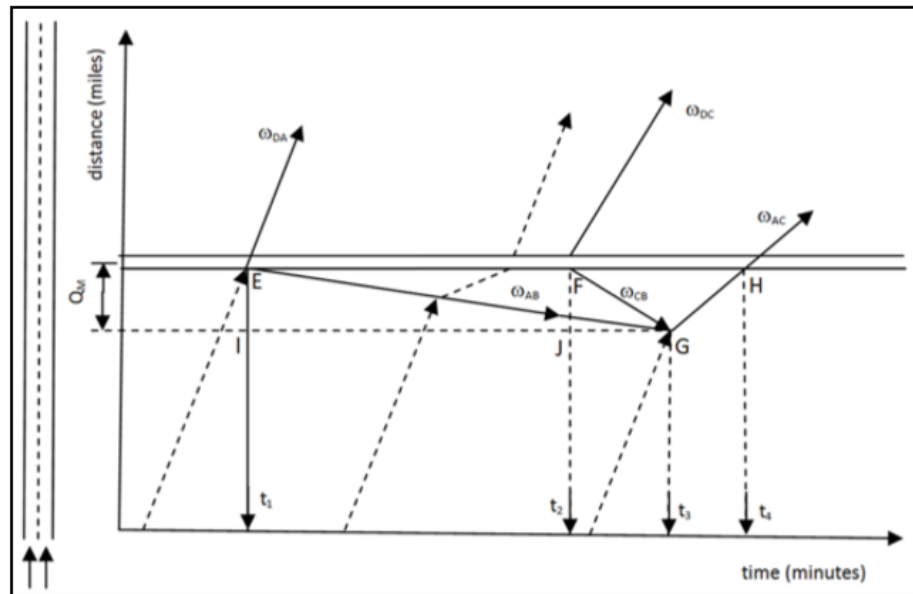
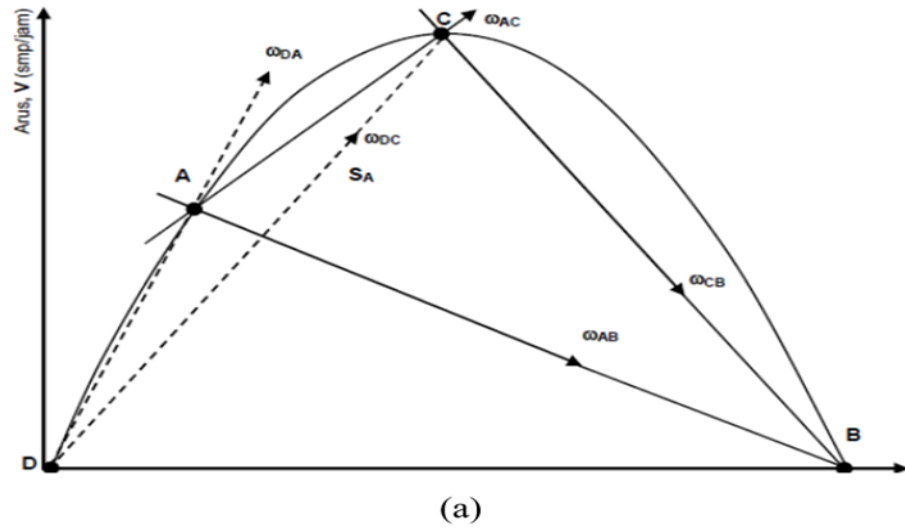


Gambar 5. Klasifikasi Gelombang Kejut.

Pada Gambar 5 merupakan grafik hubungan antara jarak dan waktu yang membentuk dari tipe gelombang kejut yang terjadi. Menurut (Tamin, 2008) gelombang kejut dapat diklasifikasikan menjadi 6 (enam) kelas, yaitu:

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

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



Gambar 6. Kurva gelombang kejut pada penyempitan jalan.

Kecepatan gelombang kejut baru dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\omega_{da} = \frac{VA - VD}{DA - DD} = S_A \dots\dots\dots(22)$$

$$\omega_{db} = \frac{VB - VD}{DB - DD} = 0 \dots\dots\dots(23)$$

$$\omega_{ab} = \frac{VB - VA}{DB - DA} \dots\dots\dots(24)$$

Dimana :

ω_{da} = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus D ke kondisi arus A
(km/jam)

ω_{ab} = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus A ke kondisi arus B
(km/jam)

V_A = nilai arus pada kondisi arus A (SKR/jam)

V_B = nilai arus pada kondisi arus B (SKR/jam)

V_D = nilai arus pada kondisi arus D (SKR/jam)

DA = kepadatan lalu lintas pada kondisi arus A (kend/km)

DB = kepadatan lalu lintas pada kondisi arus B (kend/km)

DD = kepadatan lalu lintas pada kondisi arus D (kend/km)

SA = kecepatan lalu lintas pada kondisi arus A (km/jam)

Kondisi arus A, B, dan D berlanjut hingga waktu t_2 , saat mana sinyal berubah menjadi hijau. Suatu arus kondisi baru terjadi yaitu kondisi C pada saat t_2 , dimana arus di garis henti meningkat dari nol menjadi arus jenuh. Ini mengakibatkan dua gelombang kejut baru yaitu ω_{dc} dan ω_{cb} , sedangkan gelombang kejut ω_{db} berakhir. Kecepatan kedua gelombang kejut ini dapat diketahui dengan cara grafis melalui Gambar 6a atau dihitung menurut persamaan berikut:

$$\omega_{dc} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D} = SC \dots\dots\dots(25)$$

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

$$\omega_{ac} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} \dots\dots\dots(27)$$

Dimana :

ω_{dc} = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus D ke kondisi arus C
(km/jam)

ω_{cb} = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus C ke kondisi arus B
(km/jam)

ω_{ac} = kecepatan gelombang kejut dari kondisi arus A ke kondisi arus C
(km/jam)

VC = nilai arus pada kondisi arus C (SKR/jam)

DC = kepadatan lalu lintas pada kondisi arus B (kend/km)

SC = kecepatan lalu lintas pada kondisi arus C (km/jam)

Kondisi arus A, B, D dan C ini berlanjut sampai dengan ω_{ab} dan ω_{cb} mencapai t_3 , selang waktu antara t_2 dan t_3 dapat dihitung menurut persamaan berikut dimana r adalah durasi efektif fase merah dalam satuan waktu detik:

$$t_2 - t_3 = r \left| \frac{\omega_{ab}}{\omega_{cb} - \omega_{ab}} \right| \dots\dots\dots(28)$$

Panjang antrian maksimum pada waktu t_3 dapat dihitung dengan rumus:

$$Q_m = \frac{r}{3600} \left| \frac{\omega_{cb} \cdot \omega_{ab}}{\omega_{cb} - \omega_{ab}} \right| \times 1000 \dots\dots\dots(29)$$

Pada waktu t_3 , terjadi gelombang kejut baru ω_{ac} , sedangkan dua gelombang kejut ω_{ab} dan ω_{cb} berakhir. Nilai ω_{ac} dapat dihitung dengan persamaan:

$$\omega_{ac} = \frac{VC - VA}{DC - DA} \dots\dots\dots(30)$$

Waktu penormalan $t_4 - t_2 = T$ dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T = \frac{r \cdot \omega_{ab}}{\omega_{cb} - \omega_{ab}} \times \left| \frac{\omega_{cb}}{\omega_{ac}} + 1 \right| \dots\dots\dots(31)$$

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

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Jalan Diponegoro, Kecamatan Teluk Betung Utara, Kota Bandar Lampung. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan karena sering terjadinya kemacetan Lalu lintas terutama pada jam-jam puncak. Pergantian nyala lampu Lalu lintas berwarna merah mengakibatkan antrian dan tundaan perjalanan dari kendaraan yang bergerak lurus pada pertigaan Jalan Diponegoro – Jalan Cut Mutia sehingga sesuai untuk melakukan penelitian analisis gelombang kejut.

Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 7 dan detail sketsa ruas jalan secara lebih jelas dapat dilihat pada gambar 8 halaman 26.



Gambar 7. Lokasi penelitian.

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

Pagi hari pada jam : 07.00 WIB – 09.00 WIB

(Mewakili jam berangkat kerja)

Sore hari pada jam : 16.00 WIB – 18.00 WIB

(Mewakili jam pulang kerja)

Penelitian ini dilakukan selama satu hari pada hari kerja mengingat lokasi penelitian merupakan jalur menuju sekolah dan perkantoran. Hal ini dilakukan agar mendapatkan data yang lebih akurat saat survei lapangan sehingga menghindari kesalahan atau penyimpangan pada hasil analisis.

3.2. Teknik Pelaksanaan Survei

3.2.1. Survei pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait kondisi aktual sebelum melakukan survei sesungguhnya. Pada tahap ini dilakukan survei untuk mendapatkan data-data seperti pola arus Lalu lintas dan kondisi lingkungan di sekitar persimpangan. Fungsi lain dari diadakannya survei pendahuluan:

- a) Untuk mengetahui penempatan titik pengamatan yang sesuai pada saat pelaksanaan survei.
- b) Mengetahui pola pergerakan Lalu lintas berdasarkan arus Lalu lintas pada persimpangan sehingga dapat menentukan waktu yang tepat untuk melakukan penelitian.
- c) Untuk memahami keadaan dan kondisi di sekitar lokasi penelitian sehingga dapat mengatasi permasalahan yang akan terjadi pada saat penelitian.

3.2.2. Pelaksanaan survei lapangan

Survei lapangan ini dilakukan pada hari senin pagi 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 pembuatan tanda pembatas tiap 5 meter sepanjang 120 meter pada ruas jalan menggunakan cat semprot *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.

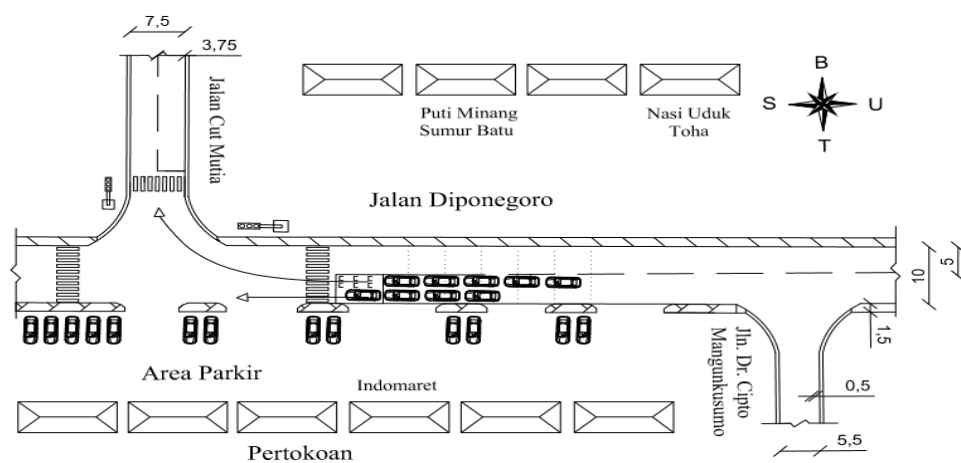
3.2.3. Peralatan

Peralatan yang digunakan untuk menunjang pelaksanaan penelitian di lapangan meliputi:

- a) *Drone camera* untuk merekam aktivitas lalu lintas yang terjadi di titik
- b) *Stopwatch* (menggunakan *handphone*) untuk menghitung waktu tundaan
- c) Cat semprot digunakan sebagai penanda titik pengamatan (*marking*).
- d) Pita ukur (*roll meter*)
- e) Laptop dan *software* untuk melakukan pengolahan data hasil survei.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data yang dibutuhkan berupa data primer atau data lapangan. Data utama yang harus didapatkan setelah dilakukannya survei pendahuluan adalah data geometrik seperti lebar ruas jalan, lebar trotoar, tipe jalan. Data primer didapat dari hasil survei lapangan dengan merekam video menggunakan alat bantu *drone camera* dan mencatat semua data yang diperlukan untuk penelitian ini. Pengolahan data dalam analisis gelombang kejut (*shock wave*) ini menggunakan bantuan program *Microsoft Excel*.



Gambar 8. Sketsa ruas jalan.

Pada gambar 8 menunjukkan antrian kendaraan pada pertigaan dari Jalan Diponegoro yang akan berbelok ke Jalan Cut Mutia dan mengakibatkan penyempitan pada badan jalan sehingga kendaraan yang ingin berjalan lurus akan mengalami penurunan kecepatan. Pada gambar tersebut lokasi dan batas-batas pengamatan yang telah ditentukan oleh penulis. Sebelumnya terlebih dahulu dilakukan pembuatan tanda pembatas tiap 5 meter sepanjang 120 meter pada ruas jalan menggunakan cat semprot serta dibutuhkan seorang surveyor yang mengoperasikan *drone camera* untuk merekam kondisi Lalu lintas di lokasi penelitian. Setelah dibuat tanda pembatas pada ruas jalan, selanjutnya surveyor yang bertugas untuk mengoperasikan *drone camera* melakukan perekaman aktivitas Lalu lintas pada persimpangan jalan. Survei lapangan dilakukan untuk mendapatkan data *time headway*, volume kendaraan, data waktu tempuh, panjang antrian.

Data-data tersebut dihitung per waktu 5 menit selama 2 jam pada tiap sesinya yaitu pagi hari dan sore hari. Berikut adalah langkah untuk mendapatkan data lalu lintas yang digunakan dalam perhitungan:

3.3.1. *Time Headway*

Data *time headway* digunakan untuk mendapatkan nilai EKR (Ekivalen Kendaraan Ringan). Nilai EKR digunakan untuk mengubah arus lalu lintas dari satuan kendaraan menjadi satuan kendaraan ringan (SKR).

Langkah kerja untuk mendapatkan data *time headway* sebagai berikut:

- a) Mencatat lama waktu pasangan suatu kendaraan yang melewati garis pengamatan dan diikuti oleh jenis kendaraan lainnya di belakangnya.
- b) Kendaraan yang diamati yaitu antara SM-SM, SM-KR, KR-SM, KR-KR, KR-KB, KB-KR, dan KB-KB per waktu 5 menit selama 2 jam.

3.3.2. Volume Kendaraan

Data Volume lalu lintas digunakan untuk pengolahan regresi model *greenshield* dan nilai gelombang kejut. 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 ringan yang melintas di titik batas pengamatan, lalu dihitung jumlah sepeda motor (SM), kendaraan ringan (KR), dan kendaraan berat (KB) pada saat penyempitan yang terjadi karena pemberhentian lampu merah.

3.3.3. Waktu Tempuh Kendaraan

Waktu tempuh kendaraan digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan lalu lintas. Nilai kecepatan didapat dengan membagi jarak tiap segmen dengan waktu tempuh yang diperoleh (m/det) kemudian dikonversi ke km/jam. Waktu tempuh yang digunakan yaitu waktu tempuh setiap sampel kendaraan ringan 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 ringan dari awal batas pengamatan sampai akhir batas pengamatan
- b) Mencatat waktu tempuh kendaraan (detik) yang melewati segmen pengamatan dengan menggunakan alat bantu *stopwatch*.

3.3.4. Panjang Antrian

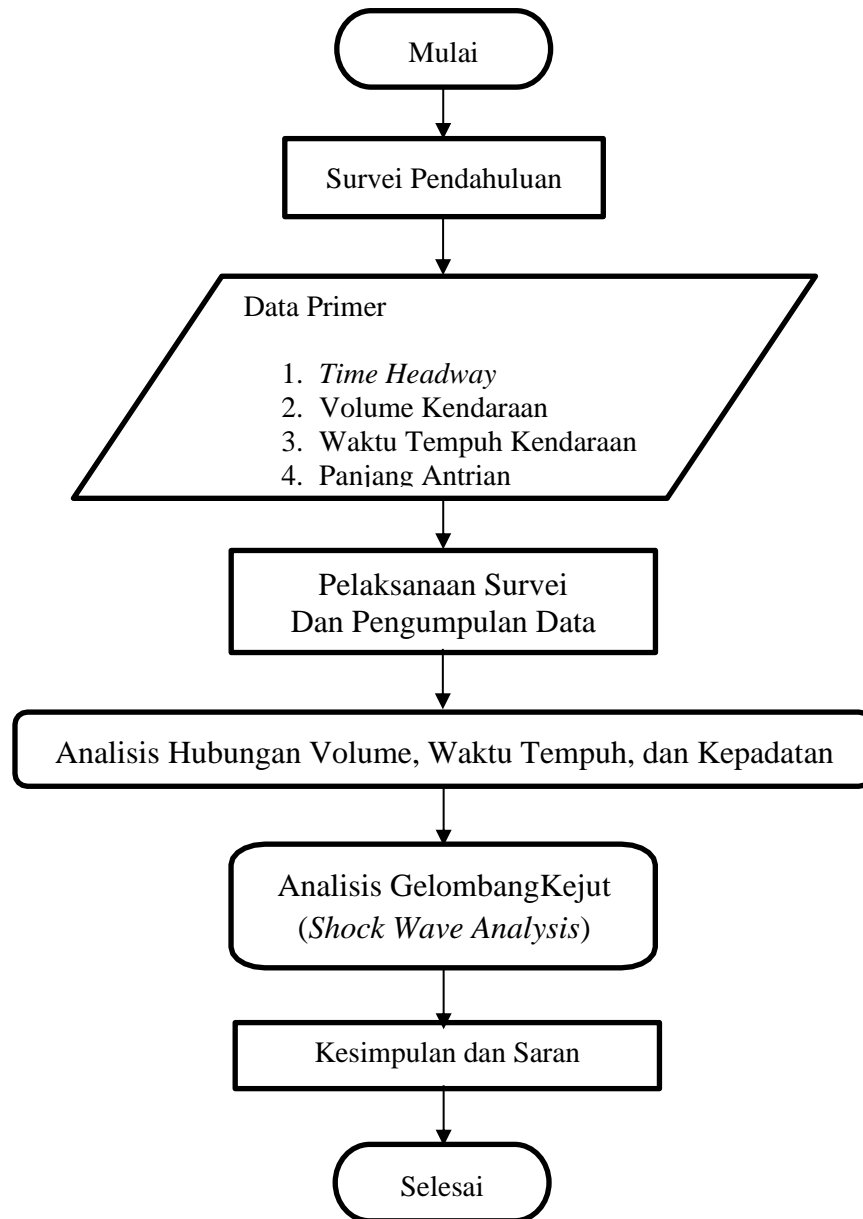
Panjang antrian digunakan untuk pembandingan antara hasil survei lapangan dengan hasil perhitungan yang berdasarkan analisis gelombang kejut (*shock wave*).

Langkah kerja untuk mendapatkan data panjang antrian sebagai berikut:

- a) Mengamati panjang antrian yang terjadi saat kendaraan melewati lampu merah.
- b) Mendapatkan panjang antrian kendaraan yang terjadi dengan mengamati hasil rekaman *drone camera*.

3.4. Diagram Alir Penelitian

Perencanaan tahapan pekerjaan yang akan dilakukan dibuat dalam bentuk diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 9 di bawah ini:



Gambar 9. Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan perhitungan analisis gelombang kejut panjang antrian (Q_m) yang diperoleh pada pengamatan pagi lebih besar yaitu 27,77 meter dibandingkan dengan panjang antrian (Q_m) yang diperoleh pada pengamatan sore yaitu 15,34 meter saat adanya penyempitan badan jalan.
2. Berdasarkan perhitungan analisis gelombang kejut waktu penormalan (T) yang diperoleh pada pengamatan pagi terjadi lebih lama yaitu sebesar 32,99 detik dibandingkan dengan waktu penormalan (T) pengamatan sore yaitu sebesar 12,43 detik saat adanya antrian kendaraan.

5.2. Saran

1. Sebaiknya perlu dilakukan pelebaran jalan pada persimpangan lampu merah untuk mengurangi besarnya waktu tempuh dan panjang antrian karena adanya penyempitan jalan pada lokasi tersebut.
2. Sebaiknya mengurangi jalan keluar masuk dari area ruko agar saat terjadi penyempitan jalan tidak menyebabkan kemacetan dan kepadatan pada jalan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, Alik Ansyori. 2008. *Rekayasa Lalu Lintas (Edisi Revisi)*. Universitas Muhammadiyah Malang Press. Malang.
- Departemen Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat Direktorat Bina Sistem Lalu Lintas Dan Angkutan Kota. 1999. *Teknik Pengumpulan dan Pengolahan data Angkutan Umum*. Balai Diklat Transjaya.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2014. *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Pesik, Belinda Septiani., Rompis, Samuel Y. R., Pandey, Sisca V. 2017. *Study Pemanfaatan Lampu Lalu Lintas Untuk Penyebrangan Jalan dan Pengaruhnya Terhadap Panjang Antrian Kendaraan*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil. Universitas Sam Ratulangi.
- Salter, RJ & N.B. Hounsell, 1996, *Highway Traffic Analysis and Design*, The Macmillan Press Ltd
- Soedirdjo, Titi Liliani. 2002. *Rekayasa Lalu Lintas*. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Tamin, O.Z. 2008. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Tungka, F. R., 2006. *Analisis Gelombang Kejut pada Persimpangan Berlampu Lalu Lintas (Studi Kasus: Jl. Sam Ratulangi dengan Jl. Baru Karombasan)*. Universitas Sam Ratulangi Manado.