

**KAJIAN GELOMBANG KEJUT PADA PERLINTASAN PINTU
KERETA API
(STUDI KASUS JALAN HOS COKROAMINOTO, KEBON JAHE
TANJUNG KARANG)**

(Skripsi)

Oleh :

**TRI MAKMUR PRASETYO
1615011077**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2023

ABSTRAK

KAJIAN GELOMBANG KEJUT PADA PERLINTASAN PINTU KERETA API (STUDI KASUS JALAN HOS COKROAMINOTO, KEBON JAHE TANJUNG KARANG)

Oleh

TRI MAKMUR PRASETYO

Pertemuan antara jalan raya dengan kereta api merupakan bentuk pertemuan yang akan menimbulkan terjadinya perubahan kecepatan dan kerapatan lalu lintas. Perubahan tersebut akan mengakibatkan terjadinya gelombang kejut (*Shock wave*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan kecepatan lalu lintas dan besarnya gelombang kejut yang terjadi di Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang.

Pengambilan data primer dilakukan secara langsung di lokasi menggunakan video kamera, data yang dikumpulkan adalah data arus lalu lintas (volume) dan data kecepatan (kecepatan rerata ruang). Pengamatan dilakukan setiap 5 menit pada waktu jam sibuk (peak hour) di hari yang berbeda, yaitu 1 hari pada saat hari kerja (weekday) pada pagi hari dan 1 hari saat akhir pekan (weekend) pada sore hari.

Hasil penelitian menunjukkan pengaruh pada perlintasan pintu kereta api dengan kecepatan dan kerapatan lalu lintas berdasarkan pendekatan gelombang kejut. Kecepatan kendaraan saat melintasi perlintasan Kereta Api adalah 2,99 km/jam. Sedangkan kecepatan kendaraan pada saat akan memasuki perlintasan adalah 9,00 km/jam. Selain itu, berdasarkan hasil gelombang kejut yang terjadi pada ruas jalan perlintasan kereta api secara berturut-turut adalah gelombang kejut maju bentukan (ω_{da}) sebesar 7,75 km/jam; gelombang kejut mundur bentukan (ω_{ab}) sebesar -0,91 km/jam; gelombang kejut maju pemulihan (ω_{dc}) sebesar 3,37 km/jam; gelombang kejut mundur pemulihan (ω_{cb}) sebesar -2,43 km/jam dan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{ac}) sebesar 1,16 km/jam.

Kata Kunci : Perlintasan pintu kereta api, Gelombang kejut, Lalu lintas.

ABSTRACT

SHOCK WAVE STUDY ON RAILWAY GATE CROSSING (Case Study: JALAN HOS COKROAMINOTO, KEBON JAHE TANJUNG KARANG

By

TRI MAKMUR PRASETYO

The meeting between the highway and the train is a form of meeting that will cause changes in speed and traffic density. This change will result in a shock wave. The purpose of this study was to determine the change in traffic speed and the magnitude of the shock wave that occurred on Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang.

Primary data retrieval is carried out directly on site using camera video, the data collected are traffic flow data (volume) and speed data (average space speed). Observations are carried out every 5 minutes during peak hours on different days, namely 1 day on weekdays in the morning and 1 day on weekends in the afternoon.

The results showed an influence on railway door crossings with speed and traffic density based on the shock wave approach. The speed of the vehicle when crossing the Railway crossing is 2.99 km / h. While the speed of the vehicle when entering the crossing is 9.00 km / hour. In addition, based on the results of shock waves that occur on consecutive sections of railway crossings, the forward shock wave (ω_{da}) of 7.75 km / h; reverse shock wave (ω_{ab}) of -0.91 km/h; recovery forward shock wave (ω_{dc}) of 3.37 km/h; The recovery reverse shock wave (ω_{cb}) was -2.43 km/h and the recovery forward shock wave (ω_{ac}) was 1.16 km/h.

Keywords : Train door crossing, Shock wave, Traffic.

**KAJIAN GELOMBANG KEJUT PADA PERLINTASAN PINTU
KERETA API
(STUDI KASUS JALAN HOS COKROAMINOTO, KEBON JAHE
TANJUNG KARANG)**

Oleh

TRI MAKMUR PRASETYO

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**

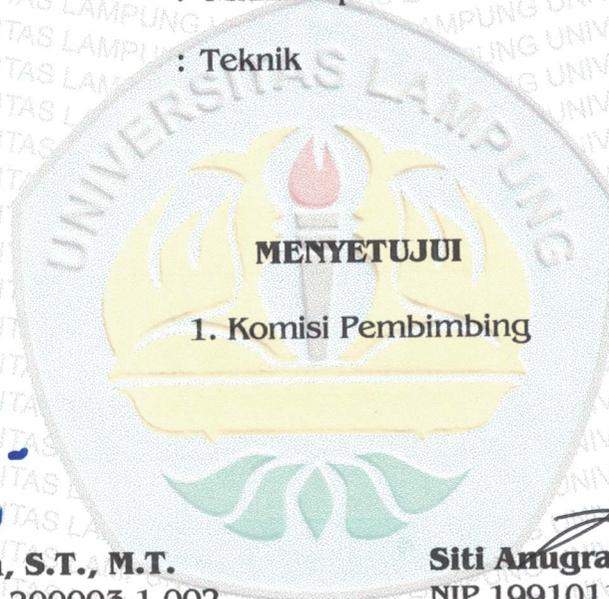
Judul Skripsi : **KAJIAN GELOMBANG KEJUT PADA
PERLINTASAN PINTU KERETA API
(STUDI KASUS JALAN HOS
COKROAMINOTO, KEBON JAHE
TANJUNG KARANG)**

Nama Mahasiswa : **Tri Makmur Prasetyo**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1615011077**

Program Studi : **Teknik Sipil**

Fakultas : **Teknik**



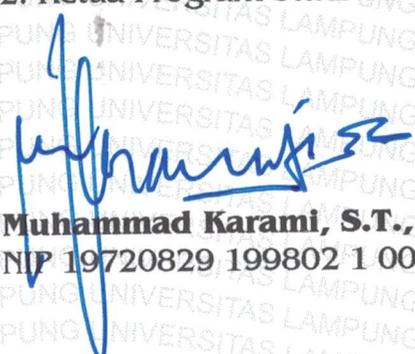
1. Komisi Pembimbing


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


Siti Anugrah Mulya P.O., 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.



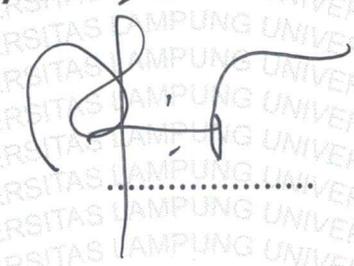
Sekretaris

: Siti Anugrah Mulya P.O., S.T., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing : Ir. Dwi Herianto, M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)

NIP 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 03 April 2023

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, adalah:

Nama : Tri Makmur Prasetyo
NPM : 1615011077
Prodi/jurusan : S1/Teknik Sipil
Fakultas : Teknik Universitas Lampung

Dengan ini 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 oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebut dalam daftar pustaka.

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

Bandar Lampung,
Penulis,

2023



Tri Makmur Prasetyo

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Tri Makmur Prasetyo, dilahirkan di Mojopahit, Punggur, Lampung Tengah pada 30 November 1996. Penulis merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara, putra dari Alm. Bapak Sungkono dan Ibu Gustmawati.

Jenjang Pendidikan Penulis dimulai dari Sekolah Dasar di SDN 2 Mojopahit dimulai dari tahun 2003-2010. Setelah lulus SD penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Punggur 2010-2013 dan melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Kejuruan di SMKN 3 Metro 2013-2016. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2016 melalui jalur PMPAP.

Pada tahun 2017 sampai 2018 penulis tercatat sebagai anggota Departemen Penelitian dan Pengembangan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung. Kemudian pada periode 2018/2019 penulis tercatat sebagai Kepala Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Kampung Kahuripan Dalam, Kecamatan Menggala Timur, Kabupaten Tulang Bawang sebagai Sekretaris Kecamatan selama 40 hari pada periode I, 02 Januari – 10 Februari 2020. Dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Sipil, penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di UIN Raden Intan, Lampung pada Proyek Pembangunan Kampus UIN Raden Intan Lampung Gedung Faculty of Science

and Technology Tower 1 Di Jl, Letnan H. Endro Suratmin, Kec. Sukarame,
Kota Bandar Lampung

Selanjutnya, penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi pada tahun 2020,
dengan judul skripsi Kajian Gelombang Kejut Pada Perlintasan Pintu Kereta
Api (Studi Kasus Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang).

Persembahan

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahirabbilalamin, puji syukur kepada Allah SWT atas karunia-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik, saya persembahkan skripsi ini untuk:

Ibu, Bapak, dan Kakak yang selalu memberikan dukungan moral, materi, dan doa untuk penulis. Terima kasih atas dukungan dan kepercayaan yang telah diberikan kepada penulis, semoga keluarga kita selalu diberi keberkahan dan perlindungan oleh Allah SWT.

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

Sahabat dan saudara-saudaraku yang selalu memotivasi dan mendoakan penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semua dosen yang telah mengajarkan banyak hal. Terima kasih atas ilmu, pengetahuan, dan pelajaran hidup yang telah diberikan.

Keluarga Teknik Sipil Angkatan 2016 yang selalu menemani dan memberikan dukungan kepada penulis

MOTTO

“Yakinlah, ada sesuatu yang menantimu setelah sekian banyak kesabaran (yang kau jalani), yang akan membuatmu terpana hingga kau lupa betapa pedihnya rasa sakit.”

(Ali bin Abi Thalib)

“Bukanlah ilmu yang seharusnya mendatangimu, tetapi kamulah yang harus mendatangi ilmu itu.”

(Imam Malik)

“Kalau hidup sekadar hidup, babi di hutan juga hidup. Kalau bekerja sekadar bekerja, kera juga bekerja.”

(Buya Hamka)

SANWACANA

Puji Syukur penulis ucapkan karena dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Kajian Gelombang Kejut Pada Perlintasan Pintu Kereta Api (Studi Kasus Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang)” dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung

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.
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 Pembimbing Utama yang telah memberikan ilmu pengetahuan, saran, kritik, semangat dan bimbingan dalam penelitian ini.
5. Ibu Siti Anugrah Mulya P.O., S.T., M.T., selaku Pembimbing Kedua yang sudah memberikan banyak ilmu pengetahuan, saran, kritik, serta semangat dalam membimbing penelitian ini.
6. Bapak Ir. Dwi Herianto, M.T., selaku Penguji yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam penelitian ini.
7. Bapak Ir. Surya Sebayang, M.T., selaku Pembimbing Akademik yang telah memberikan saran, kritik, dan bimbingan dalam akademik saya.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung atas ilmu yang telah diberikan selama perkuliahan.
9. Keluarga tercinta Ibu, Bapak, serta Kakak yang selalu mendukung dan memberikan do'a terbaik.
10. Terimakasih juga kepada keluargaku, rekan seperjuangan ku, Angkatan 2016 Teknik Sipil Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, kritikan, saran, serta doanya kepada saya selama ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, baik dari isi maupun cara penyampaiannya. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Akhir kata, Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan ilmu baru dan membawa manfaat bagi pembaca.

Bandar Lampung, 2023

Penulis,

Tri Makmur Prasetyo

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Penelitian	2
C. Batas Penelitian	2
D. Tujuan Penelitian.....	3
E. Manfaat Penelitian.....	3
F. Sistematika Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Perlintasan Kereta Api.....	5
B. Karakteristik Lalu Lintas	5
1. Volume (V)	6
2. Kecepatan (S).....	6
3. Kepadatan (D).....	7
4. Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan	7
C. Nilai Ekuivalensi Kendaraan Ringan (EKR).....	9
1. Perhitungan Nilai Ekuivalensi Kendaraan Ringan (EKR) dengan Analisis Rasio <i>Headway</i>	10
2. Tinjauan Statistik Rasio <i>Headway</i>	12
3. Model <i>Greenshields</i>	16
4. Model <i>Greenberg</i>	16
5. Model <i>Underwood</i>	17
D. Gelombang Kejut (<i>Shock Wave</i>)	19

1. Klasifikasi Gelombang Kejut.....	20
2. Nilai Gelombang Kejut.....	22
E. Penelitian Terdahulu.....	27
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	33
A. Umum.....	33
B. Survei Pendahuluan.....	33
C. Survei Desain.....	35
D. Survei Primer.....	36
E. Pengolahan Data.....	38
F. Diagram Alir Penelitian.....	40
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
A. Karakteristik Lalu Lintas.....	41
1. Nilai Ekvivalen Kendaraan Ringan (EKR).....	41
2. Volume Lalu Lintas.....	47
3. Kecepatan Lalu Lintas.....	49
4. Kepadatan Lalu Lintas.....	51
B. Model hubungan Antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas dengan menggunakan model terbaik antara <i>Greenshields</i> , <i>Greenberg</i> , dan <i>Underwood</i>	52
1. Model <i>Greenshields</i>	52
2. Model <i>Greenberg</i>	53
3. Model <i>Underwood</i>	55
C. Nilai Gelombang Kejut.....	60
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	68
A. Kesimpulan.....	68
B. Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2. 1 Persamaan Model Linear Greenshields.....	16
Tabel 3. 1 Rekomendasi panjang jalan untuk studi kecepatan.....	36
Tabel 4. 1 Data Time Headway (Detik).....	42
Tabel 4. 2 Perhitungan Senjang Rata-rata Time Headway (detik).....	44
Tabel 4. 3 Nilai Time Headway Terkoreksi.....	44
Tabel 4. 4 Perhitungan Nilai EKR SM	46
Tabel 4. 5 Rekapitulasi Nilai EKR dengan Analisis Rasio Headway.....	46
Tabel 4. 6 Rasio Volume Kendaraan	48
Tabel 4. 7 Perubahan Kecepatan Setiap Segmen	50
Tabel 4. 8 Nilai R^2 Pada Masing-Masing Model	56
Tabel 4. 9 Data Regresi untuk Model Greenberg	58
Tabel 4. 10 Perhitungan Gelombang Kejut.....	62
Tabel 4. 11 Panjang antrian dan waktu penormalan hasil perhitungan.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Hubungan matematis antara volume, kecepatan, dan kepadatan.....	8
Gambar 2. 2 Kombinasi pasangan kendaraan yang ditinjau.....	11
Gambar 2. 3 Contoh cara pencatatan time headway KR-KR.....	11
Gambar 2. 4 Klasifikasi gelombang kejut.....	22
Gambar 2. 5 Gelombang kejut pada saat memasuki pintu perlintasan kereta api.	23
Gambar 2. 6 Diagram waktu dan jarak akibat gelombang kejut.....	24
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.....	34
Gambar 3. 2 Lokasi dan area Pengamatan.....	36
Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian.....	40
Gambar 4. 1 Grafik data volume lalu lintas rata-rata.....	47
Gambar 4. 2 Rasio volume kendaraan Arjuna - Chandra	49
Gambar 4. 3 Grafik data kecepatan lalu lintas rata-rata.....	49
Gambar 4. 4 Grafik data kepadatan lalu lintas rata-rata.....	51
Gambar 4. 5 Hubungan V-D-S model <i>greenshields</i>	52
Gambar 4. 6 Hubungan V-D-S model <i>greenberg</i>	54
Gambar 4. 7 Hubungan V-D-S Model <i>Underwood</i>	55
Gambar 4. 8 Grafik arus dan kepadatan.....	64
Gambar 4. 9 Diagram jarak – waktu	65

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Persimpangan jalan merupakan bentuk pertemuan antara dua ruas jalan saling bertemu atau berpotongan dengan arah yang berbeda. Persimpangan diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu persimpangan sebidang dan tidak sebidang. Persimpangan tidak sebidang merupakan persimpangan dua ruas jalan saling bertemu tetapi tidak dalam satu bidang yang sama, dimana salah satu ruas berada diatas atau dibawah, seperti *fly over* dan *underpass*. Pada simpang sebidang terbagi menjadi persimpangan sebidang dan perlintasan sebidang.

Perlintasan sebidang antara jalan raya dengan kereta api merupakan bentuk pertemuan yang menimbulkan masalah, dimana pengguna jalan raya harus mengutamakan kereta api. Hal tersebut akan menimbulkan terjadinya pengurangan arus dan peningkatan kerapatan yang menyebabkan adanya panjang antrian pada perlintasan sebidang tersebut. Kondisi ini dapat digambarkan dengan studi gelombang kejut (*shockwave*). Gelombang kejut (*shockwave*) didefinisikan sebagai suatu gerakan pada arus lalu lintas yang terjadi akibat adanya perubahan nilai arus dan kerapatan lalu lintas (Soedirdjo, 2002). Salah satunya pada perlintasan kereta api di Jalan Hos

Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang. Di mana, pada perlintasan tersebut terdapat perlintasan kereta api yang dapat mengakibatkan perubahan kecepatan dan kerapatan kendaraan pada saat kereta api melintas ataupun tidak. Perubahan kecepatan dan kerapatan tersebut mengakibatkan terjadinya gelombang kejut (*shock wave*).

Penelitian yang serupa telah dilakukan oleh Selvia Angraini pada tahun 2021 dengan menganalisis tundaan dan panjang antrian yang terjadi dengan melakukan perhitungan volume, kecepatan, kerapatan dan *gap acceptance*. Dimana pada ruas Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang, terdapat perubahan kecepatan yang diakibatkan karena adanya hambatan pada perlintasan kereta api. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui gelombang kejut yang terjadi pada saat pintu perlintasan kereta api terbuka pada ruas jalan tersebut.

B. Rumusan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang di kemukakan pada latar belakang yaitu perlintasan kereta api di Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang, akan menimbulkan terjadinya perubahan kecepatan dan kerapatan lalu lintas. Perubahan tersebut mengakibatkan terjadinya gelombang kejut (*shock wave*).

C. Batas Penelitian

Dalam penelitian ini mempunyai batasan masalah sebagai berikut:

1. Parameter yang digunakan untuk menentukan tundaan perjalanan di ruas Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang adalah arus, kecepatan, dan kepadatan.
2. Data yang digunakan adalah data primer.
3. Penelitian dilakukan pada masa pandemi.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui perubahan kecepatan lalu lintas dan besarnya gelombang kejut yang terjadi di Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan dan pemahaman dibidang perencanaan dan permodelan transportasi, khususnya dalam analisis gelombang kejut (*shockwave*) yang terjadi akibat adanya perlintasan kereta api sehingga dapat mengurangi kemacetan di Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang.

F. Sistematika Penelitian

Penulisan skripsi ini menggunakan sistematika penulisan yaitu sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan tentang penelitian sebelumnya yang menjadi acuan dalam penyusunan penelitian.

BAB III : LANDASAN TEORI

Berisikan landasan teori dari berbagai literatur yang mendukung pembahasan dalam penelitian.

BAB IV : METODE PENELITIAN

Berisikan tentang hal-hal yang berkaitan dengan bahan-bahan, metode-metode dan pelaksanaan penelitian.

BAB V : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan tentang hasil penelitian dan pembahasan dari data yang didapatkan setelah dilakukan penelitian.

BAB VI : SIMPULAN DAN SARAN

Terdiri kesimpulan dan saran-saran yang ingin disampaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan referensi-referensi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perlintasan Kereta Api

Perlintasan Kereta Api merupakan pertemuan antara jalan raya bergabung atau berpotongan dengan jalan rel kereta api. Pertemuan jalan dan rel kereta api merupakan situasi khusus di jalan raya yang harus diawasi secara cermat. Pandangan pengemudi harus tetap tidak terhalang. Di perlintasan ini kita juga harus memperhatikan keselamatan pengguna jalan, selain itu juga yang tak kalah penting adalah dampaknya terhadap tundaan kendaraan.

Tundaan yang terjadi pada persimpangan jalan dan jalan rel kereta api dipengaruhi oleh faktor-faktor:

- 1) Pengoperasian kereta yang meliputi kecepatan, panjang kereta dan frekuensi kereta yang lewat dalam satu hari.
- 2) Pengoperasian jalan yang meliputi kecepatan kendaraan dan tingkat kepadatan arus kondisi
- 3) Kondisi geometrik jalan yang mengikuti lebar jalan, jumlah lajur dan keberadaan pemisah arus, keberadaan *rumble strips*, dan alur jalan rel.

B. Karakteristik Lalu Lintas

Arus lalu lintas pada umumnya terdiri dari jalan, manusia, dan kendaraan yang terbentuk menjadi suatu sistem, Dalam pergerakan setiap kendaraan

memiliki tujuan serta cara mengemudi yang berbeda, dimana pada perbedaan pergerakan ini akan berpengaruh pada karakteristik arus lalu lintas. Dalam karakteristik arus lalu lintas memiliki tiga variable utama dalam menjelaskan karakteristik arus lalu lintas yaitu:

1. Volume (V)

Volume merupakan jumlah kendaraan yang melewati satu titik pengamatan pada ruas jalan tertentu per waktu tertentu. Volume lalu lintas biasanya dinyatakan dengan satuan kendaraan/jam (SKR/jam atau kendaraan/hari (SKR/hari).

Dalam pembahasan volume dibagi menjadi:

a) Volume Harian (*Daily Volumes*)

Volume harian ini digunakan sebagai dasar dalam perencanaan jalan dan observasi.

b) Volume Per Jam (*Hourly Volumes*)

Volume per jam merupakan pengamatan terhadap arus lalu lintas untuk menentukan jam puncak selama periode pagi dan sore yang biasanya merupakan kesibukan akibat orang pergi dan pulang. Dimana pada pengamatan tersebut diketahui arus paling besar yang disebut dengan jam puncak.

2. Kecepatann (S)

Kecepatan merupakan besaran yang menunjukkan jarak yang ditempuh kendaraan dibagi waktu tempuh. Satuan yang biasa digunakan adalah meter/detik atau kilometer/jam. Kecepatan kendaraan dipengaruhi oleh

faktor-faktor manusia, kendaraan, prasarana dan juga dipengaruhi oleh arus lalu lintas. Sehingga kecepatan dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \frac{d}{t} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

S = kecepatan (km/jam)

d = jarak tempuh kendaraan (km)

t = waktu tempuh kendaraan (detik)

3. Kepadatan (D)

Kepadatan didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang menempati panjang jalan atau lajur pada waktu tertentu. Satuan yang biasa digunakan adalah kendaraan persatuan panjang atau kendaraan/kilometer.

Kepadatan dapat dihitung dengan rumus:

$$D = \frac{V}{S} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

D = kepadatan (skr/km)

V = volume kendaraan (skr/jam)

S = kecepatan (km/jam)

4. Hubungan antara Volume, Kecepatan, dan Kerapatan

Volume, kecepatan, dan kerapatan merupakan tiga *variable*/parameter utama dalam aliran lalu lintas untuk mengetahui karakteristik lalu lintas.

Hubungan dasar antara *variable* kecepatan, volume dan kepadatan dinyatakan dalam hubungan matematis dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = D \times S \dots\dots\dots(3)$$

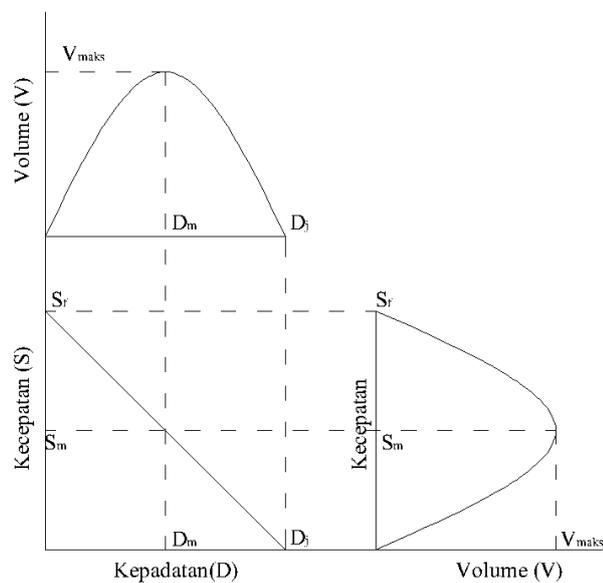
Keterangan:

V = arus/kecepatan (skr/jam)

D = kepadatan (skr/km)

S = kecepatan (km/jam)

Persamaan diatas hanya berlaku untuk arus lalu lintas tak terganggu, dimana setiap arus bergerak secara bebas tidak ada pengaruh dari luar. Hubungan antara ketiga parameter tersebut menggambarkan tentang aliran lalu lintas tidak terinterupsi (*uninterrupted traffic stream*) dimana volume merupakan hasil dari kecepatan dan kerapatan. Sementara itu hubungan tersebut untuk lalu lintas yang stabil, kombinasi variabel yang menghasilkan hubungan dua dimensi.



Gambar 2. 1 Hubungan matematis antara volume, kecepatan, dan kepadatan.

Dimana:

V_m = adalah kapasitas atau volume maksimum

S_m = kecepatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum

D_m = kepadatan pada kondisi lalu lintas maksimum

D_j = kepadatan kondisi volume lalu lintas macet total

S_f = kecepatan pada kondisi lalu lintas sangat rendah atau pada kondisi kepadatan mendekati 0 (nol) atau kecepatan arus bebas (km/jam)

Model pada hubungan antara arus, kecepatan, dan kepadatan, dapat dilihat pada Gambar 2.3. bahwa jika arus “nol” (tidak terdapat kendaraan yang bergerak di jalan raya berarti kepadatannya nol, dimana kecepatan teoritis didasarkan pada “kecepatan” *free flow speed*) yang merupakan arus kecepatan tertinggi. Jika kepadatan mencapai pada kondisi maksimum dan kecepatan perjalanan akan mendekati nol, maka kendaraan yang bergerak harus mengurangi kecepatan bahkan berhenti yang menjadi salah satu penyebab kemacetan lalu lintas yang disebut dengan *traffic jam*.

C. Nilai Ekuivalensi Kendaraan Ringan (EKR)

Untuk keperluan analisa dan perhitungan dari volume lalu lintas yang terdiri dari berbagai tipe, maka perlu dikonversikan kedalam satuan kendaraan ringan yang dikenal sebagai satuan mobil penumpang dengan menggunakan faktor ekuivalen mobil penumpang. PKJI (2014), mendefenisikan satuan kendaraan ringan dan ekuivalen kendaraan ringan sebagai berikut:

- 1) Satuan Kendaraan Ringan, yaitu satuan arus, dimana arus dari berbagai tipe kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan EKR.

- 2) Ekuivalen Kendaraan Ringan, yaitu faktor dari beberapa tipe kendaraan dibandingkan terhadap kendaraan ringan sehubungan dengan pengaruhnya kepada kecepatan kendaraan ringan dalam arus campuran (untuk kendaraan ringan yang sama sasisnya memiliki $e_{kr} = 1,0$).

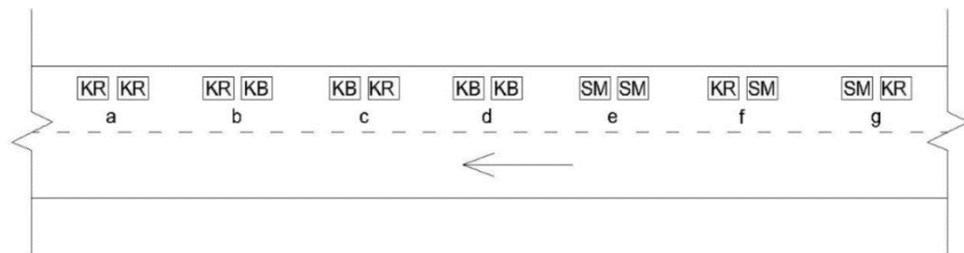
Klasifikasi kendaraan menurut PKJI (2014) meliputi:

- 1) Kendaraan Ringan (KR) adalah kendaraan bermotor dengan dua as beroda empat, panjang kendaraan tidak lebih dari 5,5m dengan lebar sampai 2,5m. Meliputi: sedan, minibus (termasuk angkot), mikrobis (termasuk mikrolet, oplet, metromini), pick-up, dan truk kecil.
- 2) Kendaraan Berat (KB) adalah kendaraan bermotor dengan dua sumbu atau lebih, beroda 6 atau lebih, panjang kendaraan 12,0m atau lebih, dengan lebar sampai dengan 2,5m. Meliputi: bus besar, truk besar 2 atau 3 sumbu (tandem), truk tempelan, dan truk gandengan.
- 3) Sepeda Motor (SM) adalah kendaraan bermotor dengan dua atau tiga roda. Meliputi: sepeda motor dan kendaraan roda tiga.
- 4) Kendaraan Tak Bermotor (KTB) adalah kendaraan yang tidak menggunakan motor, bergerak ditarik oleh orang atau hewan, termasuk sepeda, becak, kereta dorongan, dokar andong, dan gerobak.

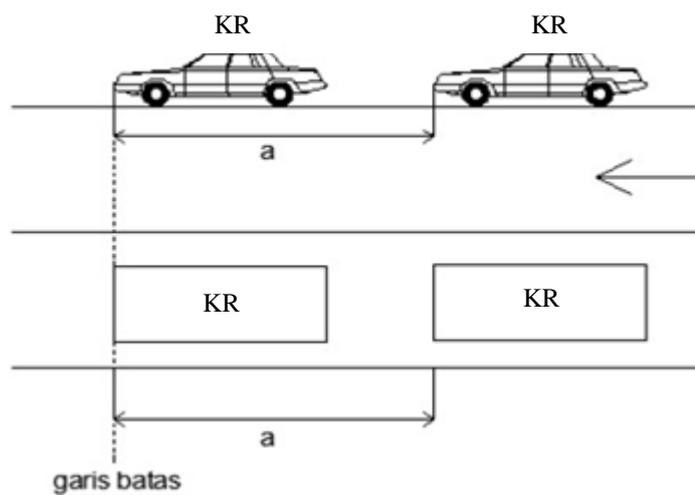
1. Perhitungan Nilai Ekuivalensi Kendaraan Ringan (EKR) dengan Analisis Rasio *Headway*

Metode Rasio *Headway* adalah salah satu cara untuk menentukan nilai EKR kendaraan. Menurut R.J. Salter (1976) dalam bukunya "*Highway*

Traffic Analysis and Design". Nilai EKR didapat dengan mencatat waktu antara (*time headway*) kendaraan yang berurutan pada saat kendaraan tersebut melewati suatu titik pengamatan yang telah ditentukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari Gambar 2.2 dan Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 2 Kombinasi pasangan kendaraan yang ditinjau.



Gambar 2. 3 Contoh cara pencatatan time headway KR-KR.

Keterangan:

KR = kendaraan ringan

KB = kendaraan berat

SM = sepeda motor

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

2. Tinjauan Statistik Rasio *Headway*

Karena sampel dipilih acak maka dimungkinkan adanya suatu kesalahan standar deviasi (s) dari distribusi yang dinyatakan sebagai *standard error* (E) sebagai berikut:

$$E = \frac{S}{n^{0.5}} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

E = *standard error*

s = standar deviasi

n = jumlah sampel

dan S adalah standard deviasi:

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

n = jumlah sampel

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 (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 :

$$e = K \cdot E \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

K = tingkat kepastian distribusi normal

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

$$\mu_{1,2} = \bar{x} \pm e \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

$\mu_{1,2}$ = batas kepastian 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. (Iskandar, 2010).

Hal tersebut diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$t_a + t_d = t_b + t_c \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

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

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

t_c = nilai rata-rata *time headway* KB diikuti KR

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

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:

$$\left[t_a - \frac{k}{n_a} \right] + \left[t_d - \frac{k}{n_d} \right] = \left[t_b + \frac{k}{n_b} \right] + \left[t_c + \frac{k}{n_c} \right] \dots\dots\dots(9)$$

$$k = \frac{n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d (t_a + t_d - t_b - t_c)}{n_d \cdot n_b \cdot n_c + n_a \cdot n_b \cdot n_c + n_a \cdot n_d \cdot n_c + n_a \cdot n_d \cdot n_b} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana:

n_a = jumlah data *time headway* KR diikuti KR

n_b = jumlah data *time headway* KR diikuti KB

n_c = jumlah data *time headway* KB diikuti KR

n_d = jumlah data *time headway* KB diikuti KB

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

$$t_{ak} = t_a - \frac{k}{n_a} \dots \dots \dots (11)$$

$$t_{bk} = t_b - \frac{k}{n_b} \dots \dots \dots (12)$$

$$t_{ck} = t_c - \frac{k}{n_c} \dots \dots \dots (13)$$

$$t_{dk} = t_d - \frac{k}{n_d} \dots \dots \dots (14)$$

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

$$t_{ak} + t_{dk} = t_{bk} + t_{ck} \dots \dots \dots (15)$$

Dimana:

t_{ak} = nilai rata-rata *time headway* KR-KR terkoreksi

t_{bk} = nilai rata-rata *time headway* KR-KB terkoreksi

t_{ck} = nilai rata-rata *time headway* KB-KR terkoreksi

t_{dk} = nilai rata-rata *time headway* KB-KB terkoreksi

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

$$EKR_{KB} = \frac{t_{dk}}{t_{ak}} \dots \dots \dots (16)$$

Sedangkan rumus untuk memperoleh nilai EKR SM adalah sama dengan rumus EKR KB namun variabel KB diganti dengan variabel SM.

3. Model *Greenshields*

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

Tabel 2. 1 Persamaan Model Linear *Greenshields*

Hubungan	Persamaan yang dihasilkan	Hubungan	Persamaan yang dihasilkan
S-D	$S = S_f - (S_f / D_j) \cdot D$	VM	$VM = (D_j \cdot S_f)$
V-D	$V = D \cdot S_f - (S_f / D_j) \cdot D^2$	SM	$SM = S_f / 2$
V-S	$V = D_j \cdot S - (D_j / S_f) \cdot S^2$	DM	$DM = D_j / 2$

Sumber: Tamin, 2008

4. Model *Greenberg*

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

$$S = S_M \cdot \ln(D_j/D) \dots\dots\dots(17)$$

Dimana:

S_M = Kecepatan maksimum (km/jam)

Jika $S=V/D$ disubstitusikan ke dalam persamaan (19) maka akan didapatkan model antara volume/arus dengan kecepatan seperti pada persamaan berikut:

$$V/D = S_M \cdot \ln (D_j/D) \dots\dots\dots(18)$$

$$V= S_M \cdot D \cdot \ln (D_j/D) \dots\dots\dots(19)$$

Jika $D = V/S$ disubstitusikan ke dalam persamaan (19) maka akan didapatkan suatu model hubungan antara volume dan kecepatan seperti pada persamaan berikut:

$$S = S_M \cdot \ln (D_j/(V/S))$$

$$V= D_j \cdot S \cdot \exp(-S/S_M) \dots\dots\dots(20)$$

Arus maksimum terjadi pada saat tercapainya nilai kepadatan optimum (D_M), yaitu jika turunan pertama dari persamaan (21) sama dengan nol yaitu:

$$\frac{\partial V}{\partial D} = S_M \cdot \ln (D_j / D) - S_M$$

$$D=D_M = D_j / e \dots\dots\dots(21)$$

Selanjutnya jika nilai $D_M = D_j / e$ disubstitusikan ke persamaan (21) maka akan diperoleh nilai volume maksimum, sehingga :

$$V_{maks} = S_M \cdot D_M \dots\dots\dots(22)$$

Model Greenberg tidak valid untuk kepadatan yang kecil (D mendekati nol), $S = \infty$. Sehingga model ini tidak sesuai dengan realita pada kondisi arus lalu lintas yang rendah.

5. Model Underwood

Underwood mengasumsikan bahwa hubungan matematis antara Kecepatan

– Kepadatan bukan merupakan fungsi linear melainkan fungsi

eksponensial (Ofyar Tamin, 1992). Persamaan dasar model *Underwood* dapat dinyatakan melalui persamaan (23).

$$S = S_{ff} \cdot e^{-\frac{D}{D_M}} \dots\dots\dots(23)$$

Dimana:

S_{ff} = Kecepatan arus bebas

D_M = Kepadatan pada kondisi arus maksimum

Jika persamaan (25) dinyatakan dalam bentuk logaritma natural, maka persamaan (25) dapat dinyatakan kembali sebagai persamaan (26) sehingga hubungan matematis antara Kecepatan – Kepadatan, selanjutnya dapat juga dinyatakan dalam persamaan (26).

$$\ln S = \ln S_{ff} - \frac{D}{D_M} \dots\dots\dots(24)$$

$$\frac{V}{D} = S_{ff} \cdot e^{-\frac{D}{D_M}} \dots\dots\dots(25)$$

$$V = D \cdot S_{ff} \cdot e^{-\frac{D}{D_M}} \dots\dots\dots(26)$$

Persamaan (28) adalah persamaan yang menyatakan hubungan matematis antara Arus – Kepadatan.

$$S = S_{ff} \cdot e^{-\frac{V}{S \cdot D_M}} \dots\dots\dots(27)$$

$$\ln S = \ln S_{ff} - \frac{D}{S \cdot D_M} \dots\dots\dots(28)$$

$$\frac{V}{S \cdot D_M} = \ln S_{ff} - \ln S \dots\dots\dots(29)$$

$$V = S \cdot D_M (\ln S_{ff} - \ln S) \dots\dots\dots(30)$$

Persamaan (32) adalah persamaan yang menyatakan hubungan matematis antara Arus – Kecepatan (Kapasitas).

Model *Underwood* tidak valid untuk kepadatan yang tinggi, karena kecepatan tidak pernah mencapai nol pada saat kepadatan yang tinggi.

Kondisi kecepatan pada saat arus maksimum (S_M) didapat dengan persamaan:

$$S_M = e^{\ln S_{ff} - 1} \dots\dots\dots (31)$$

D. Gelombang Kejut (*Shock Wave*)

Gelombang kejut merupakan batas kondisi berbasis ruang dan waktu ditandai dengan diskontinuitas antara arus padat dan tak padat (May, 1990). Gelombang kejut juga dapat didefinisikan sebagai gerakan pada arus lalu lintas akibat adanya perubahan nilai kerapatan dan arus lalu lintas. Hal tersebut terbentuk ketika pada sebuah ruas jalan terdapat arus dengan kepadatan rendah yang diikuti arus dengan kepadatan tinggi, dimana kondisi ini mungkin terjadi karena adanya kecelakaan, pengurangan jumlah lajur, atau jalur masuk *ramp*.

Gelombang kejut pada perlintasan jalan dan kereta api terjadi pada kondisi perlintasan tertutup maupun terbuka. Pertama akibat tertutupnya badan jalan akibat pintu perlintasan tertutup dan yang kedua akibat pengurangan kecepatan kendaraan di depan kelompok kendaraan (*platoon*) untuk mengurangi ketidaknyamanan saat melintasi jalur rel yang tidak rata. Pada kondisi pertama yaitu pada saat pintu perlintasan kereta api tertutup, kendaraan akan secara paksa berhenti akibat adanya kereta yang melintas sehingga menyebabkan terjadinya kepadatan kendaraan bertambah, diskontinuitas terjadi ketika kendaraan bergabung dengan antrian dan pada

saat pintu perlintasan terbuka kendaraan mulai bergerak dari bagian depan. Pada kondisi kedua yaitu pada saat kelompok kendaraan (*platoon*) melintasi jalur rel, kendaraan dibagian depan akan memperlambat kecepatan sehingga terjadi peningkatan kepadatan dan setelah melewati rel, kendaraan akan menambah kecepatan sehingga kepadatan berkurang.

1. Klasifikasi Gelombang Kejut

Menurut Tamin (2008) gelombang kejut diklasifikasikan menjadi 6 (enam) kelas yaitu:

1) Gelombang kejut diam depan (*frontal stationary shock wave*)

Hal ini terbentuk pada saat pintu perlintasan kereta tertutup. Istilah ‘depan’ berarti bagian terdepan dari kelompok kendaraan mempunyai kepadatan lebih rendah ke arah hilir dan lebih tinggi ke arah hulu. Istilah ‘diam’ berarti gelombang kejut terjadi pada lokasi tersebut dan tidak akan bergerak dengan berubahnya waktu.

2) Gelombang kejut mundur bentukan (*backward forming shock wave*)

Terbentuk akibat terjadi kemacetan. Istilah ‘mundur’ berarti dengan berjalannya waktu, gelombang kejut akan bergerak ke belakang ke arah hulu atau ke arah yang berlawanan dengan arah pergerakan lalu lintas. Istilah ‘bentukan’ berarti dengan berjalannya waktu, kemacetan akan semakin tinggi ke arah hulu.

3) Gelombang kejut diam belakang (*rear stationary shock wave*)

Apabila arus lalu lintas berkurang hingga sama dengan kapasitas jalannya misalnya sama-sama 1,5 lajur artinya arus yang masuk sama dengan arus yang keluar, maka akan terjadi gelombang kejut

diam belakang. Istilah belakang mempunyai implikasi bahwa ini adalah bagian paling belakang atau pinggir kearah hulu dari kemacetan. Istilah diam berarti bahwa gelombang kejut tidak berubah lokasinya dengan berubahnya waktu dan kemacetan yang terbentuk sebelumnya dipertahankan dalam kondisi statis karena arus yang bisa dilewatkan sama dengan arus yang masuk.

4) Gelombang kejut maju pemulihan (*forward recovery shock wave*)

Apabila lalu lintas pada kasus sebelumnya semakin berkurang hingga pada suatu saat lebih kecil dari kapasitas penyempitan, maka panjang kemacetan yang statis pada kasus sebelumnya bisa dikurangi karena arus yang datang lebih kecil dari arus yang dapat dilewatkan dan terbentuklah gelombang kejut maju pemulihan. Istilah maju berarti bahwa dengan berubahnya waktu gelombang kejut bergerak kearah depan yaitu kearah hilir yang sama dengan arah gerakan lalu lintas. Digambarkan bahwa kemacetan berangsur-angsur berkurang dari hilir kearah hulu. Sedang istilah pemulihan berarti bahwa dengan bertambahnya waktu terjadi pemulihan macetan menuju arus bebas (*free flow*) hingga tercapainya titik yang menandakan akhir dari periode macet.

5) Gelombang kejut mundur pemulihan (*backward recovery shock wave*)

Gelombang kejut mundur pemulihan, terjadi ketika kemacetan terjadi dan kemudian peningkatan kapasitas jalannya sehingga kemacetan berangsur-angsur dipulihkan hingga mencapai kondisi

arus bebas menjauhi dari awal lokasi kemacetan tersebut. Istilah mundur dimaksudkan bahwa selama berlangsungnya waktu, gelombang kejut bergerak ke arah belakang yaitu searah datangnya arus lalu lintas.

- 6) Gelombang kejut maju bentukan (*forward forming shock wave*)
 Gelombang kejut maju bentukan, terjadi apabila kapasitas jalan secara tiba-tiba berkurang sehingga akan terbentuk kemacetan ke arah hilir. Waktu ruang di sebelah kiri mempunyai kerapatan yang lebih rendah dan kanan kerapatan lebih tinggi. Istilah maju berarti gelombang kejut bergerak ke arah yang sama dengan arah pergerakan lalu lintas, sedangkan istilah ‘bentukan’ berarti selama berlangsungnya waktu kemacetan terjadi peningkatan arus lalu lintas pada tempat yang semakin jauh ke arah hilir.



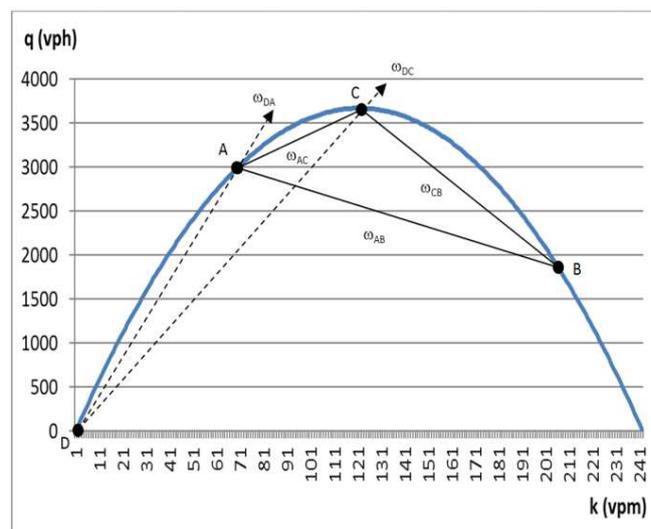
Gambar 2. 4 Klasifikasi gelombang kejut.

Sumber: Wohl & Martin (1967) dalam Tamim (2008)

2. Nilai Gelombang Kejut

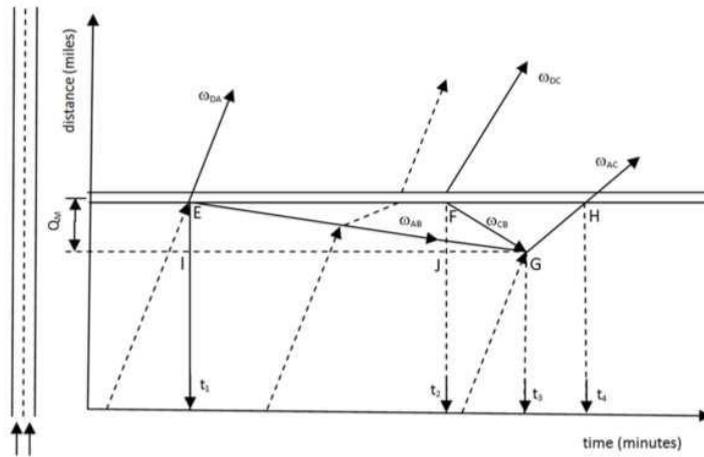
Kondisi saat pintu perlintasan tertutup digambarkan sebagai berikut:

- 1) Kondisi jalan tertutup, kondisi ini terjadi pada saat kereta melintas dan pintu perlintasan tertutup. Akibatnya nilai kerapatan pada kondisi arus masuk (volume kebutuhan = *demand*) terus menerus menjadi kepadatan macet. Kendaraan yang berada didepan kelompoknya mengurangi kecepatannya saat mendekati perlintasan, dan akhirnya berhenti sehingga terbentuk antrian dibelakangnya
- 2) Pada perlintasan terbuka, kerapatan, kerapatan pada kondisi macet secara perlahan kembali sampai pada keadaan dimana kepadatan menuju ke kondisi maksimum.
- 3) Pada tahap ini gelombang kejut 2 (ω_{BC}) akan menyusul kecepatan gelombang kejut 1 (ω_{AB}) dimana kepadatan pada kondisi macet akan hilang dan arus akan kembali pada kondisi normal sebelum pintu perlintasan tertutup.



Gambar 2. 5 Gelombang kejut pada saat memasuki pintu perlintasan kereta api.

Sumber : *Traffic Flow Model, 2011*



Gambar 2. 6 Diagram waktu dan jarak akibat gelombang kejut.
 Sumber : Tamin (2003)

Tiga gelombang kejut mulai pada saat t_1 digaris henti: ω_{AD} (gelombang kejut bentukan maju), ω_{DB} (gelombang kejut diam depan), dan ω_{AB} (gelombang kejut bentukan mundur). Kecepatan dari ketiga gelombang kejut ini dinyatakan pada diagram Gambar 2.5 dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\omega_{DA} = \frac{V_A - V_D}{D_A - D_D} = S_A \dots \dots \dots (32)$$

$$\omega_{DB} = \frac{V_B - V_D}{D_B - D_D} = 0 \dots \dots \dots (33)$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_B - V_A}{D_B - D_A} = - \frac{V_A}{D_B - D_A} \dots \dots \dots (34)$$

Dimana:

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

ω_{DB} = gelombang kejut pada saat melewati hambatan sehingga $V_B =$ volume saat melewati hambatan dan $D_B =$ kerapatan saat macet.

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

Kondisi arus A, B, dan D ini tetap sampai waktu t_2 pada saat pintu perlintasan dibuka. Kondisi arus baru C pada waktu digaris henti meningkat dari nol sampai arus jenuh. Ini menyebabkan dua gelombang kejut baru, ω_{DC} (gelombang kejut pemulihan maju) dan ω_{BC} (gelombang kejut diam depan) kecepatan dua gelombang kejut baru ini dapat secara grafis dilihat pada Gambar 2.3 (a) dan dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\omega_{DC} = \frac{V_C - V_D}{D_C - D_D} \dots \dots \dots (35)$$

$$\omega_{CB} = \frac{V_B - V_C}{D_B - D_C} = - \frac{V_C}{D_B - D_C} \dots \dots \dots (36)$$

Dimana:

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

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

Kondisi arus D, C, B, dan A tetap sampai ω_{AB} dan ω_{BC} mencapai t_3 .

Interval waktu antara t_2 dan t_3 dapat dihitung sebagai berikut:

$$t_3 - t_2 = r \left[\frac{\omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right] \dots \dots \dots (37)$$

Panjang antrian maksimum pada waktu t_3 dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_m = \frac{r}{3600} \left[\frac{\omega_{CB} \cdot \omega_{AB}}{\omega_{CB} - \omega_{AB}} \right] \dots \dots \dots (38)$$

Dimana:

r = durasi efektif terjadinya hambatan (detik) = $t_2 - t_1$

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

Pada saat gelombang kejut gerak maju baru ω_{AC} terbentuk, dan dua gelombang kejut gerak mundur ω_{AB} dan ω_{bc} berakhir. Gelombang kejut ω_{AC} dapat dihitung dengan rumus:

$$\omega_{AB} = \frac{V_C - V_A}{D_C - D_A} \dots \dots \dots (39)$$

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

garis henti turun dibawah nilai maksimum (t_2 sampai t_4) dapat dihitung sebagai berikut:

$$t_4 - t_2 = r \frac{r \cdot \omega_{AB}}{(\omega_{CB} - \omega_{AB})} \times \left| \frac{\omega_{CB}}{\omega_{AC}} + 1 \right| \dots \dots \dots (40)$$

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

E. Penelitian Terdahulu

- 1) Malau & Surbakti (2013) melakukan penelitian tentang “Aplikasi *Shock Wave Analysis dan Queueing Analysis* untuk Menghitung Panjang Antrian pada Perlintasan Sebidang”. Penelitian ini dilakukan dengan data primer sebagai berikut: survei volume lalu lintas, yaitu secara manual (menggunakan alat penghitung genggam) untuk menghitung kendaraan dan survey waktu tempuh kendaraan. Volume maksimum dari hasil pengamatan sebesar 1474,8 smp/jam yang terjadi selama periode pengamatan pukul 17.00-17.15 WIB. Sedangkan volume maksimum saat kereta lewat adalah 1439.03 smp/jam selama periode pengamatan pukul 17.00-17.15. Kecepatan rata-rata ruang maksimum yaitu 37.78 km/jam yang terjadi pada periode pengamatan pukul 08.45-09.00 WIB. Kerapatan kendaraan yang paling maksimum sebesar 49.82 smp/km, yang terjadi pada periode pengamatan pukul 17.30-17.45 WIB. Dengan model matematis yang terbaik untuk hubungan volume, kecepatan dan kerapatan adalah model logaritma *Greenshield* yang menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang terbesar yaitu 0,640 untuk hubungan antara kecepatan dan kerapatan, 0,916 untuk hubungan antara volume

dan kerapatan, serta 0,266 untuk hubungan antara volume dan kecepatan. Sedangkan untuk panjang antrian terbesar dengan shock wave analysis memberikan nilai 468.75 meter yang terjadi pada waktu kereta melintas pukul 17.12. Panjang antrian dengan queueing analysis terbesar 64.04 meter yang terjadi pada waktu kereta melintas pukul 16.40.

- 2) Ika Noviyanti (2017) melakukan studi gelombang kejut pada persimpangan jalan dan jalan rel dengan menggunakan EMP atas dasar Analisa headway studi kasus perlintasan kereta Purwosari jl. Slamet Riyadi, Purwakarta yang bertujuan untuk mencari nilai EMP dengan metode rasio headway dan menganalisis gelombang kejut berdasarkan nilai EMP kendaraan yang didapatkan dari metode rasio headway. Hasil yang didapatkan berdasarkan analisis berupa nilai EMP SM = 0,42, KB = 1,34, $\omega_{AB} = 4,745$ km/jam, $\omega_{CB} = 10,641$ km/jam, $\omega_{AC} = 6,977$ km/jam dengan Q = 0,264 km dan waktu penormalan T = 3,76 menit untuk lajur luar. Sedangkan perhitungan untuk lajur dalam diperoleh $\omega_{AB} = 2,732$ km/jam, $\omega_{CB} = 12,201$ km/jam, $\omega_{AC} = 11,771$ km/jam dengan Q = 0,274 km dan waktu penormalan T = 2,74 menit.
- 3) Zam'aliani Marpaung (2019) melakukan penelitian tentang "Analisis Panjang Antrian Akibat Palang Pintu kereta Api (Studi Kasus Jalan Kapten Muslim Kota Medan) yang bertujuan untuk menghitung panjang antrian akibat penutupan palang pintu kereta api dengan menggunakan metode *shockwave*. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan Volume maksimum dari hasil pengamatan di lapangan diperoleh sebesar 4966 smp/jam yang terjadi pada periode 17.30 – 17.45

WIB Hari Senin arah Selatan ke Utara. Sedangkan volume terbesar saat kereta api melintasi adalah 3573,2 smp/jam pada periode pengamatan 12.30 – 12.45 WIB Hari Senin arah Utara ke Selatan. Nilai kecepatan rata-rata terbesar yaitu 26,38 km/jam pada periode pengamatan 07.45 – 08.00 WIB Hari Rabu arah Utara Selatan. Kerapatan kendaraan yang maksimum sebesar 427 smp/jam pada periode pengamatan 17.45 – 18.00 WIB Hari Senin arah Selatan ke Utara. Pada hubungan volume, kecepatan dan kerapatan adalah menggunakan model *Greenshield* yang menghasilkan koefisien determinasi (R^2) yang terbesar yaitu 0,9623 pada Hari Rabu arah Utara ke Selatan. Sedangkan panjang antrian terbesar dengan menggunakan *Shock Wave Analysis* Dari hasil perhitungan gelombang kejut (*shockwave*) diperoleh panjang antrian yang paling maksimum terjadi ketika kereta api melintas pada Hari Senin arah Utara ke Selatan Pukul 18.25 yaitu sebesar 1294 meter, waktu yang dibutuhkan untuk melepaskan antrian 435 detik dan waktu penormalan yang dibutuhkan hingga antrian dapat dipulihkan kembali adalah sebesar 761 detik.

- 4) Luthfi Ramadhan (2017) melakukan penelitian “Studi Gelombang Kejut Pada Penyempitan Jalan Dengan Menggunakan EMP Atas Dasar Analisis Rasio *Headway* (Studi Kasus: Penyempitan Jalan Jend. Ahmad Yani Melewati Viaduct Gilingan, Surakarta). Dari hasil perhitungan didapatkan nilai EMP MC sebesar 0,43 dan EMP HV sebesar 1,88. Sedangkan EMP berdasarkan MKJI 1997 yang merupakan standar baku pedoman perhitungan jalan dan lalu lintas di Indonesia, diperoleh nilai

EMP kendaraan MC sebesar 0,30 dan HV sebesar 1,20. Secara rata-rata berdasarkan analisis rasio *headway*, $\omega_{ab} = -3,74$; $\omega_{cb} = -14,19$; $\omega_{ac} = 8,29$; $Q_m = 0,10$ km; dan $T = 73,18$ s. Sedangkan secara rata-rata menurut MKJI 1997, $\omega_{ab} = -5,05$; $\omega_{cb} = -17,78$; $\omega_{ac} = 8,65$; $Q_m = 0,13$ km; dan $T = 95,27$ s.

- 5) Dea Muli Leonora (2021) melakukan penelitian “Pengaruh Gelombang Kejut Terhadap Kemacetan Lalu Lintas (Studi Kasus SPBU 24.351.31 Jl Imam Bonjol, Langkapura, Bandar Lampung) Berdasarkan data rasio *headway* didapatkan nilai EKR sepeda motor (SM) sebesar 0,43 dan kendaraan berat (KB) sebesar 1,01. Hasil dari nilai EKR yang didapat dengan analisis rasio *headway* tersebut memiliki perbedaan dengan nilai EKR pada PKJI 2014 dimana EKR SM sebesar 0,25 dan EKR KB sebesar 1,2. Perbedaan nilai EKR ini salah satunya disebabkan minimnya jumlah sepeda motor yang melewati Jalan Imam Bonjol, yang sangat mempengaruhi analisis besar nilai EKR sepeda motor (SM). Akibat antrian BBM secara berturut-turut diperoleh rata-rata volume lalu lintas sebesar 1946,23 SKR/jam, kecepatan lalu lintas sebesar 18,35 km/jam dan kepadatan lalu lintas sebesar 108,12 SKR/km. Untuk panjang antrian (Q_m) yang terjadi adalah sebesar 0,04 km atau 44 m. Sedangkan gelombang kejut yang terjadi pada ruas Jalan Imam Bonjol akibat antrian BBM secara berturut-turut adalah gelombang kejut maju bentukan (ω_{da}) sebesar 43,84 km/jam atau 12,19 m/detik, gelombang kejut mundur bentukan (ω_{ab}) sebesar -2,31 km/jam atau -0,64 m/detik, gelombang kejut maju pemulihan (ω_{dc}) sebesar 3,01 km/jam atau 0,84 m/detik,

gelombang kejut mundur pemulihan (ω_{cb}) sebesar -6,21 km/jam atau -1,73 m/detik dan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{ac}) sebesar 2,93 km/jam atau 0,81 m/detik.

- 6) Xinkai Wu & Henry X Liu (2011) melakukan penelitian tentang model profil gelombang kejut untuk arus lalu lintas di arteri perkotaan yang padat. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah SPM (*Shockwave Profile Model*). Hasil yang diperoleh yaitu SPM sangat tepat untuk aplikasi jaringan besar *real-time*, terutama Ketika lalu lintas jenuh. Uji lapangan pada koridor arteri di Minnea Pol adalah SPM dapat membuat situasi secara akurat karean SPM melacak bagian gelombang kejut yang ditandai dan Panjang antrian dapat dihitung secara langsung.
- 7) Junhua & Boya (2015) melakukan penelitian tentang pemodelan kecelakaan sekunder yang diidentifikasi oleh gelombang kejut. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari faktor-faktor yang melibatkan kecelakaan primer yang mengakibatkan kecelakaan sekunder. Hasil yang diperoleh dari analisis gelombang kejut adalah frekuensi kecelakaan sekunder rendah di jalan bebas hambatan antar negara bagian California.
- 8) S. Chandana Wirasinghe (1978) melakukan penelitian tentang penentuan tundaan lalu lintas dari analisa gelombang kejut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gelombang kejut pada tundaan lalu lintas. Model yang digunakan pada penelitian ini adalah *Greenshields*. Hasil yang diperoleh yaitu kita dapat menentukan gelombang kejut secara matematis dari hasil permodelan *Greenshields*.

- 9) Rakha & Zhang (2005) melakukan pengamatan tentang analisis gelombang kejut dan teori antrian pada jalan yang terjadi penyempitan (*bottleneck*). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perbedaan antara analisis gelombang kejut dan teori antrian. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah perhitungan tundaan menggunakan analisis gelombang kejut dan teori antrian dibandingkan untuk dua contoh aplikasi yaitu waktu kedatangan yang bervariasi pada *bottleneck* kapasitas konstan dan laju kedatangan konstan pada *bottleneck* kapasitas waktu yang bervariasi. Hasilnya menunjukkan konsistensi antara analisis gelombang kejut dan teori antrian. Penelitian ini menunjukkan bahwa teori antrian memberikan teknik yang sederhana dan akurat untuk memperkirakan keterlambatan di kemacetan jalan raya.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Umum

Metode penelitian merupakan serangkaian cara atau langkah yang sistematis dipilih oleh peneliti dengan tujuan untuk mendapatkan data yang sedang diteliti. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah metode survei dan metode analisis.

B. Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan bertujuan untuk menentukan lokasi penelitian, data apa saja yang diperlukan dalam analisis dan metode pengumpulan data, serta peralatan yang dibutuhkan dalam survei.

1. Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian

a) Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di ruas Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang dibagian perlintasan kereta api. Pemilihan lokasi ini didasarkan karena terjadinya antrian dan tundaan di ruas jalan tersebut yang disebabkan oleh perlintasan kereta api, sehingga sesuai untuk penelitian gelombang kejut. Berikut peta lokasi penelitian diperlihatkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian.

Sumber : Google Maps

b) Waktu Penelitian

- 1) Pengambilan data dilakukan 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).
- 2) Pengamatan dilakukan pada waktu jam sibuk (*peak hour*) di hari yang berbeda, yaitu 1 hari pada saat hari kerja (*weekday*) pada pagi hari dan 1 hari saat akhir pekan (*weekend*) pada sore hari.
- 3) Pengamatan dilakukan dalam dua kondisi yaitu saat kondisi pintu perlintasan kereta api terbuka. Pengamatan dilakukan dengan interval periode 5 menit untuk mendapatkan data yang lebih akurat serta menghindari terjadinya kesalahan atau penyimpangan pada hasil analisis.

2. Data Survei

Data lalu lintas yang diperoleh pada survei adalah:

- a) Arus lalu lintas (SKR/jam)
- b) Kecepatan kendaraan (km/jam)
- c) *Time headway* (detik)
- d) Panjang antrian (meter)
- e) Waktu penormalan (detik)

3. Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan saat melakukan survei sebagai berikut:

- a) Kamera HD untuk merekam pergerakan lalu lintas yang melintas.
- b) Meteran untuk mengukur kondisi geometri dan panjang antrian.
- c) *Stop watch* untuk menghitung *time headway*.
- d) Lembar kerja (form survei) untuk mencatat data.
- e) Penanda titik pengamatan.

C. Survei Desain

Survei desain bertujuan untuk mengetahui keadaan lokasi penelitian serta merencanakan penempatan surveyor. Dimana untuk surveyor data volume lalu lintas dibutuhkan 2 orang pada titik pengamatan yaitu 1 surveyor untuk pengamatan sepeda motor dan 1 surveyor untuk pengamatan mobil, sedangkan untuk surveyor panjang antrian kendaraan dibutuhkan 2 orang surveyor, dan 1 surveyor untuk dokumentasi. Desain survei dapat dilihat pada gambar 3.2. Data kecepatan kendaraan dibutuhkan jarak penggal jalan untuk mengetahui lamanya kendaraan melintasi dari suatu titik ke titik selanjutnya.

Penentuan penggal jalan untuk pengamatan kecepatan direkomendasikan pada Tabel 3.1 dengan pemilihan pengamatan jarak penggal 50 meter agar perbedaan kecepatan yang terjadi dapat terlihat dengan jelas.

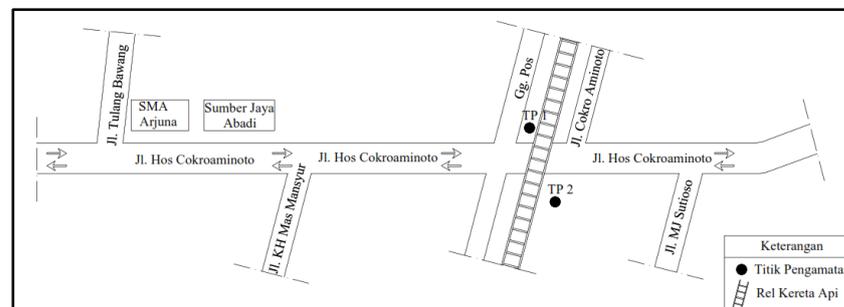
Tabel 3. 1 Rekomendasi Panjang Jalan untuk Studi Kecepatan

No.	Kecepatan rata-rata (km/jam)	Panjang penggal jalan (m)
1.	≤ 40	25
2.	40 – 65	50
3.	≥ 65	75

Sumber : BINKOT No.001/T/BNKT/1990

D. Survei Primer

Survei primer bertujuan untuk mendapatkan data arus lalu lintas (volume), data kecepatan (kecepatan rerata ruang), *time headway*, panjang antrian dan waktu penormalan pada ruas jalan yang diamati.



Gambar 3. 2 Lokasi dan area Pengamatan.

1. Arus Lalu Lintas

Survei Arus Lalu lintas ini dimaksudkan untuk mendapatkan volume kendaraan dalam menentukan kapasitas jalan, mengestimasi tingkat pelayanan, dan studi keefektifan rambu/marka lalu lintas. Dimana dalam melakukan survey arus lalu lintas dibutuhkan 2 orang pada titik

pengamatan yaitu 1 surveyor untuk pengamatan sepeda motor dan 1 surveyor untuk pengamatan mobil

Langkah kerja untuk mendapatkan data arus lalu lintas sebagai berikut:

- a) Surveyor berada pada posisi sesuai dengan desain survei dan merekam jalannya pergerakan lalu lintas.
- b) Menghitung dan mencatat jumlah kendaraan berdasarkan jenis kendaraan yang melintasi titik pengamatan pada formulir yang sudah disediakan. Kendaraan yang masuk dalam pencatatan adalah kendaraan yang melewati titik pengamatan yang dibedakan dalam beberapa jenis kendaraan yaitu:

- Kendaraan ringan (*light vehicle*)

Terdiri dari kendaraan bermotor beroda 4 termasuk mobil penumpang, oplet, makrobus, pick up, mikrotruk.

- Kendaraan berat (*heavy vehicle*)

Terdiri dari kendaraan bermotor yang mempunyai lebih dari 4 roda termasuk bus truk 2 gandar dan kombinasi truk lainnya.

- Sepeda motor (*motor cycle*)

Terdiri dari kendaraan bermotor beroda 2 atau 3 termasuk sepeda motor dan kendaraan roda 3 lainnya.

2. Kecepatan Kendaraan

Langkah kerja untuk mendapatkan data kecepatan kendaraan sebagai berikut:

- a) Surveyor berada pada posisi sesuai dengan desain survei seperti pada gambar 3.2 dan merekam jalannya pergerakan lalu lintas.

- b) Mencatat lamanya kendaraan (detik) yang melintasi titik yang diamati sampai tiba titik selanjutnya pada form yang sudah disediakan.
- c) Kecepatan didapat dengan jarak 50 meter dibagi waktu tempuh yang diperoleh (m/det) kemudian dikonversi ke km/jam

3. *Time Headway*

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

- a) Surveyor siap pada posisi sesuai dengan desain survei seperti pada gambar 3.2 dan mulai merekam jalannya pergerakan lalu lintas.
- b) Mencatat lama waktu kendaraan (detik) yang melintasi titik yang diamati setelah kendaraan sebelumnya melintasi titik tersebut pada form yang sudah disediakan.
- c) Jarak atau waktu kendaraan yang diamati yaitu antara SM-SM, SM-KR, KR-SM, KR-KR, KR- KB, KB-KR, KB-KB.
- d) Pada saat pengolahan data, data *time headway* diambil dengan melihat hasil rekaman video kemudian melihat pasangan kendaraan dan menghitung *time headway* dengan menggunakan *stopwatch*.

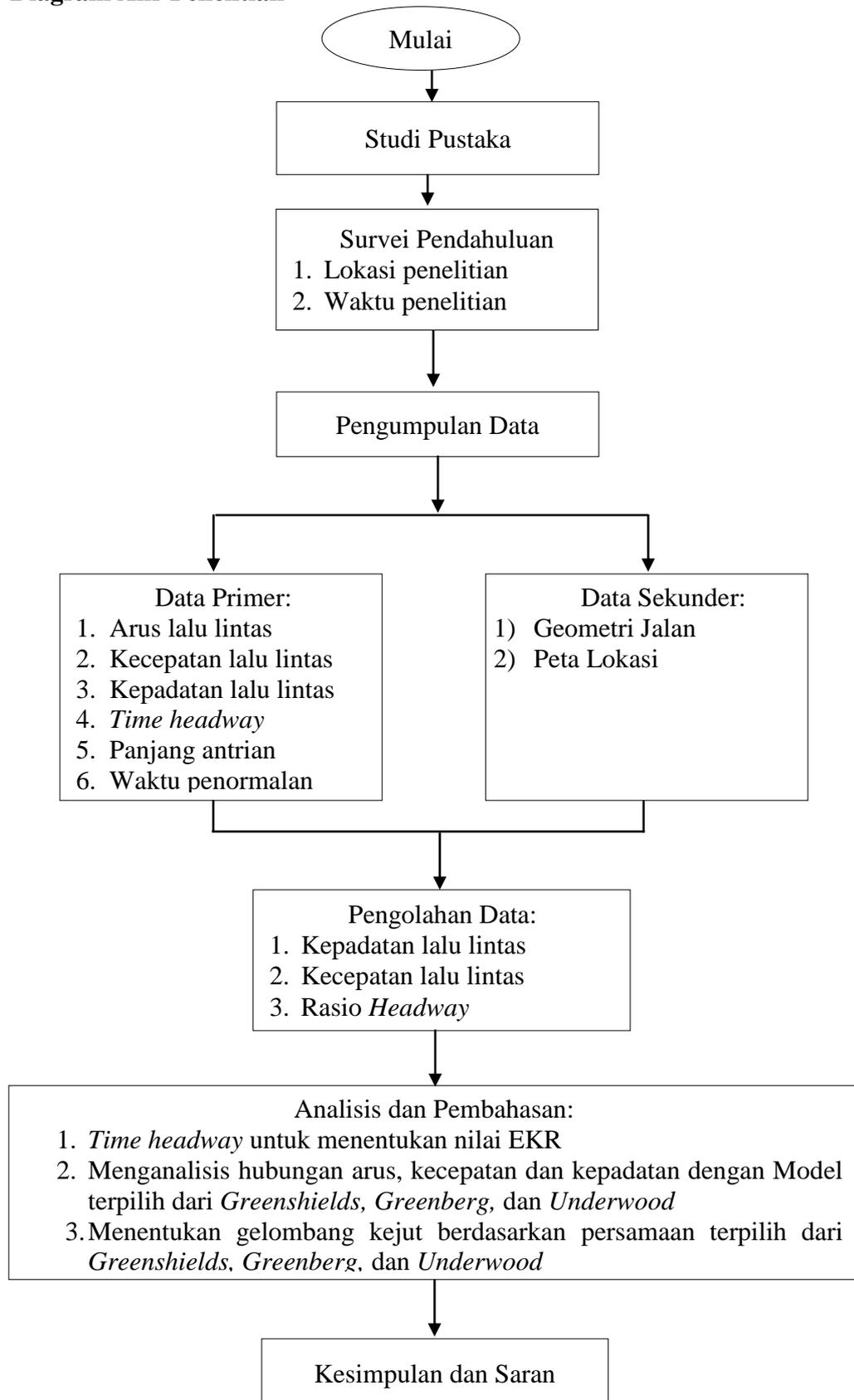
E. Pengolahan Data

Agar data hasil survey di lapangan dapat diolah, maka semua data yang diperlukan harus sudah tersedia. Data yang diperlukan untuk dianalisis berupa data jumlah arus lalu lintas yang diperoleh dari hasil perhitungan jumlah SM, KR, dan KB yang melintasi hambatan yang diteliti, kecepatan kendaraan yang melintasi hambatan, serta data *time headway* yang diperoleh dari

pencatatan waktu hasil perekaman kendaraan yang melintasi daerah hambatan. Dari data *time headway* dapat digunakan untuk mencari nilai EKR. Pengolahan data menggunakan bantuan program *Microsoft Excel*. Nilai EKR yang didapat ini digunakan untuk mengubah arus lalu lintas dari satuan kendaraan menjadi satuan kendaraan ringan (SKR).

Setelah didapat data arus lalu lintas dalam satuan kendaraan ringan dan kecepatan kendaraan, selanjutnya dengan metode *greenshields* dicari hubungan matematis antara kecepatan, kepadatan dan arus sehingga didapat kecepatan saat arus bebas (S_{ff}) dan kepadatan saat macet total (D_j). Dari data tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai gelombang kejut. Nilai kecepatan gelombang kejut yang diperoleh bisa dipakai untuk menghitung waktu penormalan dan panjang antrian maksimum.

F. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 3 Diagram alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan kendaraan saat melintasi perlintasan Kereta Api adalah 2,99 km/jam. Sedangkan kecepatan kendaraan pada saat akan memasuki perlintasan adalah 9,00 km/jam.
2. Gelombang kejut yang terjadi pada ruas Jalan Hos Cokroaminoto, Kebon Jahe Tanjung Karang, Bandar Lampung akibat perlintasan kereta api secara berturut-turut adalah sebagai berikut gelombang kejut maju bentukan (ω_{da}) sebesar 7,75 km/jam; gelombang kejut mundur bentukan (ω_{ab}) sebesar -0,91 km/jam; gelombang kejut maju pemulihan (ω_{dc}) sebesar 3,37 km/jam; gelombang kejut mundur pemulihan (ω_{cb}) sebesar -2,43 km/jam dan gelombang kejut maju pemulihan (ω_{ac}) sebesar 1,16 km/jam.

B. Saran

Dari kesimpulan di atas, dihasilkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlu diperhatikan maksimum gradien pada pertemuan perlintasan kereta api dengan jalan raya dan kualitas jalan seperti pembuatan jalan beton

pada perlintasan dimana dapat mengurangi besarnya gelombang kejut yang terjadi pada saat kendaraan akan melintasi perlintasan.

2. Pemeliharaan atau perbaikan fasilitas jalan dan jalur rel perlu diperhatikan agar perpotongan atau persinggungan antara jalur kereta api dengan jalan raya maupun bangunan lain dapat berfungsi dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (1990). *Panduan Survei Dan Perhitungan Waktu Perjalanan Lalu Lintas*, No. 001/T/BNKT/1990. Direktur Pembinaan Jalan Kota. Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga, (2014). *Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI)*. Jakarta.
- Iskandar, H. (2010). *Cara Pemutakhiran Nilai Ekivalensi Mobil Penumpang dan Kapasitas Dasar Ruas Jalan Luar Kota (Updating of Car Equivalent and Basic Capacity for Inter Urban Road)*. Bandung: Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Junhua, W., & Boya, L. (2015). *Modelling Secondary Accidents Identified by Traffic Shock-waves*. Tongji University, Shanghai, Cina.
- Leonora, D. M. (2021). *Pengaruh Gelombang Kejut Terhadap Kemacetan Lalu Lintas (Studi Kasus SPBU 24.351.31 Jl Imam Bonjol, Langkapura, Bandar Lampung)*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Malau, R. H., & Surbakti, M. S. (2013). *Aplikasi Shock Wave dan Queueing Analysis untuk Menghitung Panjang Antrian pada Perlintasan Sebidang*. Medan: Tugas Akhir Departemen Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.
- Marpaung, Z. (2019). *Analisis Panjang Antrian Akibat Palang Pintu Kereta Api (Studi Kasus Jalan Kapten Muslim Kota Medan)*. Medan: Tugas Akhir Teknik Sipil Universitas Sumatera Utara.
- May, A. D. (1990). *Traffic Flow Fundamentals*. New Jersey: Englewood Cliffs.
- Noviyanti, I. (2017). *Studi Gelombang Kejut pada Persimpangan Jalan dan Jalan Rel dengan Menggunakan EMP Atas Dasar Analisa Headway (Studi Kasus Perlintasan Kereta Purwosari jl Slamet Riyadi Surakarta)*. Surakarta: Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.
- Rakha, H., & Zhang, W. (2005). *Consistency of Shock-wave and Queuing Theory Procedurer for Analysis of Roadway Bottlenecks*. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Ramadhan, L. (2017). *Studi Gelombang Kejut Pada Penyempitan Jalan Dengan Menggunakan EMP Atas Dasar Analisis Rasio Headway (Studi Kasus :*

Penyempitan Jalan Jend. Ahmad Yani Melewati Viaduct Gilingan, Surakarta). Surakarta: Skripsi Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret.

Salter, R. J. (1976). *Highway Traffic Analysis and Design*. Mac Millan: Press Ltd. London and Basingstoke.

Soedirdjo, T. L. (2002). *Rekayasa lalu lintas / disusun oleh Titi Liani Soedirdjo*. Jakarta: Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Depdiknas :

Tamin, O. Z. (2008). *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Wirasinghe, S. C. (1978). *Determination of Traffic Delays from Shock-wave Analysis*. The University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

Wu, X., & Liu, H. X. (2011). *A Shockwave Profile Model for Traffic Flow on Congested Urban Arterials*. California State Polytechnic University, Pomona, California, and University of Minnesota, Twin Cities, Minnesota, Unites States.