

**SKRIPSI**  
**“EVALUASI KEMACETAN TERHADAP GANGGUAN KECELAKAAN**  
**LALU LINTAS MENGGUNAKAN MODEL TRANSMISI SEL**  
**(CELL TRANSMISSION MODEL)**  
**(STUDI KASUS RUAS JALAN PURWODADI-LAWANG)”**



**Disusun Oleh :**

**OON BAKTIARTO**

**( 13.21.146 )**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**  
**MALANG**  
**2017**

**LEMBAR PERSETUJUAN  
SKRIPSI**

**EVALUASI KEMACETAN TERHADAP GANGGUAN KECELAKAAN LALU LINTAS  
MENGUNAKAN MODEL TRANSMISI SEL  
(CELL TRANSMISSION MODEL)  
(STUDI KASUS RUAS JALAN PURWODADI – LAWANG)**

*Disusun Sebagai Salah Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1  
Institut Teknologi Nasional Malang*

Disusun Oleh :

**OON BAKTIARTO**

**13.21.146**

Menyetujui :


Dosen Pembimbing

  
**Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT**

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1  
Institut Teknologi Nasional Malang



  
**Ir. A. Agus Santosa, MT**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
MALANG  
2017**

**LEMBAR PENGESAHAN  
SKRIPSI**

**EVALUASI KEMACETAN TERHADAP GANGGUAN KECELAKAAN LALU LINTAS  
MENGUNAKAN MODEL TRANSMISI SEL  
(CELL TRANSMISSION MODEL)  
(STUDI KASUS RUAS JALAN PURWODADI – LAWANG)**

*Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi*

*Jenjang Strata satu (S-1)*

*Pada hari : Sabtu*

*Tanggal : 05 Agustus 2017*

*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

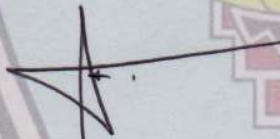
**OON BAKTIARTO**

**NIM : 13. 21. 146**

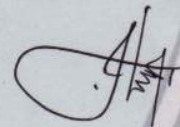
Disahkan Oleh :

**Ketua**

**Sekretaris**



**( Ir. A. Agus Santosa, MT )**



**( Ir. Munasih, MT )**

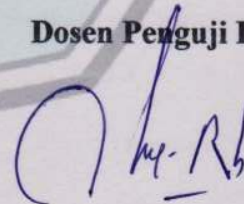
**Anggota Penguji:**

**Dosen Penguji I**

**Dosen Penguji II**



**( Ir. Agus Prajitno, MT )**



**( Drs. Kamidjo R, ST, MT )**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2017**



**ABSTRAK**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**JURUSAN TEKNIK SIPIL S-1**  
**JL. Bendungan Sigura-Gura No. 2 Tlpn. 551951 – 551431**  
**MALANG**

---

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **Oon Baktiarto**

NIM : **13.21.146**

Program Studi : **Teknik Sipil S-1**

Fakultas : **Teknik Sipil dan Perencanaan**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul :

**“EVALUASI KEMACETAN TERHADAP GANGGUAN KECELAKAAN  
LALU LINTAS MENGGUNAKAN MODEL TRANSMISI SEL**

**(CELL TRANSMISSION MODEL)**

**(STUDI KASUS RUAS JALAN PURWODADI-LAWANG)”**

Adalah benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan duplikat serta tidak mengutip atau meniadur seluruhnya karya orang lain, kecuali disebut dari sumber aslinya.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tugas akhir ini hasil jiplakan atau mengambil karya tulis dan pemikiran orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, September 2017

Yang membuat pernyataan



**(Oon Baktiarto)**

## DAFTAR PUSTAKA

**Bukhori. dan Sofyan. (2002 : 20) Karakteristik Arus Lalulintas, Bandung :**  
**Penerbbit Kanisius, Cetakan Ketiga.**

**Sebayang . N., Harnen Sulistio, Ludfi Jakfar, Achmad Wicaksono (2015),**  
“Pengenmbangan Model Optimasi Offset Sinyal Lampu Isyarat Lalu Lintas Pada Jaringan ATCS (*Area Traffic Control System*) berbentuk grid Menggunakan Model Transmisi Sel (*Cell Transmission Model*)”, *Prociding the 18<sup>th</sup> FSTPT International Sympossioum, Unila, Bandar Lampung, August 28, 2015.*

**Achmad, Trinurisa P, 2006, Studi Penghematan Biaya Transportasi Akibat**  
Dibangunnya Jalan Tol Segmen Malang-Kepanjen, **Tugas Akhir Jurusan**  
**Teknik Sipil ITN Malang.**

**Direktoral Jenderal Bina Marga, 1997, Manajemen Kapasitas Jalan Indonesia.**

**Kurniawan, Achnan A., 2006, Studi Penghematan Biaya Transportasi Akibat**  
Rencana Dibangunnya Jalan Tol Segmen Lawang - Malang, **Tugas Akhir**  
**Jurusan Teknik Sipil ITN Malang.**

**SKRIPSI**  
**“EVALUASI KEMACETAN TERHADAP GANGGUAN KECELAKAAN**  
**LALU LINTAS MENGGUNAKAN MODEL TRANSMISI SEL**  
**(CELL TRANSMISSION MODEL)**  
**(STUDI KASUS RUAS JALAN PURWODADI-LAWANG)”**



**Disusun Oleh :**

**OON BAKTIARTO**

**( 13.21.146 )**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**  
**MALANG**  
**2017**

## ABSTRAK

Oon Baktiarto, 2017 “Evaluasi Kemacetan Terhadap Gangguan Kecelakaan Lalu Lintas Menggunakan Model Transmisi Sel (Cell Transmission Model) Studi Kasus Ruas Jalan Purwodadi – Malang” Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT.

---

Pada Ruas jalan Nasional Purwodadi - Lawang sering terjadi kecelakaan lalu lintas sehingga menimbulkan kemacetan pada ruas tersebut. Salah satu faktor penyebab kecelakaan adalah kelalaian pengemudi. Oleh sebab itu dilakukan studi ini dengan tujuan untuk mengetahui kerugian biaya bahan bakar akibat terjadinya kemacetan lalu lintas yang ditimbulkan oleh kecelakaan dan waktu yang dibutuhkan untuk normal kembali.

Metode yang digunakan adalah Cell Transmission Model (CTM) yang bertujuan untuk menentukan berapa waktu yang dibutuhkan normal kembali saat terjadinya kemacetan akibat kecelakaan lalu lintas. Survey dilakukan selama 1 hari, pada hari senin 4 April 2017. Kemudian dilanjutkan dengan survey sel untuk mengetahui kendaraan masuk maupun keluar dalam sel, yang dilakukan pengambilan data selama 5 menit pada hari senin 22 Mei 2017. Data-data yang diperoleh melalui pengukuran dan pengamatan dilapangan, selanjutnya dianalisa dan dihitung dengan berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 yaitu untuk menganalisa kapasitas jalan, kecepatan dan volume kendaraan.

Berdasarkan analisa perhitungan ruas jalan Purwodadi Lawang berada pada kondisi arus lalu lintas yang masih lancar dengan DS 0,58 (arah Surabaya – Malang) dan DS 0,60 (arah Malang – Surabaya). Waktu yang dibutuhkan untuk kembali normal saat terjadi kecelakaan lalu lintas dengan simulasi ruas jalan tertutup seluruhnya (arah Surabaya – Malang) selama 60 menit, untuk kembali normal selama 37 menit, tundaan 31,81 menit dan besar kerugian biaya Rp 3.265.763,-, untuk simulasi (arah Malang - Surabaya) terjadi gangguan jalan yang menyebabkan tertutup seluruhnya selama 60 menit, untuk kembali normal selama 48,05 menit, tundaan 30,34 menit dan besar kerugian biaya Rp 2.264.128,-.

Kata Kunci :Kemacetan lalu lintas, Kecelakaan lalu lintas, *Cell Transmission Model*, Biaya Operasional Kendaraan.

## **KATA PENGANTAR**

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, Yang telah memberikan rahmat, taufik serta hidayahnya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Skripsi ini dengan baik dan tepat waktu.

Adapun tujuan dari Laporan Skripsi ini adalah untuk digunakan sebagai persyaratan dalam menempuh Skripsi di Program Studi Teknik Sipil.

Tak lepas dari berbagai hambatan penyusun mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu tak lupa juga saya ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Lalu Mulyadi, MTA selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang
2. Bapak Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT. selaku Dekan FTSP Institut Teknologi Nasional Malang
3. Bapak Ir. A. Agus Santosa, MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil
4. Bapak Dr. Ir. Nusa Sebayang, MT selaku dosen pembimbing Laporan Skripsi
5. Kedua orang tua yang selalu memberikan support baik moril maupun materil
6. Teman – teman angkata 2013, dan kakak tingkat yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan ini.

Dengan segala kerendahan hati penyusun menyadari bahwa dalam Laporan Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari pembaca sangat penyusun harapkan, akhir kata semoga Laporan Skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, September 2017

Penyusun



## DAFTAR ISI

COVER

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI .....

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....

ABSTRAK ..... i

KATA PENGANTAR..... ii

DAFTAR ISI..... iii

DAFTAR TABEL ..... vii

DAFTAR GAMBAR..... viii

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1 Latar Belakang ..... 1

1.2 Identifikasi Masalah ..... 2

1.3 Rumusan Masalah ..... 2

1.4 Tujuan dan Manfaat ..... 3

1.5 Batasan Masalah..... 3

1.6 Ruang Lingkup.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Kemacetan.....	5
2.1.1 Pengertian Kemacetan.....	5
2.1.2 Penyebab Kemacetan .....	6
2.1.3 Dampak Negatif dan Kerugian Kemacetan.....	7
2.2 Waktu Perjalanan .....	9
2.3 Karakteristik Arus Lalu Lintas.....	10
2.3.1 Volume Lalu Lintas.....	11
2.3.2 Kecepatan.....	12
2.3.3 Kepadatan Macet (Jam Density).....	13
2.3.4 Spacing dan Headway .....	14
2.3.5 Lane Occupancy.....	15
2.3.6 Clearance dan Gap.....	15
2.3.7 Kinerja Jalan.....	15
2.4 Cell Transmission Model (CTM).....	16
2.4.1 Umum.....	17

2.4.2 Arus Kemajuan.....	17
2.4.3 Generalized CTM.....	19
2.4.4 Model CTM.....	24
2.4.5 Topologi Jaringan.....	25
2.4.6 Keuntungan dan Aplikasi.....	27
2.5 Biaya Operasi Kendaraan (BOK) .....	28
<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>30</b>
3.1 Lokasi Studi .....	30
3.2 Pengumpulan Data .....	31
3.2.1 Data Primer .....	31
3.2.2 Data Sekunder .....	33
3.3 Denah Surveyor.....	33
3.4 Peralatan yang digunakan .....	34
3.5 Metode Analisa Data.....	34
3.6 Bagan Alir .....	35
<b>BAB IV DATA HASIL SURVEY .....</b>	<b>36</b>
4.1 Data Geometrik.....	36

4.2 Data Volume Lalulintas .....	36
4.3 Data Kecepatan Kendaraan.....	40
<b>BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
5.1 Analisa Panjang Sel Pada Metode CTM .....	41
5.2 Analisa Hunian .....	44
5.3 Perhitungan Tingkat Hunian.....	45
5.4 Analisa Biaya Operasi Kendaraan .....	60
<b>BAB VI Kesimpulan Dan Saran .....</b>	<b>65</b>
6.1 Kesimpulan.....	65
6.2 Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>68</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Panjang lintasan pengamatan untuk survey kecepatan setempat .....	13
Tabel 2.2 Entri pada awal simulasi. ....	21
Tabel 2.3: Entri Akhir simulasi lalu lintas .....	23
Tabel 2.4 Jumlah Bahan Bakar Yang Dikonsumsi Kendaraan .....	28
Tabel 2.5 Jumlah Bahan Bakar Yang Dikonsumsi Kendaraan pada studi ini .....	29
Tabel 4.1 jumlah kendaraan Arah Surabaya – Malang Senin 3 April 2017.....	38
Tabel 4.2 Kecepatan Arah Surabaya – Malang Km 68 .....	40
Tabel 5.1 Pengolahan Data Volume Lalu Lintas Untuk Menentukan Q in Total, Q out Total dan Hunian Dengan Satuan SMP .....	44
Tabel 5.2 Perhitungan Tingkat Hunian Pada Model CTM.....	46
Tabel 5.3 Simulasi Waktu Normal Kembali Dengan Penutup Jalan 100% Selama 5 Menit Arah Surabaya - Malang Pada Kondisi Lalu Lintas Normal ..	47
Tabel 5.4 Simulasi Waktu Normal Kembali Dengan Penutup Jalan 100% Selama 5 Menit Arah Malang - Surabaya Pada Kondisi Lalu Lintas Normal ..	53
Tabel 5.5 Prosentase Besar Volume Kendaraan Pada Ruas Jalan Arah Surabaya – Malang Dalam Waktu 5 Menit .....	61
Tabel 5.6 Prosentase Besar Volume Kendaraan Pada Ruas Jalan Arah Malang - Surabaya Dalam Waktu 5 Menit .....	62
Tabel 5.7 Kerugian Biaya Operasi Kendaraan Jika Terjadi Kemacetan Lalu Lintas Pada Arah Surabaya – Malang .....	63
Tabel 5.8 Kerugian Biaya Operasi Kendaraan Jika Terjadi Kemacetan Lalu Lintas Pada Arah Malang – Surabaya .....	63

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ukuran Standar Kendaraan Ringan.....	14
Gambar 2.2 Arus kemajuan .....	18
Gambar 2.3 Sumber Sel .....	25
Gambar 2.4 Sink Sel .....	26
Gambar 2.5 Biasa Sel.....	26
Gambar 2.6 Penggabungan Sel .....	26
Gambar 2.7 Bertolak Sel .....	26
Gambar 2.8 Representasi Valid.....	27
Gambar 2.8 Representasi Hari .....	27
Gambar 3.1 Peta Lokasi Studi.....	30
Gambar 3.2 Sketsa Peta Lokasi Studi .....	31
Gambar 3.3 Lokasi Pengambilan Data Survey .....	33
Gambar 4.1 Geometrik Jalan .....	36
Gambar 4.2 Grafik Volume Arus Lalu Lintas Jl. Nasional KM 68 Arah Surabaya – Malang .....	39
Gambar 5.1 Ukuran Standar Kendaraan Ringan.....	41
Gambar 5.2 Grafik Simulasi Waktu Normal Kembali Dengan Penutup Jalan 100% Arah Surabaya - Malang .....	52
Gambar 5.3 Grafik Simulasi Waktu Normal Kembali Dengan Penutup Jalan 100% Arah Malang – Surabaya. ....	58

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Lalu lintas adalah sarana untuk bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain, oleh karena itu lalu lintas merupakan salah satu masalah penting. Apabila arus lalu lintas terganggu atau terjadi kemacetan, maka mobilitas masyarakat juga akan mengalami gangguan. Gangguan-gangguan ini akan berdampak negatif pada masyarakat.

Aktifitas terhambat karena kemacetan yang seringkali terjadi di kota-kota besar. Sehingga pertumbuhan ekonomi di suatu negarapun dapat terhambat. Macet pun dapat menjadi akibat dari kecelakaan dan konflik antar pengendara yang terjebak dalam kemacetan lalu lintas. Kadang pengendara yang tidak sabar akan mudah tersulut emosinya dan akan terjadi konflik bahkan saling senggol ataupun jatuh di jalan saat kemacetan.

Kemacetan pada akhirnya menimbulkan banyak sekali kerugian terhadap masyarakat dan negara. Seperti halnya yang terjadi di ruas jalan Purwodadi – Lawang, ruas jalan tersebut sering terjadi kemacetan. Kerugian yang paling nyata adalah pemborosan bahan bakar. Kondisi ini jelas merugikan masyarakat. Selain itu, kemacetan juga menciptakan dampak yang lainnya, yaitu kerusakan lingkungan akibat polusi udara yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor.

Kecelakaan lalu lintas merupakan suatu kejadian yang sering sekali terjadi disekitar kita. Meskipun telah banyak sistem keamanan pada kendaraan yang sengaja dirancang oleh pihak industri kendaraan untuk mengurangi tingkat terjadinya kecelakaan, namun kecelakaan tetap saja tidak dapat dihindari.

Dalam penyusunan proposal ini penyusun ingin membahas tentang kemacetan lalu lintas yang diakibatkan oleh kecelakaan, seperti penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas, dampak dari kecelakaan lalu lintas, dan lain-lain.

Berdasarkan dari tinjauan di atas maka penulisan skripsi ini mengusulkan judul

**“EVALUASI KEMACETAN TERHADAP GANGGUAN KECELAKAAN  
LALU LINTAS MENGGUNAKAN MODEL TRANSMISI SEL  
(CELL TRANSMISSION MODEL)  
(STUDI KASUS RUAS JALAN PURWODADI-LAWANG)”**

### **1.2 Identifikasi Masalah**

Identifikasi masalah yang akan dibahas dalam hal ini antara lain:

1. Perlu adanya studi yang dibutuhkan untuk mengetahui waktu normal kembali saat terjadi kecelakaan.
2. Perlu adanya studi tentang kerugian yang diakibatkan kemacetan lalu lintas.

### **1.3 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam proposal ini adalah:

1. Berapa waktu yang dibutuhkan untuk normal kembali saat terjadi kecelakaan lalulintas?



2. Berapa besar kerugian biaya bahan bakar akibat terjadinya kemacetan lalu lintas yang ditimbulkan oleh kecelakaan?

#### **1.4 Tujuan dan Manfaat**

Adapun tujuan dan manfaat dari proposal ini yaitu :

##### **Tujuan**

1. Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk normal kembali saat terjadi kecelakaan lalulintas.
2. Untuk mengetahui besar kerugian biaya bahan bakar akibat terjadinya kemacetan lalu lintas yang ditimbulkan oleh kecelakaan.

##### **Manfaat**

1. Sebagai bahan kajian dan masukan untuk studi selanjutnya.
2. Sebagai bahan masukan bagi pemerintah dalam mengevaluasi kemacetan terhadap gangguan kecelakaan.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Mengingat demikian luasnya permasalahan yang ada pada kecelakaan lalu lintas, maka dalam proposal ini penyusun akan membahas tentang kemacetan terhadap gangguan kecelakaan lalu lintas. Adapun batasan masalah pada proposal ini :

1. Waktu normal kembali saat terjadi kemacetan lalu lintas akibat gangguan kecelakaan.
2. Simulasi yang digunakan hanya pada saat pengambilan data survey sel (kondisi tidak macet).
3. Kerugian yang dihitung adalah kerugian biaya bahan bakar.

4. Harga bahan bakar minyak yang digunakan mengacu pada saat pengerjaan laporan skripsi ini.

### **1.6 Ruang Lingkup**

Guna menganalisa kemacetan akibat kecelakaan lalu lintas yang terjadi maka, penyusunan membatasi ruang lingkup studi yaitu survey ruas jalan yang ditinjau Purwodadi-Lawang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kemacetan**

##### **2.1.1 Pengertian Kemacetan**

Kemacetan adalah keadaan dimana kendaraan mengalami berbagai jenis kendala yang mengakibatkan turunnya kecepatan kendaraan di bawah keadaan normal. Kemacetan akan sangat merugikan bagi para pengguna jalan, karena akan menghambat waktu perjalanan mereka. Menurut Administration (2005), terdapat 7 penyebab kemacetan, yaitu kemacetan fisik, kecelakaan lalu lintas, area pekerjaan, cuaca buruk, alat pengatur lalu lintas yang kurang memadai, acara khusus, dan fluktuasi pada arus normal.

Kata macet telah sering didengar di kota-kota besar yang transportasi massalnya masih kurang diminati. Salah satu penyebab kemacetan disebabkan oleh banyaknya masyarakat yang lebih memilih untuk menggunakan kendaraan pribadi dibanding kendaraan umum. Kemacetan akan terus meningkat apabila jumlah kendaraan pribadi semakin bertambah setiap harinya.

Sebagian orang lebih memilih untuk menggunakan kendaraan pribadi dibanding kendaraan umum, karena kendaraan umum terkadang tidak dapat diandalkan dan sulit untuk mendapatkan transportasi tersebut. Salah satu yang dapat mengurangi tingkat kemacetan adalah dengan cara menyediakan *Bus Rapid*

*Transit* (BRT). Di Jakarta sebenarnya telah disediakan kendaraan umum yang bersifat BRT yaitu TransJakarta. TransJakarta harusnya dapat menjadi andalan bagi masyarakat yang ingin berpergian. Namun, TransJakarta tidak dapat beroperasi secara optimal, karena jalan khusus TransJakarta (busway) masih sering digunakan oleh kendaraan pribadi.

### **2.1.2 Penyebab Kemacetan**

Menurut penelitian Administration (2005), terdapat 7 penyebab kemacetan, yaitu:

1. Kemacetan Fisik : Kemacetan yang disebabkan oleh jumlah kendaraan yang melebihi batas atau berada pada tingkat tertinggi. Kapasitas tersebut ditentukan dari faktor jalan, persimpangan jalan, dan tata letak jalan.
2. Kecelakaan Lalu Lintas : Kemacetan yang disebabkan oleh adanya kejadian atau kecelakaan dalam jalur perjalanan. Kecelakaan akan menyebabkan macet, karena kendaraan yang terlibat kecelakaan tersebut memakan ruas jalan. Hal tersebut mungkin akan berlangsung lama, karena kendaraan yang terlibat kecelakaan tersebut perlu waktu untuk disingkirkan dari jalur lalu lintas.
3. Area Pekerjaan : Kemacetan yang disebabkan oleh adanya aktivitas konstruksi pada jalan. Aktivitas tersebut akan mengakibatkan perubahan keadaan lingkungan jalan. Perubahan tersebut seperti penurunan pada jumlah atau lebar jalan, pengalihan jalur, dan penutupan jalan.
4. Cuaca yang Buruk : Keadaan cuaca dapat menyebabkan perubahan perilaku pengemudi, sehingga dapat mempengaruhi arus lalu lintas. Contohnya: hujan

deras, akan mengurangi jarak penglihatan pengemudi, sehingga banyak pengemudi menurunkan kecepatan mereka.

5. Alat Pengatur Lalu Lintas : Kemacetan yang disebabkan oleh pengaturan lalu lintas yang bersifat kaku dan tidak mengikuti tinggi rendahnya arus lalu lintas. Selain lampu merah, jalur kereta api juga mempengaruhi tingkat kepadatan jalan, sehingga jalur kereta api yang memotong jalan harus seoptimal mungkin.

6. Acara Khusus : Merupakan kasus khusus dimana terjadi peningkatan arus yang disebabkan oleh adanya acara-acara tertentu. Misalnya, akan terdapat banyak parkir liar yang memakan ruas jalan pada suatu acara tertentu.

7. Fluktuasi pada Arus Normal : Kemacetan yang disebabkan oleh naiknya arus kendaraan pada jalan dan waktu tertentu. Contohnya, kepadatan jalan akan meningkat pada jam masuk kantor dan pulang kantor.

Berdasarkan penyebab kemacetan yang dijelaskan oleh Federal Highway Administration (2005), setiap penyebab kemacetan memiliki tingkat keseringan yang berbeda-beda. Tiga penyebab kemacetan terbesar, yaitu kemacetan fisik dengan persentase 40%, kecelakaan lalu lintas dengan persentase 25%, dan keadaan cuaca yang buruk dengan persentase 15%.

### **2.1.3 Dampak Negatif dan Kerugian Kemacetan**

Kemacetan lalu lintas sangat merugikan bagi pengguna jalan, kemacetan memberikan dampak negatif dan kerugian seperti:

## **1. Dampak Negatif :**

- a) Meningkatnya polusi udara, karena pada kecepatan rendah konsumsi energy lebih tinggi dan mesin tidak beroperasi pada kondisi optimal.
- b) Meningkatnya stress bagi pengguna jalan. Akibatnya, pengendaraan cenderung dalam kondisi emosional saat mengendarai kendaraan, sehingga dapat menimbulkan kecelakaan.
- c) Mengganggu kelancaran kendaraan darurat seperti ambulans, pemadam kebakaran, dan sejenisnya. Akibatnya, keselamatan jiwa masyarakat yang membutuhkan pertolongan darurat menjadi terhambat.

## **2. Kerugian :**

- a) Pemborosan waktu, karena kendaraan tidak dapat melaju dengan kecepatan normal. Contohnya, waktu perjalanan yang seharusnya 1 jam untuk tiba di tujuan dengan kecepatan normal, menjadi 2 jam karena macet. Hal tersebut menyebabkan banyaknya waktu pengendara yang terbuang sia-sia di jalan.
- b) Konsumsi bahan bakar minyak adalah biaya ekonomi pemakaian yang biasanya dihitung berdasarkan jumlah kilometer per liter. Perbedaan pemakaian bahan bakar minyak dari satu operator dengan operator lainnya disebabkan oleh perbedaan cara pengoperasian dan keadaan waktu kendaraan itu dioperasikan.
- c) Ban adalah suatu bahan karet yang menutupi velg roda. Biasanya dihitung berdasarkan jarak tempuh kendaraan dalam kilometer, walaupun ada beberapa operator mengganti ban dengan menghitung bulan atau penggunaan kendaraan.

- d) Pelumas adalah zat kimia yang digunakan kendaraan bermotor yang umumnya berjenis cairan, yang diberikan diantara dua benda bergerak untuk mengurangi gaya gesek.
- e) Pemeliharaan dan perbaikan adalah biaya yang dikeluarkan untuk penggantian suku cadang. Ada dua dasar perhitungan untuk menentukan besarnya biaya perawatan kendaraan ini, yaitu didasarkan atas jarak tempuh dan jangka waktu, biasanya tahun. Faktor yang mempengaruhi pemeliharaan dan perbaikan kendaraan adalah umur dan kondisi kendaraan, kondisi permukaan jalan, dan kecepatan kendaraan.
- f) Penyusutan (depresiasi) yang disebabkan oleh keausan. Biaya depresiasi dapat diperlakukan sebagai komponen dari biaya tetap, jika masa pakai kendaraan dihitung berdasarkan waktu. Untuk menghitung biaya depresiasi, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan harga kendaraan. Harga ini telah termasuk perlengkapan yang dibutuhkan agar kendaraan dapat dioperasikan.

## **2.2 Waktu Perjalanan**

Waktu perjalanan adalah jumlah waktu yang diperlukan dari asal sampai pada tujuan. Waktu perjalanan dapat berbeda dari setiap pengukuran, hal ini dipengaruhi oleh keadaan jalan, seperti lamanya waktu terkena lampu merah, terkena macet, berhenti karena ada kereta api yang melintas, dan sebagainya. Waktu perjalanan akan dikatakan konsisten apabila waktu perjalanan yang diperoleh setiap harinya sama atau tidak berbeda jauh dari sebelumnya.

Bagi para pengguna jalan, waktu perjalanan sangatlah penting dalam berpergian, karena dengan adanya waktu perjalanan yang konsisten akan membantu para pengguna jalan untuk merencanakan waktu perjalanannya.

### **2.3 Karakteristik Arus Lalulintas**

Ada beberapa cara yang dipakai para ahli lalu lintas untuk mendefinisikan arus lalu lintas, tetapi ukuran dasar yang sering digunakan adalah konsentrasi aliran dan kecepatan. Aliran dan volume sering dianggap sama, meskipun istilah aliran lebih tepat untuk menyatakan arus lalu lintas dan mengandung pengertian jumlah kendaraan yang terdapat dalam ruang yang diukur dalam satu interval waktu tertentu. Konsentrasi dianggap sebagai jumlah kendaraan pada suatu panjang jalan tertentu, tetapi konsentrasi ini kadang-kadang menunjukkan kerapatan (kepadatan).

Arus lalu lintas terbentuk dari pergerakan individu pengemudi dan kendaraan yang melakukan interaksi antara yang satu dengan yang lainnya pada suatu ruas jalan dan lingkungannya. Karena persepsi dan kemampuan individu pengemudi mempunyai sifat yang berbeda maka perilaku kendaraan arus lalu lintas tidak dapat diseragamkan, lebih lanjut arus lalu lintas akan mengalami perbedaan karakteristik akibat dari perilaku pengemudi yang berbeda yang dikarenakan oleh karakteristik lokal dan kebiasaan pengemudi. Arus lalu lintas pada suatu ruas jalan karakteristiknya akan bervariasi baik berdasar lokasi maupun waktunya. Oleh karena itu perilaku pengemudi akan berpengaruh terhadap perilaku arus lalu lintas.



Terdapat beberapa variable atau ukuran dasar yang digunakan untuk menjelaskan arus lalu lintas. Tiga variable utama adalah volume (q), kecepatan (v), dan kepadatan (k). Variable lainnya yang digunakan dalam analisis lalu lintas adalah *headway* (h), *spacing* (s), dan *occupancy* (R).

### 2.3.1 Volume Lalulintas

Volume Lalu lintas Menurut Bukhari & Sofyan (2002 : 20) , volume lalu lintas sebagai jumlah kendaraan yang melewati suatu titik atau penampang (melintang) jalan dalam satu satuan waktu. Satuannya dinyatakan dalam kendaraan/jam/lajur. Jumlah tersebut terdiri dari bermacam-macam jenis kendaraan seperti mobil penumpang, bus dengan segala ukuran, truk ringan atau berat, kendaraan roda dua (bermesin), kendaraan fisik (seperti: sepeda, becak dayung gerobak), becak dan bahkan pejalan kaki, masing-masing kendaraan tersebut dihitung per unit dalam aliran lalu lintas. Menurut Anonim (1997), volume lalu lintas didefinisikan sebagai jumlah kendaraan bermotor yang melewati suatu titik pada jalan per satuan waktu. Secara matematis, volume lalu lintas dapat dihitung berdasarkan Rumus berikut ini:

$$Q = QLV + QHV \times empHV + QMC \times empMC \dots\dots\dots(2-1)$$

Keterangan :

Q = Total volume lalu lintas (smp/jam)

QLV = Jumlah kendaraan ringan (smp/jam)

QHV = Jumlah kendaraan berat (smp/jam)

empHV = Ekuivalen kendaraan berat

QMC = Jumlah sepeda motor (smp/jam)

empMC = Ekuivalen sepeda motor

Dalam aliran lalu lintas pada suatu pias jalan terdapat bermacam-macam jenis kendaraan, baik kendaraan cepat, kendaraan lambat, kendaraan berat, kendaraan ringan dan juga kendaraan tidak bermotor.

### 2.3.2 Kecepatan

Kecepatan adalah jarak yang dapat ditempuh dalam satuan waktu tertentu, biasa dinyatakan dalam satuan km/jam. Pemakai jalan dapat menaikkan kecepatan untuk memperpendek waktu perjalanan, atau memperpanjang jarak perjalanan. Nilai perubahan kecepatan adalah mendasar tidak hanya untuk berangkat dan berhenti tetapi untuk seluruh arus lalu lintas yang dilalui. Kecepatan didefinisikan sebagai suatu laju pergerakan, seperti jarak per satuan waktu, umumnya dalam mil/jam atau kilometer/jam. Karena begitu beragamnya kecepatan individual dalam aliran lalu lintas, maka kita biasanya menggunakan kecepatan rata-rata. Sehingga jika waktu tempuh  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  diamati untuk  $n$  kendaraan yang melalui suatu ruas jalan sepanjang  $l$ , maka kecepatan tempuh rata-ratanya adalah :

$$V = \frac{D}{T} \quad \bar{V} = \frac{\sum v}{n} \dots\dots\dots(2-2)$$

keterangan :

$V$  = kecepatan sesaat (km/jam)

$D$  = jarak pengamatan (km)

$T$  = waktu tempuh (dtk)

$n$  = jumlah sampel

Kecepatan tempuh rata-rata yang telah dihitung disebut kecepatan rata-rata ruang (*space mean speed*). Disebut kecepatan rata-rata ruang karena penggunaan

waktu tempuh rata-rata pada dasarnya memperhitungkan rata-rata berdasarkan panjang waktu yang digunakan setiap kendaraan di dalam ruang.

Panjang lintasan pengamatan untuk survey kecepatan setempat dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini :

*Tabel 2.1 Panjang lintasan pengamatan untuk survey kecepatan setempat*

Perkiraan Kecepatan Rata-Rata Arus Lalu Lintas (km/jam)	Panjang Lintasan (m)
<40	25-30
40-65	50-60
>65	75-90

*Sumber Pedoman Pengumpulan Data Lalu Lintas hal VI-6*

### 2.3.3 Kepadatan Macet (Jam Density)

Kepadatan Macet adalah kepadatan lalulintas yang terjadi pada kondisi terjadi kemacetan lalulintas. Kepadatan macet adalah jumlah kendaraan yang menempati ruas dalam satuan panjang (km). Besar kepadatan macet maka dapat diperoleh dengan cara menghitung jumlah kendaraan yang berada pada ruas jalan untuk panjang tertentu (km). jenis kendaraan yang melintas ruas jalan adalah sepeda motor, kendaraan ringan, dadn kendaraan berat. Kepadatan kendaraan pada ruas jalan dapat diestimasi sebagai berikut.

$$\text{Kepadatan (D)} = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots(2-3)$$

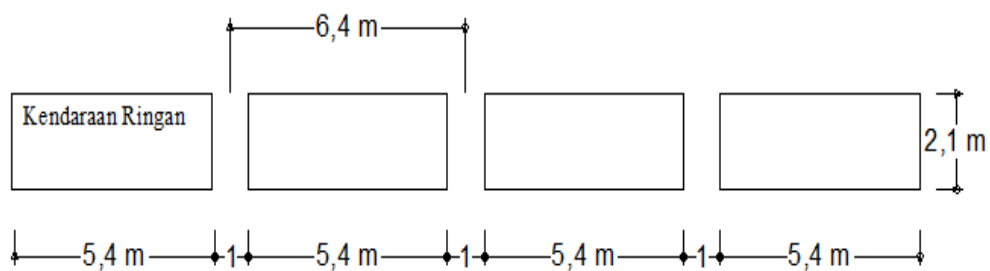
Keterangan :

D = kepadatan (kend/km atau smp/km)

Q = volume kendaraan (kend/km atau smp/km)

V = kecepatan rata-rata kendaraan (km/jam)

Besar kepadatan maksimum tersebut harus dicek terhadap kepadatan macet (*jam density*). Besar kepadatan macet dalam satuan smp/km dapat diprediksi dengan mengambil asumsi terjadi kondisi macet total sehingga kendaraan tidak dapat bergerak. Pada kondisi demikian maka jumlah kendaraan ringan yang dapat terisi untuk panjang 1 kilo meter ruas jalan. Untuk itu perlu diketahui ukuran kendaraan ringan dan jarak antar kendaraan pada saat terjadi macet total. Adapun ukuran panjang kendaraan dan jarak antar kendaraan diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Ukuran Standar Kendaraan Ringan

Jumlah maksimum kendaraan yang dapat mengisi ruas jalan sepanjang 1000 meter dapat diestimasi dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned} \text{Kepadatan Macet} &= \frac{1000 \text{ m}}{Lp} = \frac{1000 \text{ m}}{6,4} \\ &= 156,25 \approx 156 \text{ kendaraan ringan} = 156 \text{ smp} \end{aligned}$$

#### 2.3.4 Spacing (s) dan Headway (h)

Merupakan dua karakteristik tambahan dari arus lalu lintas. *Spacing* didefinisikan sebagai jarak antara dua kendaraan yang berurutan di dalam suatu

aliran lalu lintas yang diukur dari bumper depan satu kendaraan ke bumper depan kendaraan dibelakangnya. *Headway* adalah waktu antara dua kendaraan yang berurutan ketika melalui sebuah titik pada suatu jalan. Baik spacing maupun headway berhubungan erat dengan kecepatan, volume dan kepadatan.

### **2.3.5 Lane Occupancy ( R )**

*Lane occupancy* (tingkat hunian lajur) adalah salah satu ukuran yang digunakan dalam pengawasan jalan tol. Lane occupancy dapat juga dinyatakan sebagai perbandingan waktu ketika kendaraan ada di lokasi pengamatan pada lajur lalu lintas terhadap waktu pengambilan sampel.

### **2.3.6 Clearance (c) dan Gap (g)**

*Clearance* dan *Gap* berhubungan dengan spacing dan headway, dimana selisih antara spacing dan clearance adalah panjang rata-rata kendaraan. Demikian pula, selisih antar headway dan gap adalah ekivalen waktu dari panjang rata-rata sebuah kendaraan.

### **2.3.7 Kinerja jalan**

Kinerja jalan adalah kemampuan dari suatu ruas jalan dalam melayani arus lalu lintas yang terjadi pada ruas jalan tersebut. Kinerja jalan ditentukan oleh kapasitas, derajat kejenuhan (“Degree of Saturation”, DS), kecepatan rata-rata, waktu perjalanan.

Sedangkan MKJI (1997) mendefinisikan kapasitas sebagai arus maksimum yang melalui suatu titik di jalan yang dapat dipertahankan per satuan jam pada kondisi tertentu. Untuk jalan dua lajur dua arah, kapasitas ditentukan

untuk arus dua arah ( kombinasi dua arah) , tetapi untuk jalan dengan banyak lajur, arus dipisah per arah dan kapasitas ditentukan per lajur.

Persamaan dasar untuk menghitung kapasitas ruas jalan dalam MKJI (1997) adalah sebagai berikut:

1. Jalan Perkotaan:  $C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS}$
2. Jalan Luar Kota:  $C = C_o \times FC_w \times FC_{SP} \times FC_{SF}$
3. Jalan Bebas Hambatan:  $C = C_o \times FC_w \times FC_{SP}$

dimana:

$C$  = kapasitas ruas jalan (smp/jam)

$C_o$  = kapasitas dasar (smp/jam)

$FC_w$  = faktor penyesuaian lebar jalur lalu-lintas

$FC_{SP}$  = faktor penyesuaian pemisahan arah

$FC_{SF}$  = faktor penyesuaian akibat hambatan samping

$FC_{CS}$  = faktor penyesuaian ukuran kota

## 2.4 Cell Transmission Model (CTM)

Model transmisi sel mensimulasikan kondisi lalu lintas dengan mengusulkan untuk mensimulasikan sistem dengan strategi *waktu-scan* di mana kondisi ini diperbarui dengan setiap tick dari jam. Bagian jalan yang dipertimbangkan dibagi menjadi beberapa bagian yang homogen yang disebut *sel*, nomor dari  $i = 1$  I. Panjang dari bagian ditetapkan sama dengan jarak perjalanan di lampu lalu lintas dengan kendaraan khas dalam satu jam berdetak. Dalam kondisi lampu lalu lintas, semua kendaraan dalam sel dapat diasumsikan untuk maju ke depan dengan masing-masing clock tick. yaitu,

$$n_{i+1}(t + 1) = n_i(t) \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana,  $n_i(t)$  adalah jumlah kendaraan di sel  $i$  pada waktu  $t$ .

Namun, persamaan 1 tidak masuk akal ketika aliran melebihi kapasitas. Oleh karena itu satu set yang lebih kuat dari persamaan kemajuan aliran disajikan pada bagian selanjutnya.

### 2.4.1 Umum

Sebagai sekuel pertama kertas pada CTM, Daganzo (1995) menerbitkan makalah pertama pada CTM diterapkan untuk lalu lintas jaringan. Dalam aplikasi bagian CTM lalu lintas jaringan mempertimbangkan penggabungan dan divergen dibahas. Beberapa notasi dasar: (Notasi digunakan dari sini, yang diadopsi dari Ziliaskopoulos (2000))  $\Gamma^{-1}$  = Set sel pendahulunya.  $\Gamma$  = Set sel penggantinya.

### 2.4.2 Arus Kemajuan

Pertama, dua konstanta yang terkait dengan setiap sel didefinisikan, mereka adalah: (i)  $N_i(t)$  yang merupakan jumlah maksimum kendaraan yang dapat hadir dalam sel  $i$  pada waktu  $t$ , Itu adalah produk dari panjang sel dan kepadatan selainya. (Ii)  $Q_i(t)$  adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat mengalir ke dalam sel  $i$  ketika jam uang muka dari  $t$  untuk  $t + 1$  (jarak waktu  $t$ ), Itu adalah minimum kapasitas sel dari  $i - 1$  dan  $i$ . Hal ini disebut kapasitas sel  $i$ . Ini merupakan aliran maksimum yang dapat ditransfer dari  $i - 1$  untuk  $i$ . Kami mengizinkan konstanta ini bervariasi dengan waktu untuk dapat model insiden lalu lintas sementara. Sekarang persamaan aliran kemajuan dapat ditulis sebagai,

hunian sel pada suatu waktu  $t + 1$  sama dengan hunian pada waktu  $t$ , ditambah inflow dan minus arus keluar; yaitu,

$$n_i(t + 1) = n_i(t) + y_i(t) - y_{i+1}(t) \tag{2.5}$$

Dimana :

$n_i(t + 1)$  adalah hunian sel pada suatu waktu  $t + 1$ .

$n_i(t)$  hunian sel pada suatu waktu  $t$ .

$y_i(t)$  adalah inflow pada waktu  $t$ .

$y_{i+1}(t)$  adalah keluar pada waktu  $t$ .

Arus terkait dengan kondisi saat ini pada waktu  $t$  seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

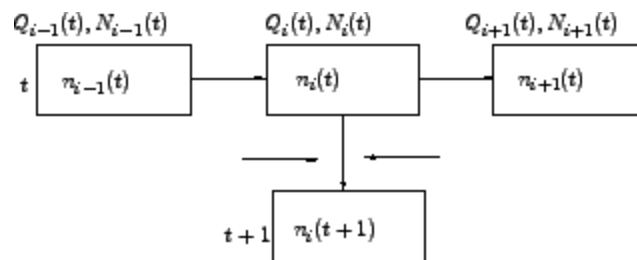
$$y_i(t) = \min [n_{i-1}(t), Q_i(t), N_i(t) - n_i(t)] \tag{2.6}$$

Dimana :

$n_{i-1}(t)$  : Adalah jumlah kendaraan di sel  $i - 1$  pada waktu  $t$ .

$Q_i(t)$  : Adalah aliran kapasitas dalam  $i$  untuk interval waktu  $t$ .

$N_i(t) - n_i(t)$  : Adalah jumlah ruang kosong di sel  $i$  pada waktu  $t$ .



Gambar 2.2 Arus kemajuan



### 2.4.3 Generalized CTM

Generalized CTM merupakan perpanjangan dari model transmisi sel yang akan mendekati model hidrodinamika untuk persamaan keadaan yang memungkinkan gelombang mundur dengan kecepatan  $w \leq v$ .

#### Contoh numerik:

Pertimbangkan 1,25 km jalan homogen dengan kecepatan  $v = 50 \text{ km/h}$ , Kepadatan jam  $k_j = 180 \text{ veh/km}$  dan  $q_{maz} = 300 \text{ veh/hr}$ . Awalnya lalu lintas yang mengalir terganggu pada 80% dari kapasitas:  $Q = 2400 \text{ veh/hr}$ . Kemudian, jalur penyumbatan parsial berlangsung 2 menit terjadi pada  $1/3^{rd}$  dari jarak dari ujung jalan. penyumbatan efektif membatasi mengalir ke 20% dari maksimum. Jelas, antrian akan membangun dan mengusir balik pembatasan. Setelah 2 menit, aliran dalam sel 3 adalah mungkin aliran maksimum. Memprediksi evolusi lalu lintas. Ambil satu jam berdetak 30 detik.

#### Larutan:

Tujuan utama dari model transmisi sel adalah untuk mensimulasikan kondisi lalu lintas nyata untuk bentangan didefinisikan jalan. Kecepatan dan sel panjang dipertahankan konstan dan juga sel panjang dalam model transmisi sel. solusi telah dibagi menjadi 4 langkah sebagai berikut:

**Langkah 1: Penentuan panjang sel dan jumlah sel** Mengingat jam tick,  $t = 30 \text{ sec} = 1/120^{th}$  dari satu jam. Jadi, panjang sel = jarak yang ditempuh oleh kendaraan dalam satu clock tick =  $v \times t = 50 \times (1/120) \approx 5/12 \text{ km}$ . Jalan stretch diberikan =  $1,25 \text{ km}$ . Oleh karena itu, tidak ada sel =  $1,25/(5/12) = 3 \text{ cells}$

**Langkah 2: Penentuan konstanta (N & Q)** N = jumlah maksimum kendaraan yang muat pada waktu t dalam sel i, = panjang sel kepadatan x jam, =  $180 \times (5/12)$  = 75 kendaraan, Q = jumlah maksimum kendaraan yang dapat mengalir ke dalam sel saya dari waktu t ke t + 1, =  $3000 \times (1/120) = 25$  kendaraan. Sekarang, untuk mensimulasikan kondisi lalu lintas untuk beberapa interval waktu, tujuan utama kami adalah untuk menemukan hunian dari 3 sel (yang dihitung di atas) dengan perkembangan jam tick. Hal ini mudah menunjukkan dengan membuat tabel. Pertama-tama, nilai awal dalam tabel diisi.

**Langkah 3: Penentuan kapasitas sel** dalam hal jumlah kendaraan untuk berbagai arus lalu lintas. Untuk 20% dari maksimum =  $600 \times (1/120)$  *vehicles*. Untuk 80% dari maksimum =  $2400 \times (1/120)$  *vehicles*.

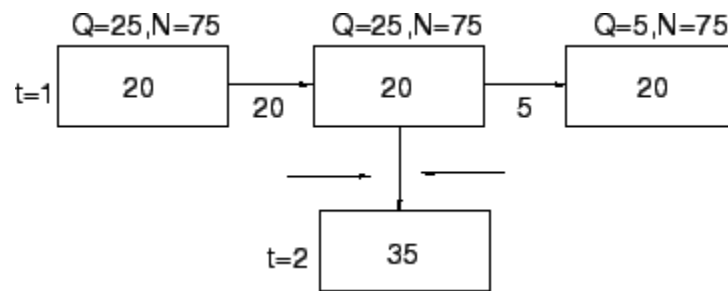
**Langkah 4: Inisialisasi dari meja** meja telah siap dengan sumber sel sebagai nilai kapasitas besar dan gerbang ada yang menghubungkan dan mengatur arus kendaraan dari sumber ke sel 1 per kapasitas sel untuk interval tertentu. Konstanta sel (Q dan N) Untuk 3 sel ditunjukkan dalam tabel. Perhatikan bahwa wastafel dapat menampung jumlah maksimum kendaraan mana sel 3 menghasilkan. Q3 adalah kapasitas dalam hal jumlah kendaraan sel 3. Nilai dari H5 ke H7 (yaitu 5) sesuai dengan interval waktu 2 menit dengan 4 jam kutu ketika jalur diblokir sehingga kapasitas dikurangi menjadi 20% dari maksimum (yaitu  $600 \times (1/120)$  kendaraan). Setelah 2 menit interval waktu dilewatkan kendaraan mengalir dengan kapasitas penuh dalam sel 3. Jadi nilai adalah 25 (yaitu  $3000 \times (1/120)$  kendaraan).

Tabel 2.2 Entri pada awal simulasi.

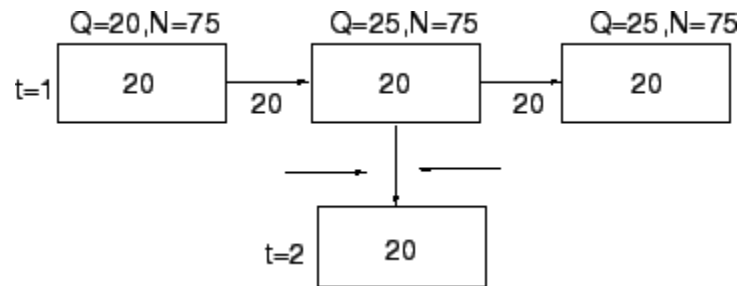
	Sumber (00)	Gate (0)	cell1	CELL2	CELL3	Cell4	
Q		20	25	25		25	
N		999	75	75	75	999	
Waktu							Q3
1	999	20	20	20	20		5
2	999	20					5
3	999	20					5
4	999	20					5
5	999	20					25
6	999	20					25
7	999	20					25
8	999	20					25
9	999	20					25
10	999	20					25
11	999	20					25
12	999	20					25
13	999	20					25
14	999	20					25
15	999	20					25
16	999	20					25
17	999	20					25
18	999	20					25

**Langkah 5: Perhitungan tingkat hunian** Simulasi tidak perlu dimulai dalam urutan tertentu, itu bisa dimulai dari setiap sel di baris yang sesuai dengan jam saat kutu. Sekarang, pertimbangkan sel dilingkari (sel 2 pada waktu 2) di akhir tabel. entri tergantung pada sel-sel yang ditandai dengan persegi panjang. Secara hukum konservasi aliran: Hunian = Penyimpanan + Inflow - Outflow. Perhatikan

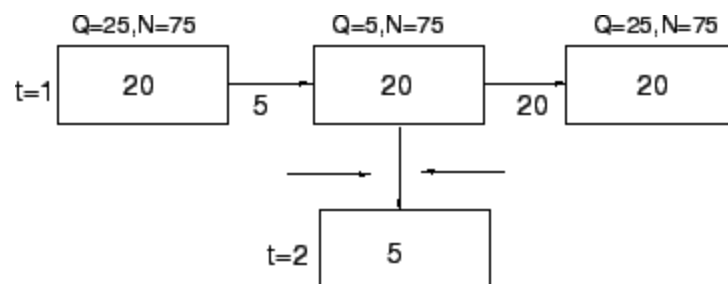
bahwa Storage adalah hunian sel yang sama dari sebelumnya jam tick. Juga keluar dari satu sel sama dengan masuknya sel hanya berhasil. Di sini, Storage = 20. Untuk inflow penggunaan persamaan 3  $\text{Inflow} = \min [20, \min (25,25), (75-20)] = 20$ .  $\text{Outflow} = \min [20, \min (25,5), (75-20)] = 5$ . Hunian =  $20 + 20 - 5 = 35$ .



Sekarang, Untuk sel 1 pada waktu 2,  $\text{Inflow} = \min [20, \min (25,25), (75-20)] = 20$ ,  $\text{Outflow} = \min [20, \min (25,25), (75-20)] = 20$ , Hunian =  $20 + 20 - 20 = 20$ .



Sekarang, Untuk sel 3 pada waktu 2,  $\text{Inflow} = \min [20, \min (25,5), (75-20)] = 5$ .  $\text{Outflow} = 20$  (: sel .sink mengambil semua kendaraan di sel sebelumnya) Hunian =  $20 + 5 - 20 = 5$ .



Demikian pula, sisa entri dapat diisi dan hasil akhir dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

*Tabel 2.3: entri Akhir simulasi lalu lintas*

	Sumber (00)	Gate (0)	sel 1	sel 2	sel 3	sel 4	
Q		20	25	25		25	
N		999	75	75	75	999	
Waktu							Q3
1	999	20	20	20	20		5
2	999	20	20	35	5		5
3	999	20	20	50	5		5
4	999	20	20	65	5		5
5	999	20	30	70	5		25
6	999	20	45	50	25		25
7	999	20	40	50	25		25
8	999	20	35	50	25		25
9	999	20	30	50	25		25
10	999	20	25	50	25		25
11	999	20	20	50	25		25
12	999	20	20	45	25		25
13	999	20	20	40	25		25
14	999	20	20	35	25		25
15	999	20	20	30	25		25
16	999	20	20	25	25		25
17	999	20	20	20	25		25
18	999	20	20	20	20		25

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa hunian yaitu jumlah kendaraan pada sel 1 dan 2 meningkat dan kemudian menurun simulasi efek dari jalur penyumbatan di sel 3 pada sel 1 dan sel 2. jalur penyumbatan berlangsung 2 menit dalam masalah ini, setelah itu tidak ada kemacetan diperhitungkan. Sehingga waktu lewat, hunian di sel 1 dan sel 2 juga akan berkurang.

#### **2.4.4 Model CTM**

Karakteristik CTM meliputi panjang sel, interval waktu (clock tick), kapasitas arus masuk sel ( $Q$ ), jumlah maksimum kendaraan pada sel ( $N$ ). Berikut menentukan karakteristik CTM langkah pertama :

- a) Unit interval waktu (clock tick)

Besar interval waktu (clock tick) ditentukan sedemikian sehingga panjang waktu siklus merupakan kelipatan besar unit waktu (clock tick). Besar unit waktu (clock tick) direncanakan sebesar 3 detik sehingga hasil pembagian panjang siklus dengan unit waktu (clock tick) merupakan bilangan bulat.

- b) Panjang Sel Pada Metode CTM

Besarnya panjang sel pada metode CTM merupakan hasil perkalian kecepatan arus bebas dengan unit waktu (clock tick).

Panjang sel = kecepatan rata-rata x interval waktu (clock tick)

$$40 \text{ km/jam} \times 3 \text{ detik}$$

$$= 40.000 \text{ m/jam} \times 3/3600 \text{ jam} = 33,3 \approx 33 \text{ meter}$$

Jumlah sel = panjang ruas / panjang sel

$$= 250/33 = 7,57 \approx 7 \text{ sel}$$

c) Kapasitas Kendaraan Pada Sel (N)

Kapasitas sel adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat terisi pada sel. Kapasitas sel merupakan hasil perkalian panjang sel (*cell length*) dengan kepadatan macet (*jam density*).

$$\begin{aligned} N_i &= \text{panjang sel} \times \text{kepadatan jenuh} \times \text{jumlah laju} \\ &= 33 \text{ m} \times 156 \text{ smp/Km} \times 1 \text{ lajur} \\ &= 33 \text{ m} \times 156/1000 \text{ smp/Km} \times 1 \text{ smp/m} \\ &= 5,15 \approx 5 \text{ smp} \end{aligned}$$

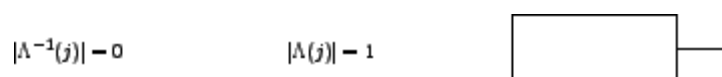
d) Jumlah Maksimum Kendaraan Memasuki Sel (Q)

Jumlah maksimum kendaraan memasuki sel dalam satu satuan waktu (*clock tick*). Jumlah maksimum kendaraan memasuki sel diperoleh dengan mengalikan besar arus jenuh sel (*cell's saturated flow*) dengan satu satuan waktu (*clock tick*).

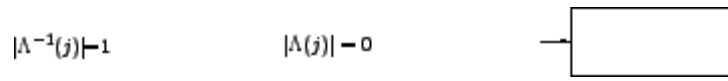
$$\begin{aligned} Q_i &= \text{arus jenuh sel} \times \text{interval waktu} \times \\ &\quad \text{jumlah lajur} \\ &= 3020 \text{ smp/jam} \times 3/3600 \times 2 = 5,03 \text{ smp} \approx 5 \text{ smp} \end{aligned}$$

### 2.4.5 Topologi Jaringan

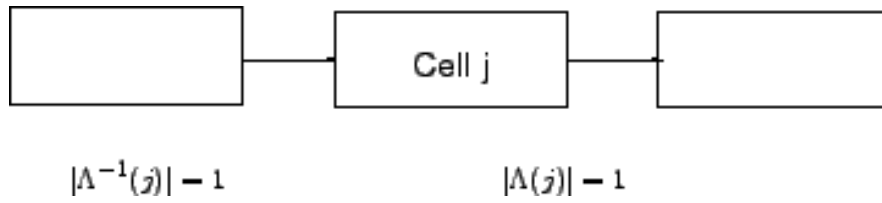
Notasi diperkenalkan pada bagian sebelumnya diterapkan untuk berbagai jenis sel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, 5 & 6. Beberapa representasi valid dan tidak valid dalam jaringan ditunjukkan pada Gambar 10 & Gambar 9.



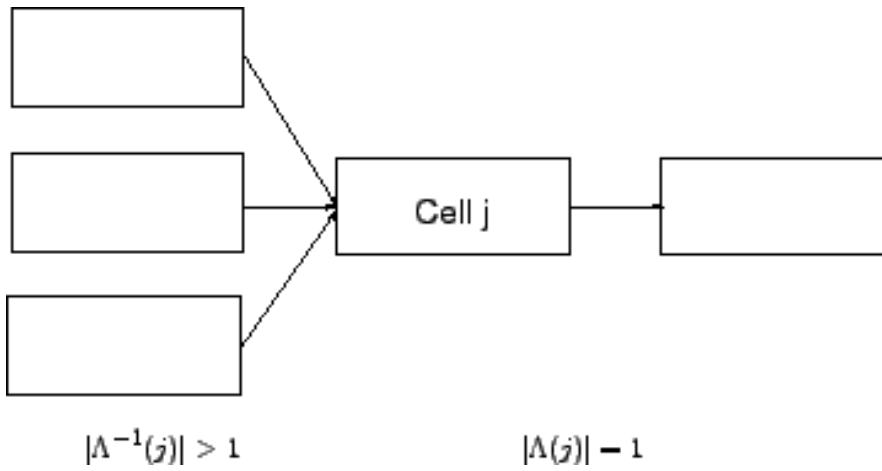
Gambar 2.3 Sumber Sel



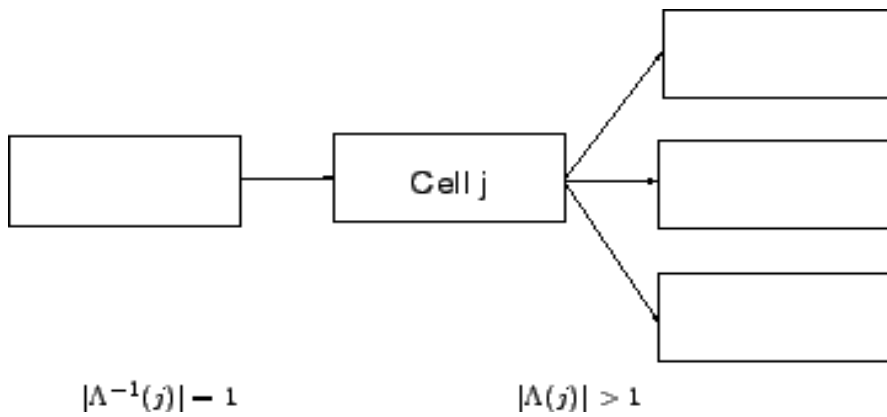
Gambar 2.4 Sink Sel



Gambar 2.5 Biasa Sel

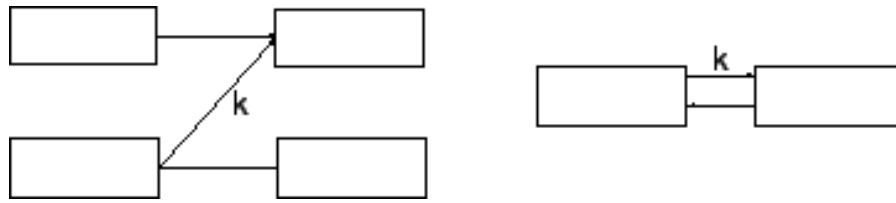


Gambar 2.6 Penggabungan Sel

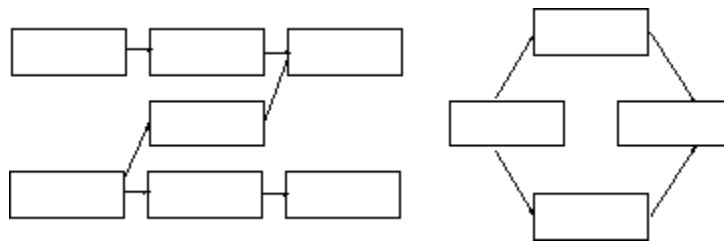


Gambar 2.7 Bertolak Sel





*Gambar 2.8 representasi valid*



*Gambar 2.9 representasi Hari*

#### **2.4.6 Keuntungan dan aplikasi**

Cell Transmission Model (CTM) merupakan salah satu pemodelan dalam bidang transportasi, adapun keuntungan menggunakan pemodelan ini yaitu sebagai berikut :

- CTM digunakan untuk mengetahui waktu normal kembali saat terjadi kemacetan.
- Mengetahui besar nilai tundaan pada kemacetan.
- CTM dapat digunakan untuk memberikan "real time" informasi untuk driver.
- CTM telah digunakan dalam mengembangkan formulasi optimasi sistem sinyal yang optimal.

## 2.5 Biaya Operasi Kendaraan (BOK)

Biaya operasional kendaraan merupakan salah satu tinjauan dalam bidang ekonomi teknik untuk transportasi. Beberapa pengeluaran operasi bertambah secara langsung menurut panjang jalan yang dilewati.

Pada studi, besarnya konsumsi bahan bakar tergantung pada lamanya tundaan setiap pendekat. Makin lama tundaan, semakin besar pula biaya konsumsi bahan bakar. Dalam hal ini yang akan dibahas adalah konsumsi bahan bakar minyak.

Konsumsi bahan bakar untuk masing-masing jenis kendaraan seperti pada tabel berikut :

*Tabel 2.4 Jumlah Bahan Bakar Yang Dikonsumsi Kendaraan*

Jenis Kendaraan	Konsumsi Bahan Bakar		
	(liter/jam)	(rupiah/jam)	(rupiah/detik)
Sepeda Motor	0,144	144	0.04
Sedan (Bensin)	0,396	396	0.11
Public	0,396	396	0.11
Medium Truck	0,647	647	0.099
Bus	0,916	916	0.014
Large Truck	0,818	818	0.125

*Sumber : Sutopo, Arbi Muchtar., 2015, Studi Evaluasi Kinerja Dan Kerugian*

Biaya Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Akibat Kemacetan Pada Simpang Bersinyal Jalan Mayor Jendral MT Haryono – Jalan Gajayana di Kota Malang, **Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil ITN Malang.** (Auto 2000).

Berikut adalah harga konsumsi bahan bakar tahun 2016 yang akan digunakan pada studi ini. Harga yang digunakan adalah harga terbaru yang mana bersamaan dengan diadakannya studi ini, yaitu pada bulan November 2016. Dimana untuk harga Premium untuk 1 Oktober 2016 ini ditetapkan sebesar Rp 6.450 per liter, kemudian harga Solar subsidi ditetapkan sebesar Rp 5.150 per liter.

Sumber: <http://nasional.kini.co.id/2016/09/30/17552/ini-harga-bbm-terhitung-1-oktober-2016bawah>

Tabel dibawah ini adalah jumlah konsumsi kendaraan pada setiap jenisnya. Sepeda motor dan kendaraan ringan menggunakan bensin premium dengan harga per satu liter Rp 6.450,-. Sepeda motor menghabiskan Rp 0,292 setiap detiknya dan kemudian kendaraan ringan (mobil, angkot, dan taksi), menghabiskan Rp 0,803 setiap detiknya. Dan yang terakhir adalah kendaraan berat yang dimana bahan bakarnya menggunakan minyak solar dengan harga per liter Rp 5.150,-. Truck menghabiskan Rp 1,568 setiap detiknya dan bus menghabiskan Rp 1,756 setiap detiknya.

*Tabel 2.5 Jumlah Bahan Bakar Yang Dikonsumsi Kendaraan pada studi ini.*

Jenis Kendaraan	Bahan Bakar Yang Digunakan	Harga Bahan Bakar (Rp)	Konsumsi Bahan Bakar		
			(liter/jam)	(rupiah/jam)	(rupiah/detik)
Sepeda Motor	Bensin Premium	6450	0,144	928,8	0,258
Kendaraan Ringan	Bensin Premium	6450	0,396	2554,2	0,7095
Kendaraan Berat :					
Large Truck	Minyak Solar	5150	0,818	4212,7	1,170
Bus	Minyak Solar	5150	0,916	4717,4	1,310

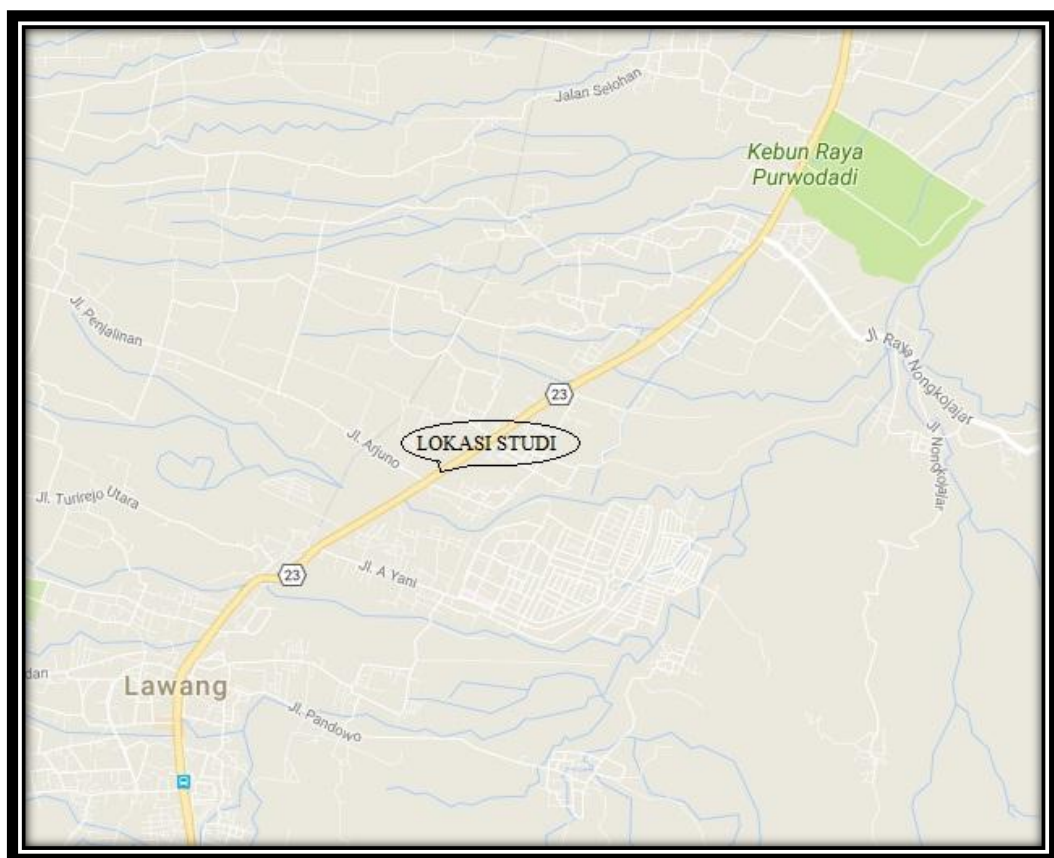
## BAB III

### METODOLOGI

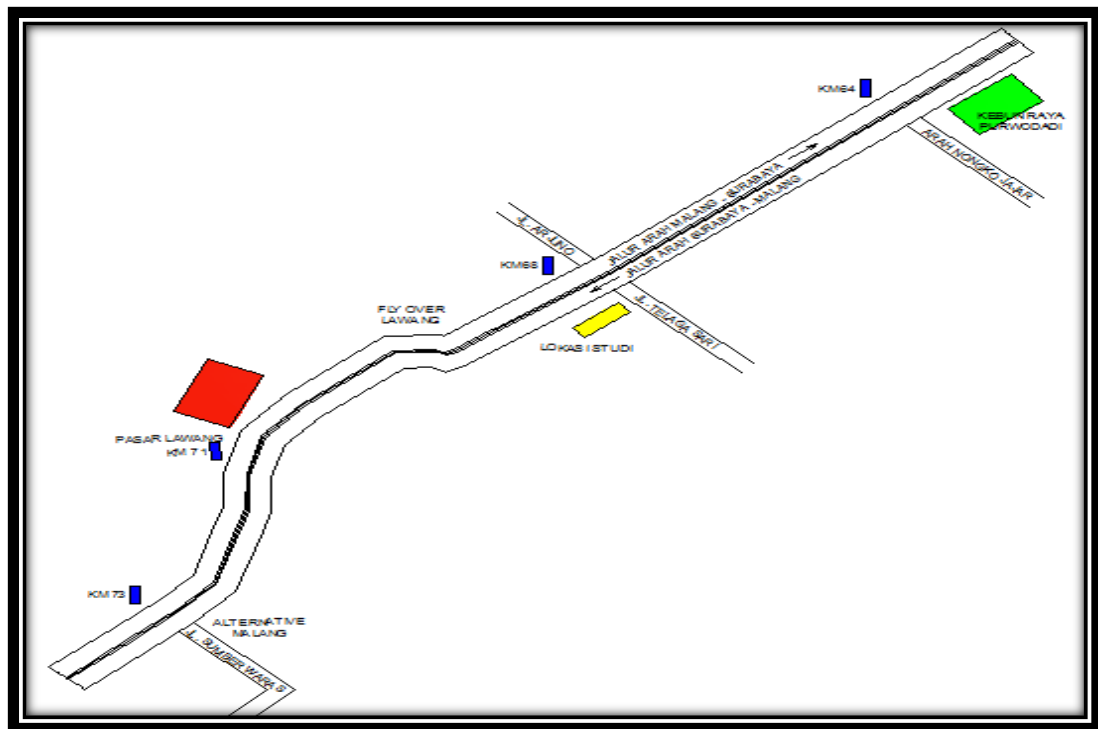
#### 3.1 Lokasi Studi

Lokasi studi termasuk jalan arteri, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk (akses) dibatasi secara berdaya guna. Jalan arteri dalam sistem jaringan jalan primer yaitu menghubungkan antar ibukota provinsi dan jalan strategis nasional, serta jalan tol.

Studi kali ini dilakukan pada Ruas Jalan Nasional Km 68 Surabaya (Ruas Jalan Purwodadi – Lawang). Berikut gambar peta lokasi studi.



*Gambar 3.1 Peta Lokasi Studi*



Gambar 3.2 Sketsa Peta Lokasi Studi

### 3.2 Pengumpulan Data

#### 3.2.1 Data Primer

Survey primer merupakan data yang diperoleh dari pengukuran dan pengamatan secara langsung dilapangan yang meliputi :

1. Survey lokasi pada Km 68 :
  - a) Lebar jalan arah Surabaya : 6,35 m
  - b) Lebar jalan arah Malang : 7,9 m
  - c) Lebar trotoar : 1,1 m
2. Survey volume lalu lintas, dimaksudkan untuk mengetahui jumlah volume kendaraan yang melintasi ruas jalan dilokasi studi dan dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Survey volume dilakukan dengan mencatat jumlah kendaraan yang melalui ruas jalan pada satu titik

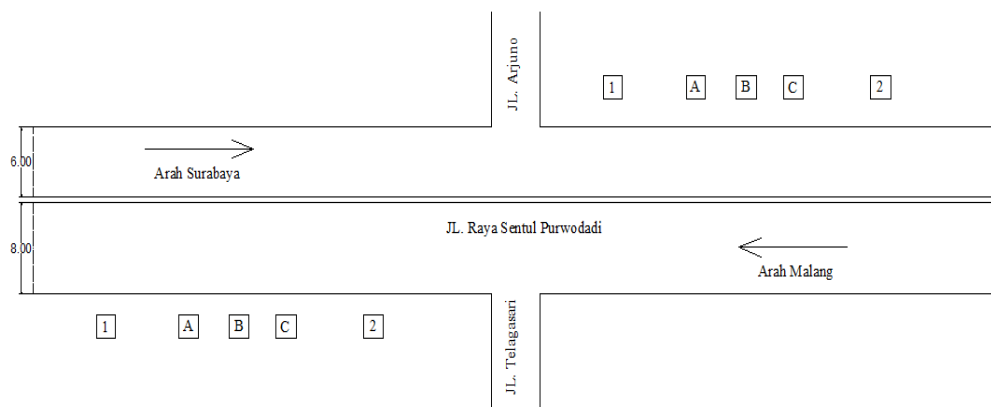
pengamatan, sesuai dengan golongannya selama waktu yang telah ditentukan. Survey dilakukan pada hari senin, 4 April 2017 dari jam 06.00 – 19.00.

3. Survey kecepatan, dimaksudkan untuk mengetahui kecepatan kendaraan yang melintasi ruas jalan dilokasi studi. Survey dilakukan dihari yang sama dengan survey volume lalu lintas yaitu pada hari Senin, 4 April 2017. Survey dilakukan dengan bantuan dua buah alat perekam, sebelumnya jam pada alat perekam disamakan. Alat perekam diletakkan dititik awal, jarak pandang pada alat perekam diatur agar dapat merekam semua kendaraan yang melintas pada titik awal, kemudian alat perekam kedua diletakkan pada jarak 100 meter dari alat perekam pertama, diatur pula jarak pandang agar dapat merekam semua kendaraan yang melintas. Kemudian secara bersamaan alat perekam dinyalakan, selama kurun waktu 10 menit. Data yang diperoleh kemudian akan diolah distudio untuk mendapatkan kecepatan rata-rata perjalanan, dengan mencatat waktu yang dibutuhkan kendaraan untuk dapat melintasi alat perekam pertama sampai melewati alat perekam kedua. Kecepatan perjalanan adalah kecepatan rata-rata kendaraan efektif antara dua titik tertentu dijalan, yang dapat ditentukan dari jarak perjalanan dibagi dengan total waktu perjalanan.
4. Survey sel, dimaksudkan untuk mengetahui jumlah kendaraan masuk maupun keluar dalam sel pada satu clock tick. Pengambilan data survey dilakukan selama 5 menit = 100 clock tick (bisa lebih). Survey dilakukan pada hari Senin, 22 Mei 2017.

### 3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder yaitu data-data yang diperoleh berdasarkan data-data yang diperoleh dari sumber data yang lain. Data peta lokasi, patok penunjuk Km jalan dan informasi dari masyarakat tentang berapa biasanya lama kemacetan akibat kecelakaan.

### 3.3 Denah Surveyor



*Gambar 3.3 lokasi Pengambilan Data Survey*

Keterangan :

Surveyor A : Menghitung volume lalu lintas jenis sepeda motor, trailer / kontainer, kendaraan tidak bermotor dan truk berat 3 As.

Surveyor B : Menghitung volume lalu lintas jenis sedan / jeep, van mini bus, bus besar.

Surveyor C : Menghitung volume lalu lintas jenis bus sedang, Mpu / bus kecil, truk sedang 2 As / tangki, dan pick up / mobil hantaran.

Surveyor 1&2 : Letak alat perekam untuk merekam kecepatan kendaraan.

### **3.4 Peralatan yang digunakan**

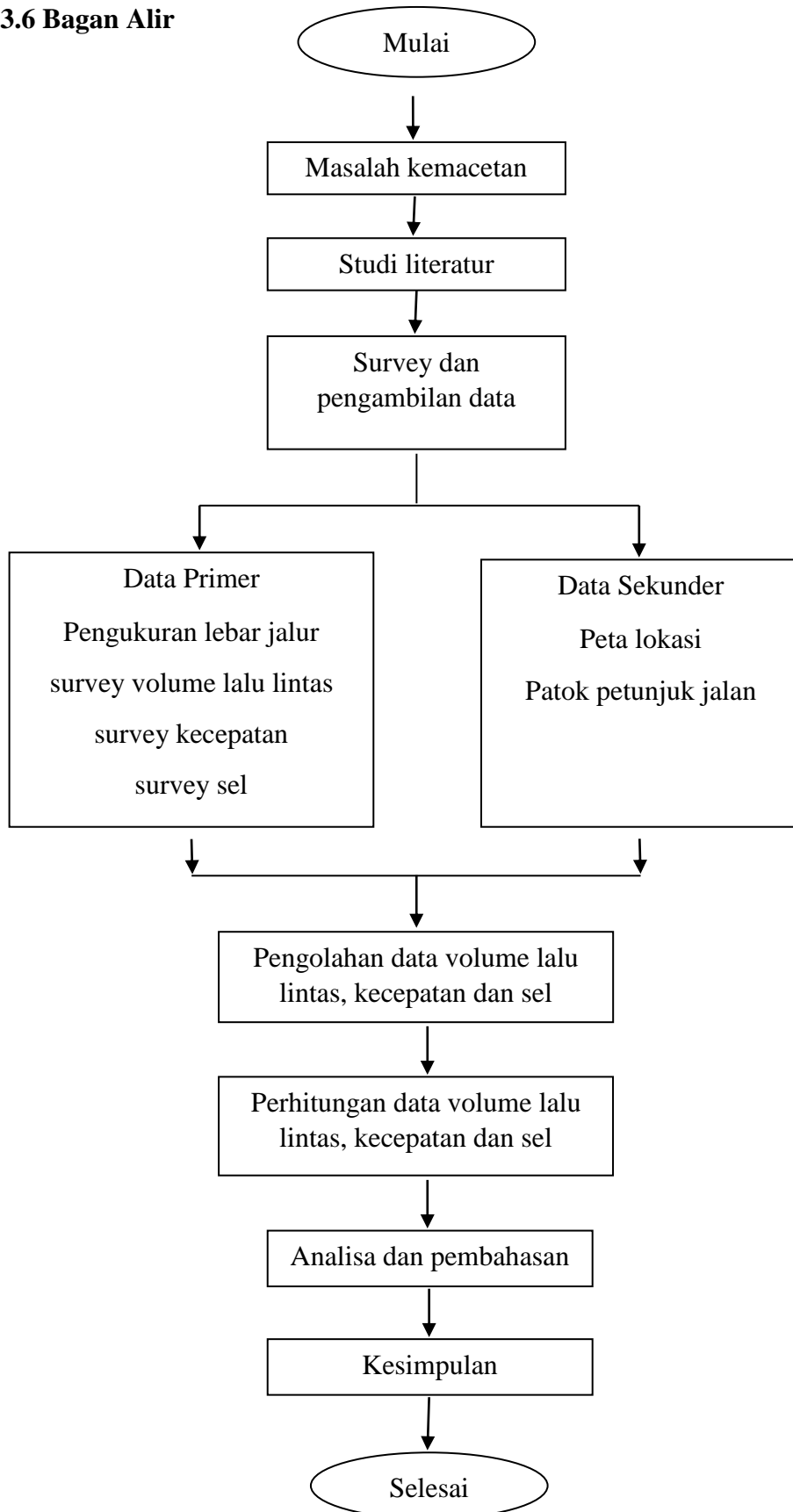
1. Alat tulis dan form survey
2. Handycam dan tripod
3. Alat pengukur / meteran
4. Counter
5. Cat atau lakban untuk memberi garis tanda.

### **3.5 Metode Analisa Data**

Dari data-data yang diperoleh melalui pengukuran dan pengamatan dilapangan, selanjutnya dianalisa dan dihitung dengan berdasarkan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 yaitu untuk menganalisa kapasitas jalan, kecepatan dan volume kendaraan, serta menggunakan metode Cell Transmission Model (CTM) yang bertujuan untuk menentukan berapa waktu yang dibutuhkan normal kembali saat terjadinya kemacetan akibat kecelakaan lalulintas.



### 3.6 Bagan Alir

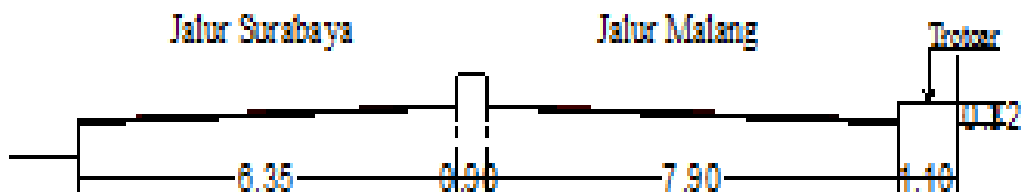


## BAB IV

### DATA HASIL SURVEY

#### 4.1 Data Geometrik

Data geometrik didapatkan dari hasil pengukuran langsung kondisi di lokasi studi. Data geometrik yang didapat meliputi : lebar jalur, lebar pemisah jalan, tinggi pemisah jalan, lebar bahu jalan.



*Gambar 4.1 geometrik jalan*

#### 4.2 Data Volume Lalulintas

Volume kendaraan diperoleh dari hasil survey dilapangan selama 1 hari, pada hari senin. Adapun alasan memilih hari tersebut, untuk hari senin data volume pada hari normal. Waktu pengamatan dilakukan pada jam 06.00 – 19.00 dengan interval 15 menit. Perhitungan volume kendaraan dilakukan dengan cara menghitung setiap kendaraan yang melewati titik pengamatan pada ruas jalan dilokasi studi.

Pada perhitungan volume lalulintas kendaraan dikelompokkan menjadi lima jenis kelompok kendaraan yaitu :

LV : Kendaraan ringan (meliputi mobil penumpang, mini bus, pick up, dan jeep)

MHV : Kendaraan berat menengah (meliputi truk dua gandar dan bus kecil)

LB : Bus besar

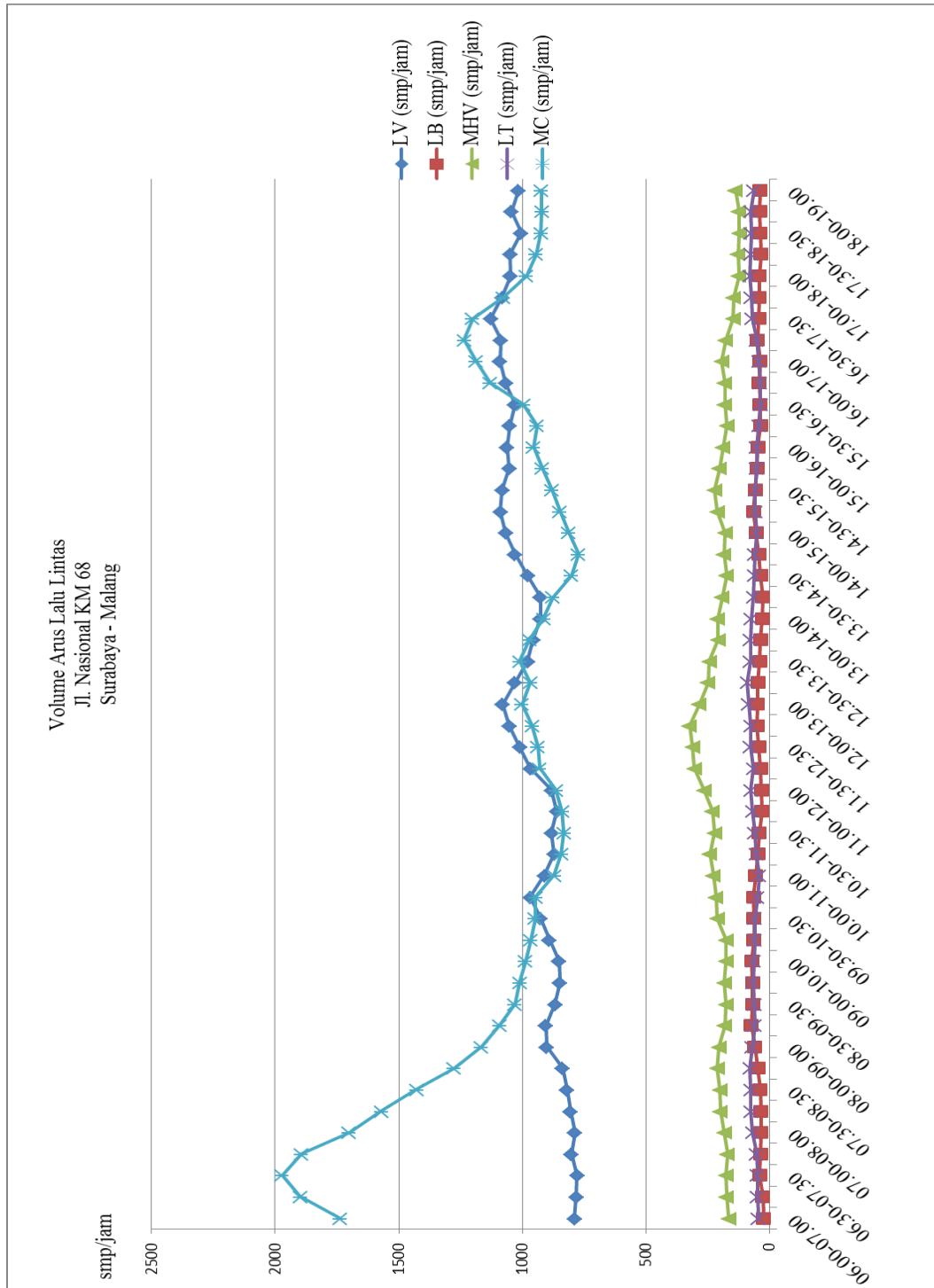
LT : Truk besar (meliputi truk 3 gandar dan truk gandeng)

MC : Sepeda motor.

Data hasil survey diwakilkan pada tabel dan grafik dibawah ini.

Tabel 4.1 jumlah kendaraan Arah Surabaya – Malang Senin 3 April 2017

Waktu	Jenis Kendaraan											Arus Total Q	
	LV = 1,0				LB = 1,5	MHV = 1,3		LT = 2,0		MC =0,5		Kend	Smp
	Sedan/ Jeep	Van Mini Bus	MPU / Bus Kecil	Pick Up / Mobil Hantara	Bus Besar	Bus Sedang	Truk sedang 2 As	Truk Berat 3 As	Trailer / Kontainer	Sepeda Motor	Kend Tidak Bermotor		
06.00-06.15	21	137	18	17	2	2	26	4	6	603	0	836	553.9
06.15-06.30	17	140	26	19	3	0	30	2	3	751	2	993	632
06.30-06.45	27	101	28	23	6	2	32	1	1	985	0	1206	728.7
06.45-07.00	30	141	24	21	5	1	34	3	3	1135	2	1399	849.5
07.00-07.15	22	112	22	30	5	0	35	7	5	921	1	1160	724
07.15-07.30	23	132	21	23	11	1	31	3	2	901	1	1149	718.1
07.30-07.45	40	118	20	24	4	3	27	2	2	825	0	1065	667.5
07.45-08.00	39	115	20	27	4	3	41	9	5	754	0	1017	669.2
08.00-08.15	37	118	19	30	5	4	43	9	6	660	1	932	633.1
08.15-08.30	30	137	15	31	13	1	33	3	2	615	1	881	594.7
08.30-08.45	38	130	21	31	10	2	36	4	2	522	0	796	557.4
08.45-09.00	26	192	18	30	12	0	39	7	3	534	0	861	621.7
09.00-09.15	25	130	19	32	15	0	29	6	3	513	1	773	541.2
09.15-09.30	16	125	19	17	9	1	29	5	1	491	0	713	487
09.30-09.45	19	126	16	38	10	1	42	6	3	480	2	743	528.9
09.45-10.00	17	199	21	33	15	0	34	5	3	489	0	816	597.2
10.00-10.15	29	167	24	25	9	1	28	3	4	472	0	762	546.2
10.15-10.30	24	135	24	31	9	0	57	3	3	456	0	742	541.6
10.30-10.45	17	166	22	35	11	0	47	4	0	473	2	777	563.1
10.45-11.00	26	135	22	30	9	0	42	2	2	341	1	610	460.1
11.00-11.15	29	120	17	39	3	2	38	10	4	413	0	675	496
11.15-11.30	29	133	21	41	5	0	43	3	5	436	0	716	521.4
11.30-11.45	39	117	22	41	4	0	53	6	3	489	0	774	556.4
11.45-12.00	41	129	24	41	10	0	68	5	2	392	0	712	548.4
12.00-12.15	45	172	23	51	6	0	71	4	5	544	0	921	682.3
12.15-12.30	32	149	30	55	10	0	48	8	6	452	0	790	597.4
12.30-12.45	52	139	29	41	9	3	59	6	2	533	0	873	637.6
12.45-13.00	43	148	31	40	8	0	39	6	6	476	0	797	586.7
13.00-13.15	29	145	27	41	5	1	42	8	3	473	1	775	564.4
13.15-13.30	22	126	27	39	5	1	43	5	3	538	1	810	564.2
13.30-13.45	49	136	20	35	7	3	32	6	2	453	0	743	538.5
13.45-14.00	39	144	18	30	3	1	39	8	2	363	2	649	490
14.00-14.15	29	166	17	30	4	0	29	4	3	398	1	681	499.2
14.15-14.30	30	167	38	31	11	2	28	6	0	388	0	701	527.5
14.30-14.45	35	197	18	41	12	1	43	5	2	394	1	749	577.7
14.45-15.00	32	188	12	38	10	1	35	4	3	445	1	769	568.8
15.00-15.15	44	167	21	31	11	1	52	9	0	468	0	804	600.4
15.15-15.30	39	179	16	24	6	2	36	6	0	453	0	761	554.9
15.30-15.45	47	166	11	38	7	0	29	5	0	474	0	777	557.2
15.45-16.00	49	189	14	27	8	0	26	6	1	514	1	835	596.3
16.00-16.15	59	162	13	19	4	1	39	3	1	439	3	743	540
16.15-16.30	43	130	24	40	7	2	43	1	2	560	1	853	592.5
16.30-16.45	48	177	28	47	10	0	29	2	4	744	0	1089	736.7
16.45-17.00	55	182	31	33	5	1	34	5	4	628	0	978	686
17.00-17.15	48	144	27	31	11	2	26	4	5	538	0	836	589.9
17.15-17.30	44	183	19	31	4	1	21	7	5	492	0	807	581.6
17.30-17.45	54	150	23	27	8	0	27	1	6	496	1	793	563.6
17.45-18.00	49	166	27	26	5	0	19	5	7	442	0	746	545.2
18.00-18.15	44	169	18	21	7	1	30	6	1	459	0	756	546.3
18.15-18.30	35	155	9	32	6	1	17	6	5	454	0	720	512.4
18.30-18.45	67	192	11	24	9	2	26	5	3	489	1	829	604.9
18.45-19.00	46	163	8	22	4	0	30	4	2	443	0	722	517.5



Gambar 4.2 Grafik Volume Arus Lalu Lintas Jl. Nasional KM 68 Arah Surabaya - Malang

### 4.3 Data Kecepatan Kendaraan

Survey kecepatan dilakukan pada hari yang sama dengan survey volume lalu lintas. Dengan mengambil sampel kendaraan masing-masing :

- Sepeda motor diambil 10 sampel
- Kendaraan ringan diambil 10 sampel
- Kendaraan berat menengah diambil 10 sampel
- Bus besar diambil 5 sampel
- Truk besar diambil 5 sampel

Perhitungan kecepatan kendaraan yang digunakan adalah kecepatan rata-rata kendaraan, yaitu dengan membagi jarak dengan waktu tempuh. Adapun data kecepatan kendaraan diwakilkan pada tabel dibawah ini.

*Tabel 4.2 Kecepatan Arah Surabaya – Malang Km 68*

Survey Kecepatan Ruas Jalan Purwodadi – Lawang					
Arah Surabaya – Malang					
No	Jam di titik 1	Jam di titik 2	Jarak (m)	Waktu Tempuh detik	Kecepatan (km/jam)
1	7:33:00	7:33:06	100	6	60
2	7:33:04	7:33:10	100	6	60
3	7:33:07	7:33:12	100	5	72
4	7:33:08	7:33:14	100	6	60
5	7:33:09	7:33:15	100	6	60
6	7:33:13	7:33:19	100	6	60
7	7:33:22	7:33:30	100	8	45
8	7:33:40	7:33:46	100	6	60
9	7:33:58	7:34:05	100	7	51.42857143
10	7:34:07	7:34:13	100	6	60
Kecepatan Rata-Rata					58.84285714

## BAB V

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas evaluasi kemacetan pada ruas jalan Purwodadi - Lawang dengan menggunakan CTM, Serta biaya operasi kendaraan dan nilai waktu.

#### 5.1 Analisa Panjang Sel Pada Metode CTM

Model transmisi sel digunakan untuk memprediksi panjang antrian dan juga lama waktu yang dibutuhkan untuk lalu lintas dapat berjalan normal kembali setelah mengalami antrian. Pada pemodelan transmisi sel, ruas jalan dibagi atas sel-sel yang berisi kendaraan, selanjutnya kendaraan dalam sel merambat ke sel sebelahnya pada interval satu satuan *clock tick*.

Diketahui :

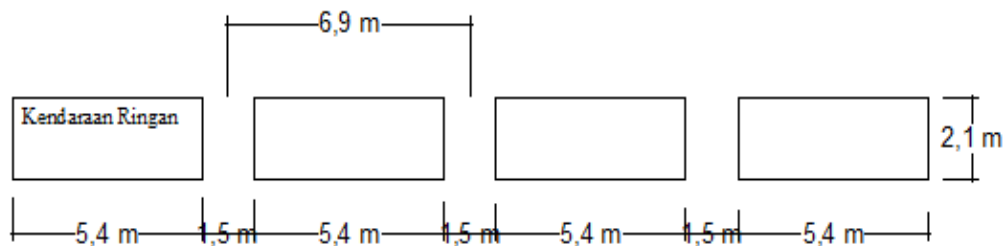
Clock tick :  $3 \text{ sec} = 1/1200^{th}$

Panjang jalan : 1 km

Kecepatan → Pada arah Surabaya ke Malang  $v : 51,18 \approx 51,2 \text{ kmph}$

→ Pada arah Malang ke Surabaya  $v : 51,51 \approx 51,5 \text{ kmph}$

##### 1. Kepadatan Macet



Gambar 5.1 Ukuran Standar Kendaraan Ringan

$$\begin{aligned} \text{Kepadatan Macet} &= \frac{1000 \text{ m}}{Lp} = \frac{1000 \text{ m}}{6,9} \\ &= 144,92 \approx 144 \text{ kendaraan ringan} = 144 \text{ smp} \end{aligned}$$

2. Menentukan Panjang Sel, Kapasitas Kendaraan, Jumlah Max. Kendaraan Memasuki Sel (Arah Malang) :

a) Panjang Sel Pada Metode CTM

Besarnya panjang sel pada metode CTM merupakan hasil perkalian kecepatan arus bebas dengan unit waktu (clock tick).

$$\begin{aligned} \text{Panjang sel} &= \text{kecepatan rata-rata} \times \text{interval waktu (clock tick)} \\ &= 51,2 \text{ km/jam} \times 3 \text{ detik} \\ &= 51.200 \text{ m/jam} \times 3/3600 \text{ jam} = 42,67 \approx 42 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah sel} &= \text{panjang ruas} / \text{panjang sel} \\ &= 1000/42 = 23,8 \approx 23 \text{ sel} \end{aligned}$$

b) Kapasitas Kendaraan Pada Sel (N)

Kapasitas sel adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat terisi pada sel. Kapasitas sel merupakan hasil perkalian panjang sel (*cell length*) dengan kepadatan macet (*jam density*).

$$\begin{aligned} N_i &= \text{panjang sel} \times \text{kepadatan jenuh} \times \text{jumlah lajur} \\ &= 42 \text{ m} \times 144 \text{ smp/Km} \times 2 \text{ lajur} \\ &= 42 \text{ m} \times 144/1000 \text{ smp/Km} \times 2 \text{ smp/m} \\ &= 12,096 \approx 12 \text{ smp} \end{aligned}$$

c) Jumlah Maksimum Kendaraan Memasuki Sel (Q)

Jumlah maksimum kendaraan memasuki sel dalam satu satuan waktu (*clock tick*). Jumlah maksimum kendaraan memasuki sel diperoleh dengan



mengalikan besar arus jenuh sel (*cell's saturated flow*) dengan satu satuan waktu (*clock tick*).

$$Q_i = \text{ arus jenuh sel (cell's saturated flow) x interval waktu (clock tick) x } \\ \text{ jumlah lajur} \\ = 3020 \text{ smp/jam x } 3/3600 \text{ x } 2 = 5,03 \text{ smp} \approx 5 \text{ smp}$$

3. Menentukan Panjang Sel, Kapasitas Kendaraan, Jumlah Max. Kendaraan Memasuki Sel (Arah Surabaya) :

a. Panjang Sel Pada Metode CTM

Besarnya panjang sel pada metode CTM merupakan hasil perkalian kecepatan arus bebas dengan unit waktu (*clock tick*).

$$\text{Panjang sel} = \text{kecepatan rata-rata x interval waktu (clock tick)} \\ = 51,5 \text{ km/jam x 3 detik} \\ = 51.500 \text{ m/jam x } 3/3600 \text{ jam} = 42,91 \approx 42 \text{ meter}$$

$$\text{Jumlah sel} = \text{panjang ruas / panjang sel} \\ = 1000/42 = 23,8 \approx 23 \text{ sel}$$

b. Kapasitas Kendaraan Pada Sel (N)

Kapasitas sel adalah jumlah maksimum kendaraan yang dapat terisi pada sel. Kapasitas sel merupakan hasil perkalian panjang sel (*cell length*) dengan kepadatan macet (*jam density*).

$$N_i = \text{panjang sel x kepadatan jenuh x jumlah lajur} \\ = 42 \text{ m x } 144 \text{ smp/Km x } 2 \text{ lajur} \\ = 42 \text{ m x } 144/1000 \text{ smp/Km x } 2 \text{ smp/m} \\ = 12,096 \approx 12 \text{ smp}$$

c. Jumlah Maksimum Kendaraan Memasuki Sel (Q)

Jumlah maksimum kendaraan memasuki sel dalam satu satuan waktu (*clock tick*). Jumlah maksimum kendaraan memasuki sel diperoleh dengan mengalikan besar arus jenuh sel (*cell's saturated flow*) dengan satu satuan waktu (*clock tick*).

$$Q_i = \text{ arus jenuh sel (cell's saturated flow) } \times \text{ interval waktu (clock tick) } \times \text{ jumlah lajur}$$

$$= 2767 \text{ smp/jam} \times 3/3600 \times 2 = 4,61 \text{ smp} \approx 4 \text{ smp}$$

**5.2 Analisa Hunian**

Pada perhitungan hunian sel ini didapat dari rekaman video dengan pengolahan data volume masuk dan volume keluar kendaraan yang dibagi atas masing-masing kendaraan. Untuk lebih jelasnya dilihat perhitungan pada tabel dibawah ini.

*Tabel 5.1 Pengolahan Data Volume Lalu Lintas Untuk Menentukan Q in Total, Q out Total dan Hunian Dengan Satuan SMP*

t	Δt=3	LV		LB		MHV		LT		MC		q in total (smp)	q out total (smp)	Hunian (smp)	q in total (smp)	q out total (smp)	Hunian (smp)
		q in	q out	q in	q out	q in	q out	q in	q out	q in	q out						
1	(1)3	0	0							1	1	0,5	0,5	0	1	1	0
2	6	1	1							0	0	1	1	0	1	1	0
3	9	0	0							1	0	0,5	0	0,5	1	0	1
4	12	0	0							1	1	0,5	0,5	0,5	1	1	1
5	15	1	0							1	2	1,5	1	1	2	1	2
6	18	0	1							1	1	0,5	1,5	0	1	2	1
7	21	2	1							0	0	2	1	1	2	1	2
8	24	1	1					1		1	0	3,5	1	3,5	4	1	5
9	27	1	1					1		0	1	1	3,5	1	1	4	2
10	30	1	2							1	0	1,5	2	0,5	2	2	2
11	33	3	0							0	1	3	0,5	3	3	1	4
12	36	1	4							0	0	1	4	0	1	4	1
13	39	2	0							2	0	3	0	3	3	0	4
14	42	1	2							3	2	2,5	3	2,5	3	3	4
15	45	1	1							2	3	2	2,5	2	2	3	3
16	48	3	1							1	2	3,5	2	3,5	4	2	5
17	51	3	3					1		3	1	6,5	3,5	6,5	7	4	8
18	54	0	2			1				2	3	2,3	3,5	5,3	3	4	7
19	57	1	1			1	1			3	2	3,8	3,3	5,8	4	4	7
20	60	0	1			1		1	0	2		1,3	4	3,1	2	4	5

- a. Perhitungan q in total dan q out total

Untuk menentukan q in total diperlukan q in LV (kendaraan ringan), LB (bus besar), MHV (kendaraan berat menengah), LT (kendaraan Berat) dan MC (sepeda motor) dengan contoh perhitungan dibawah ini :

$$\begin{aligned} Q \text{ in total} &= q \text{ in LV} \times 1,0 + q \text{ in LB} \times 1,5 + q \text{ in MHV} \times 1,3 + q \text{ in LT} \times \\ &2,0 + q \text{ in MC} \times 0,5 \\ &= 0 \times 1,0 + 0 \times 1,5 + 0 \times 1,3 + 0 \times 2,0 + 1 \times 0,5 \\ &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0,5 \\ &= 0,5 \approx 1 \text{ smp} \end{aligned}$$

- b. Perhitungan Hunian

Pada perhitungan hunian ini menggunakan data q in total, q out total dan hunian sebelumnya. Contoh perhitungan dibawah ini :

$$\begin{aligned} \text{Hunian} &= q \text{ in total} - q \text{ out total} + \text{hunian sebelumnya} \\ &= 1 - 1 + 0 \\ &= 0 \text{ smp} \end{aligned}$$

### 5.3 Perhitungan Tingkat Hunian

Simulasi tidak perlu dimulai dalam urutan tertentu, itu bisa dimulai dari setiap sel di baris yang sesuai dengan jam saat itu. Sekarang, pertimbangkan sel dilingkari (sel 2 pada waktu 2) di akhir tabel. Secara hukum konservasi aliran: Hunian = Penyimpanan + Inflow - Outflow. Perhatikan bahwa Storage adalah hunian sel yang sama dari sebelumnya jam tick. Juga keluar dari satu sel sama dengan masuknya sel hanya berhasil.

Tabel 5.2 Perhitungan Tingkat Hunian Pada Model CTM

	Q	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		
	N	999	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Waktu (s)	clock tick	Qmasuk	Sel-1	Sel-2	Sel-3	Sel-4	Sel-5	Sel-6	Sel-7	Sel-8	Sel-9	Sel-10	Sel-11	Sel-12	Sel-13	Sel-14	Sel-15	Sel-16	Sel-17	Sel-18	Sel-19	Sel-20	Sel-21	Sel-22	Sel-23	Qkeluar	
0		0																										
3		1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	1	4	4	3	5	8	7	7	5	3	5	4	5	
6		2	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	1	4	4	4	7	7	7	5	5	3	5	5	
9		3	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	1	4	4	6	7	7	5	5	5	3	5	
12		4	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	1	4	5	7	7	5	5	5	5	5	
15		5	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	1	4	7	7	5	5	5	5	5	
18		6	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	1	6	7	5	5	5	5	5	
21		7	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	2	7	5	5	5	5	5	
24		8	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	4	5	5	5	5	5	
27		9	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	4	5	5	5	5	
30		10	2	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	4	5	5	5	
33		11	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	4	5	5	
36		12	1	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	4	5	5	
39		13	3	1	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	4	4	5	
42		14	3	3	1	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	2	5	
45		15	2	3	3	1	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	2	5	
48		16	4	2	3	3	1	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	5	
51		17	7	4	2	3	3	1	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	2	5	
54		18	3	5	4	2	3	3	1	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	5	
57		19	4	3	5	4	2	3	3	1	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	5	
60		20	2	4	3	5	4	2	3	3	1	3	2	1	4	2	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1	5	

Perhitungan pada sel 1 clock tick ke-2 menggunakan persamaan :

Sel 1 = MIN (1 Qmasuk clock tick pertama, 5 max dapat mengalir,(12 kapasitas max sel – 0 hunian diatasnya)) – MIN (0 hunian diatasnya, 5 max dapat mengalir, (12 kapasitas max sel – 0 hunian diatasnya pada sel berikutnya)) + (0 hunian diatasnya)

$$\begin{aligned}
 \text{Sel 1} &= \text{MIN}(1,5,(12-0) - \text{MIN}(0,5,(12-0)) + 0 \\
 &= 1 - 0 + 0 \\
 &= 1 \text{ smp}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan diatas sama dengan perhitungan selanjutnya sampai dengan sel 22, sedangkan sel terakhir menggunakan persamaan dibawah ini :

Sel 23 = MIN (5 hunian diatasnya pada sel sebelumnya, 5 max dapat mengalir,(12 kapasitas max sel – 4 hunian diatasnya)) – MIN (4 hunian diatasnya, 5 kendaraan keluar) + (4 hunian diatasnya)

$$\begin{aligned}
 \text{Sel 23} &= \text{MIN}(5,5,(12-4) - \text{MIN}(4,5)) + 4 \\
 &= 5 - 4 + 4 \\
 &= 5 \text{ smp}
 \end{aligned}$$







Diatas bisa dilihat jika ruas jalan arah Surabaya – Malang ditutup selama 5 menit dengan ditandai warna merah, dan untuk untuk lalu lintas kembali merambat ditandai pada warna hijau, maka waktu yg dibutuhkan untuk normal kembali yaitu :

a. Jalan tertutup 100% selama 5 menit arah (Surabaya – Malang)

$$\begin{aligned}\text{Jalan ditutup} &= \text{clock tick} \times \text{jumlah merah} / 60 \\ &= 3 \times 100 / 60 \\ &= 5 \text{ menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu normal} &= \text{clock tick} \times \text{jumlah hijau} / 60 \\ &= 3 \times 61 / 60 \\ &= 3,05 \text{ menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tundaan} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 10,0475 / 228 \\ &= 0,044 \text{ Jam} = 2,644 \text{ menit}\end{aligned}$$

b. Jalan tertutup 100% selama 10 menit arah (Surabaya – Malang)

$$\begin{aligned}\text{Jalan ditutup} &= \text{clock tick} \times \text{jumlah merah} / 60 \\ &= 3 \times 200 / 60 \\ &= 10 \text{ menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu normal} &= \text{clock tick} \times \text{jumlah hijau} / 60 \\ &= 3 \times 119 / 60 \\ &= 5,95 \text{ menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tundaan} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 49,1542 / 528 \\ &= 0,0931 \text{ Jam} = 5,585 \text{ menit}\end{aligned}$$



c. Jalan tertutup 100% selama 30 menit arah (Surabaya – Malang)

Jalan ditutup = clock tick x jumlah merah / 60

$$= 3 \times 600 / 60$$

$$= 30 \text{ menit}$$

Waktu normal = clock tick x jumlah hijau / 60

$$= 3 \times 367 / 60$$

$$= 18,35 \text{ menit}$$

Tundaan = total tundaan rata-rata kendaraan / jumlah kendaraan

$$= 403,981 / 1524$$

$$= 0,265 \text{ Jam} = 15,9048 \text{ menit}$$

d. Jalan tertutup 100% selama 60 menit arah (Surabaya – Malang)

Jalan ditutup = clock tick x jumlah merah / 60

$$= 3 \times 1200 / 60$$

$$= 60 \text{ menit}$$

Waktu normal = clock tick x jumlah hijau / 60

$$= 3 \times 740 / 60$$

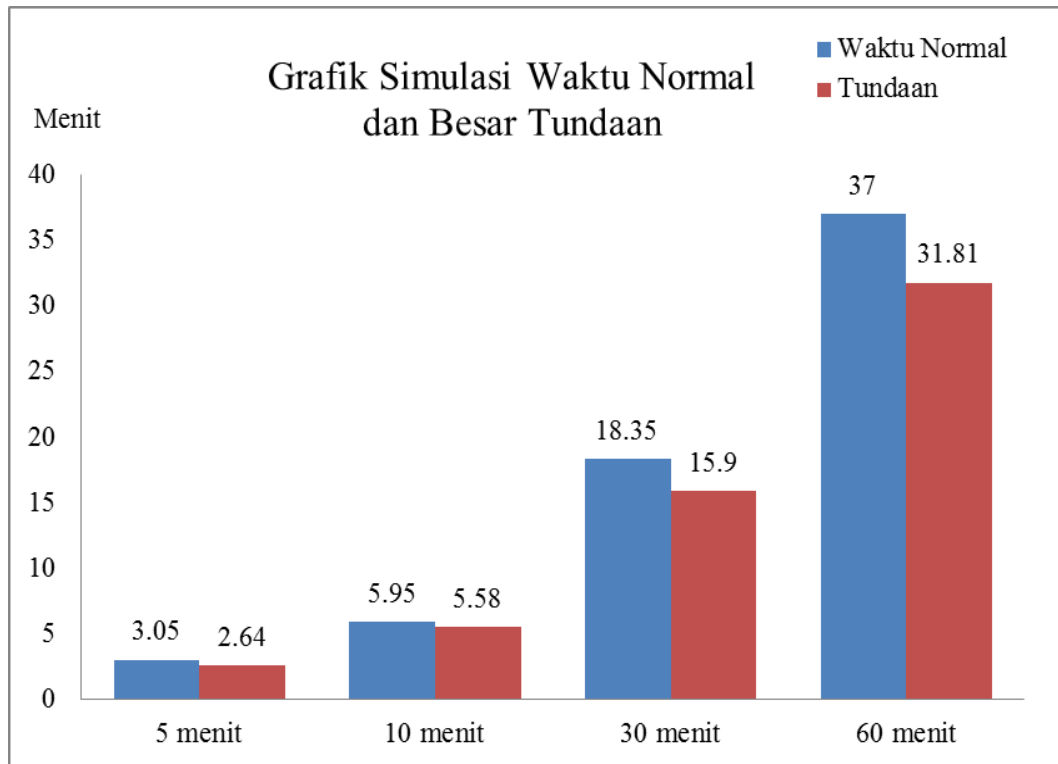
$$= 37 \text{ menit}$$

Tundaan = total tundaan rata-rata kendaraan / jumlah kendaraan

$$= 1648,26 / 3108$$

$$= 0,53 \text{ Jam} = 31,819 \text{ menit}$$

Untuk mengetahui simulasi besar waktu yang dibutuhkan kembali normal pada ruas jalan Purwodadi – Lawang (arah Surabaya – Malang) saat terjadi kemacetan yang diakibatkan oleh kecelakaan lalu lintas dengan kurun waktu penyumbatan selama 5, 10, 30 dan 60 menit dapat dilihat pada grafik 5.1



*Gambar 5.2 Grafik Simulasi Waktu Normal Kembali Dengan Penutup Jalan 100% Arah Surabaya – Malang*







Diatas bisa dilihat jika ruas jalan arah Malang - Surabaya ditutup selama 5 menit dengan ditandai warna merah, dan untuk untuk lalu lintas kembali merambat ditandai pada warna hijau, maka waktu yg dibutuhkan untuk normal kembali yaitu :

a. Jalan tertutup 100% selama 5 menit arah (Malang – Surabaya)

$$\begin{aligned}\text{Jalan ditutup} &= \text{clock tick} \times \text{jumlah merah} / 60 \\ &= 3 \times 100 / 60 \\ &= 5 \text{ menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu normal} &= \text{clock tick} \times \text{jumlah hijau} / 60 \\ &= 3 \times 77 / 60 \\ &= 3,85 \text{ menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tundaan} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 8,88 / 204 \\ &= 0,0435 \text{ Jam} = 2,612 \text{ menit}\end{aligned}$$

b. Jalan tertutup 100% selama 10 menit arah (Malang – Surabaya)

$$\begin{aligned}\text{Jalan ditutup} &= \text{clock tick} \times \text{jumlah merah} / 60 \\ &= 3 \times 200 / 60 \\ &= 10 \text{ menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu normal} &= \text{clock tick} \times \text{jumlah hijau} / 60 \\ &= 3 \times 149 / 60 \\ &= 7,45 \text{ menit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tundaan} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 32,013 / 408 \\ &= 0,0785 \text{ Jam} = 4,7077 \text{ menit}\end{aligned}$$

c. Jalan tertutup 100% selama 30 menit arah (Malang – Surabaya)

$$\text{Jalan ditutup} = \text{clock tick} \times \text{jumlah merah} / 60$$

$$= 3 \times 600 / 60$$

$$= 30 \text{ menit}$$

$$\text{Waktu normal} = \text{clock tick} \times \text{jumlah hijau} / 60$$

$$= 3 \times 476 / 60$$

$$= 23,8 \text{ menit}$$

$$\text{Tundaan} = \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan}$$

$$= 319,42 / 1248$$

$$= 0,255 \text{ Jam} = 15,356 \text{ menit}$$

d. Jalan tertutup 100% selama 30 menit arah (Malang – Surabaya)

$$\text{Jalan ditutup} = \text{clock tick} \times \text{jumlah merah} / 60$$

$$= 3 \times 1200 / 60$$

$$= 60 \text{ menit}$$

$$\text{Waktu normal} = \text{clock tick} \times \text{jumlah hijau} / 60$$

$$= 3 \times 961 / 60$$

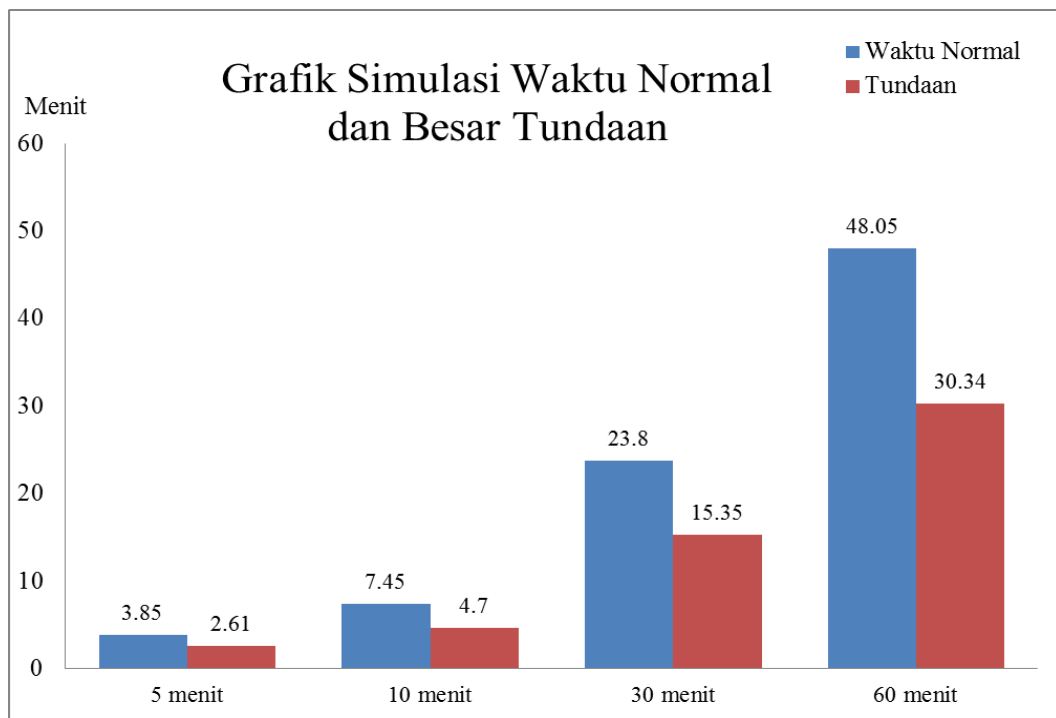
$$= 48,05 \text{ menit}$$

$$\text{Tundaan} = \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan}$$

$$= 1262,32 / 2496$$

$$= 0,505 \text{ Jam} = 30,344 \text{ menit}$$

Untuk mengetahui simulasi besar waktu yang dibutuhkan kembali normal pada ruas jalan Purwodadi – Lawang (arah Malang - Surabaya) saat terjadi kemacetan yang diakibatkan oleh kecelakaan lalu lintas dengan kurun waktu penyumbatan selama 5, 10, 30 dan 60 menit dapat dilihat pada grafik 5.2



Gambar 5.3 Grafik Simulasi Waktu Normal Kembali Dengan Penutup Jalan 100% Arah Malang – Surabaya.

### 1. Analisa Kapasitas Jalan

Untuk jalan terbagi analisa dilakukan terpisah pada masing-masing arah lalu lintas, seolah-olah masing-masing arah merupakan jalan satu arah yang terpisah (MKJI'97).

Sebagai contoh perhitungan JL. Raya Purwodadi mempunyai tipe jalan empat lajur dua arah terbagi (4/2 D), lebar jalur lalu lintas 7m, panjang



ruas 4000 m, kelas hambatan samping sangat tinggi (VH) dan faktor pemisah arah 60%-40% = 0,95, maka didapat :

$$\begin{aligned} C_o &= \text{Kapasitas dasar pada jalan luar kota} \\ &= 1900 \text{ (smp/jam/lajur) (tabel C-1:1 MKJI '97)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_w &= \text{Faktor penyesuaian kapasitas akibat lebar jalur lalu lintas} \\ &= 1,00 \text{ (tabel C-2:1 MKJI '97)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{sp} &= \text{Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisah arah} \\ &= 1,00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FC_{sf} &= \text{Faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping} \\ &= 0,96 \end{aligned}$$

Kapasitas ruas JL. Purwodadi adalah :

$$\begin{aligned} C &= C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \\ &= 3800 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,96 = 3648 \text{ smp/jam} \end{aligned}$$

2. Derajat kejenuhan DS didefinisikan sebagai ratio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Dalam studi ini dilakukan analisa tingkat pelayanan dengan menggunakan nilai kapasitas, selanjutnya dihitung ratio antara Q dan C yaitu Derajat Kejenuhan (DS) :

Berdasarkan tabel simulasi diatas dengan lajur tertutup 100% diketahui bahwa kondisi tersebut pada Derajat Kejenuhan (DS) :

$$\text{Arah Surabaya – Malang : } DS = \frac{Q}{C} = \frac{2122}{3648} = 0,58$$

$$\text{Arah Malang – Surabaya : } DS = \frac{Q}{C} = \frac{2219}{3648} = 0,60$$

#### 5.4 Analisa Biaya Operasi Kendaraan

Pada studi, besarnya konsumsi bahan bakar tergantung pada lamanya tundaan. Makin lama tundaan, semakin besar pula biaya konsumsi bahan bakar. Secara garis besar biaya konsumsi bahan bakar diperoleh dengan mengalikan beberapa variable yaitu lamanya tundaan, konsumsi bahan bakar dalam keadaan diam, dan jumlah kendaraan yang mengalami tundaan. Perhitungan BOK pada studi kali ini dijelaskan pada perhitungan berikut :

a) Arah Surabaya – Malang :

$$\begin{aligned} \text{Tundaan 5menit} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 10,0475 \text{ smp.jam} / 228\text{smp} \\ &= 0,044 \text{ jam} \approx 2,64 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tundaan 10menit} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 49,1542 / 528 \\ &= 0,0931 \text{ Jam} = 5,585 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tundaan 30menit} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 403,981 / 1524 \\ &= 0,265 \text{ Jam} = 15,904 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tundaan 60menit} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 1648,26 / 3108 \\ &= 0,53 \text{ Jam} = 31,819 \text{ menit} \end{aligned}$$

*Tabel 5.5 Prosentase Besar Tundaan Volume Kendaraan Pada Ruas Jalan Arah Surabaya – Malang Dalam Waktu 5, 10, 30, 60 Menit.*

Tertutup	Jenis Kendaraan	Volume (smp)	Proporsi (%)	kend	smp	Total Kendaraan
5 menit	LV	106	48.8479	111.373	111.373	228
	MHV	18	8.29493	18.9124	14.548	
	LB	1	0.46083	1.05069	0.70046	
	LT	3	1.38249	3.15207	1.57604	
	MC	89	41.0138	93.5115	187.023	
10 menit	LV	106	48.8479	257.917	257.917	528
	MHV	18	8.29493	43.7972	33.6902	
	LB	1	0.46083	2.43318	1.62212	
	LT	3	1.38249	7.29954	3.64977	
	MC	89	41.0138	216.553	433.106	
30 menit	LV	106	48.8479	744.442	744.442	1524
	MHV	18	8.29493	126.415	97.2421	
	LB	1	0.46083	7.02304	4.68203	
	LT	3	1.38249	21.0691	10.5346	
	MC	89	41.0138	625.051	1250.1	
60 menit	LV	106	48.8479	1518.19	1518.19	3108
	MHV	18	8.29493	257.806	198.313	
	LB	1	0.46083	14.3226	9.54839	
	LT	3	1.38249	42.9677	21.4839	
	MC	89	41.0138	1274.71	2549.42	

b) Arah Malang – Surabaya :

$$\begin{aligned} \text{Tundaan} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 8,88 / 204 \\ &= 0,0435 \text{ Jam} = 2,612 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tundaan} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 32,013 / 408 \\ &= 0,0785 \text{ Jam} = 4,7077 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tundaan} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 319,42 / 1248 \\ &= 0,255 \text{ Jam} = 15,356 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tundaan} &= \text{total tundaan rata-rata kendaraan} / \text{jumlah kendaraan} \\ &= 1262,32 / 2496 \\ &= 0,505 \text{ Jam} = 30,344 \text{ menit} \end{aligned}$$

*Tabel 5.6 Prosentase Besar Tundaan Volume Kendaraan Pada Ruas Jalan Arah Malang - Surabaya Dalam Waktu 5, 10, 30, 60 Menit.*

Tertutup	Jenis Kendara	volume (smp)	Proporsi (%)	kend	smp	Total Kendaraan
5 menit	LV	82	40.796	83.223881	83.223881	204
	MHV	11	5.47264	11.164179	8.5878301	
	LB	3	1.49254	3.0447761	2.0298507	
	LT	1	0.49751	1.0149254	0.5074627	
	MC	104	51.7413	105.55224	211.10448	
10 menit	LV	82	40.796	166.44776	166.44776	408
	MHV	11	5.47264	22.328358	17.17566	
	LB	3	1.49254	6.0895522	4.0597015	
	LT	1	0.49751	2.0298507	1.0149254	
	MC	104	51.7413	211.10448	422.20896	
30 menit	LV	82	40.796	509.13433	509.13433	1248
	MHV	11	5.47264	68.298507	52.537313	
	LB	3	1.49254	18.626866	12.41791	
	LT	1	0.49751	6.2089552	3.1044776	
	MC	104	51.7413	645.73134	1291.4627	
60 menit	LV	82	40.796	1018.2687	1018.2687	2496
	MHV	11	5.47264	136.59701	105.07463	
	LB	3	1.49254	37.253731	24.835821	
	LT	1	0.49751	12.41791	6.2089552	
	MC	104	51.7413	1291.4627	2582.9254	

*Tabel 5.7 Kerugian Biaya Operasi Kendaraan Jika Terjadi Kemacetan Lalu Lintas Pada Arah Surabaya – Malang*

Jenis Kend.	BBK	Harga	Konsumsi Bahan Bakar			Selama 5 menit			Selama 10 menit		
			(liter/jam)	(Rp/jam)	(Rp/menit)	Tundaan	Volume	Total Biaya	Tundaan	Volume	Total Biaya
MC	Bensin	6450	0.144	Rp929	Rp15	2.64	93	Rp3,800.65	5.58	216	Rp18,657.73
LV	Bensin	6450	0.396	Rp2,554	Rp43	2.64	111	Rp12,474.71	5.58	257	Rp61,047.93
MHV	Solar	5150	0.647	Rp3,332	Rp56	2.64	18	Rp2,638.98	5.58	43	Rp13,324.87
LT	Solar	5150	0.818	Rp4,213	Rp70	2.64	3	Rp556.08	5.58	7	Rp2,742.47
LB	Solar	5150	0.916	Rp4,717	Rp79	2.64	1	Rp207.57	5.58	2	Rp877.44
Total Biaya Operasi Kendaraan								Rp19,677.99			Rp96,650.44
Jenis Kend.	BBK	Harga	Konsumsi Bahan Bakar			Selama 30 menit			Selama 60 menit		
			(liter/jam)	(Rp/jam)	(Rp/menit)	Tundaan	Volume	Total Biaya	Tundaan	Volume	Total Biaya
MC	Bensin	6450	0.144	Rp929	Rp15	15.9	625	Rp153,832.50	31.81	1274	Rp627,341.55
LV	Bensin	6450	0.396	Rp2,554	Rp43	15.9	744	Rp503,586.07	31.81	1518	Rp2,055,602.28
MHV	Solar	5150	0.647	Rp3,332	Rp56	15.9	126	Rp111,257.15	31.81	257	Rp454,001.25
LT	Solar	5150	0.818	Rp4,213	Rp70	15.9	21	Rp23,443.68	31.81	42	Rp93,804.19
LB	Solar	5150	0.916	Rp4,717	Rp79	15.9	7	Rp8,750.78	31.81	14	Rp35,014.12
Total Biaya Operasi Kendaraan								Rp 800,870.17			Rp3,265,763.39

*Tabel 5.8 Kerugian Biaya Operasi Kendaraan Jika Terjadi Kemacetan Lalu Lintas Pada Arah Malang - Surabaya*

Jenis Kend.	BBK	Harga	Konsumsi Bahan Bakar			Selama 5 menit			Selama 10 menit		
			(liter/jam)	(Rp/jam)	(Rp/menit)	Tundaan	Volume	Total Biaya	Tundaan	Volume	Total Biaya
MC	Bensin	6450	0.144	Rp929	Rp15	2.61	105	Rp4,242.29	4.70	211	Rp15,351.52
LV	Bensin	6450	0.396	Rp2,554	Rp43	2.61	83	Rp9,221.94	4.70	166	Rp33,213.11
MHV	Solar	5150	0.647	Rp3,332	Rp56	2.61	11	Rp1,594.39	4.70	22	Rp5,742.23
LT	Solar	5150	0.818	Rp4,213	Rp70	2.61	1	Rp183.25	4.70	2	Rp659.99
LB	Solar	5150	0.916	Rp4,717	Rp79	2.61	3	Rp615.62	4.70	6	Rp2,217.18
Total Biaya Operasi Kendaraan								Rp15,857.49			Rp57,184.03
Jenis Kend.	BBK	Harga	Konsumsi Bahan Bakar			Selama 30 menit			Selama 60 menit		
			(liter/jam)	(Rp/jam)	(Rp/menit)	Tundaan	Volume	Total Biaya	Tundaan	Volume	Total Biaya
MC	Bensin	6450	0.144	928.8	Rp15.48	15.35	645	Rp153,263.61	30.34	1291	Rp606,335.19
LV	Bensin	6450	0.396	2554.2	Rp42.57	15.35	509	Rp332,605.80	30.34	1018	Rp1,314,822.13
MHV	Solar	5150	0.647	3332.05	Rp55.53	15.35	68	Rp57,966.56	30.34	136	Rp229,147.30
LT	Solar	5150	0.818	4212.7	Rp70.21	15.35	6	Rp6,466.49	30.34	12	Rp25,562.66
LB	Solar	5150	0.916	4717.4	Rp78.62	15.35	18	Rp21,723.63	30.34	37	Rp88,260.98
Total Biaya Operasi Kendaraan								Rp572,026.09			Rp2,264,128.26

Diatas merupakan hasil dari perhitungan biaya operasi kendaraan yg mengalami tundaan akibat adanya kemacetan yg ditimbulkan oleh kecelakaan lalu lintas sehingga menimbulkan kerugian material, dapat dilihat pada tabel 5.7 arah (Surabaya – Malang) besar kerugian biaya pada 5 menit terjadi gangguan jalan tertutup seluruhnya dengan nilai sebesar Rp 19.677,- , pada 10 menit tertutup kerugian material Rp 96.650,- , pada 30 menit tertutup kerugian material Rp 800.870,- dan 60 menit tertutup kerugian material sebesar 3.265.763,- , untuk tabel 5.8 arah (Malang – Surabaya) dapat dilihat besar kerugian biaya pada 5 menit terjadi gangguan jalan tertutup seluruhnya dengan nilai sebesar Rp 15.857,- , pada 10 menit tertutup kerugian material Rp 57.184,- , pada 30 menit tertutup kerugian material Rp 572.026,- dan 60 menit tertutup kerugian material sebesar 2.264.128,-.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Waktu yang dibutuhkan untuk normal kembali saat terjadi kecelakaan lalu lintas adalah : berdasarkan karakteristik ruas jalan Purwodadi - Lawang berada pada kondisi arus lalu lintas yang lancar dengan DS (arah Surabaya - Malang) 0,58 dan (arah Malang - Surabaya) 0,60. Adapun waktu yang dibutuhkan untuk kembali normal saat terjadi kecelakaan lalu lintas dengan ruas jalan tertutup seluruhnya (arah Surabaya - Malang) selama :
  - a) 5 menit kembali normal selama 3,05 menit, tundaan 2,64 menit.
  - b) 10 menit kembali normal selama 5,95 menit, tundaan 5,58 menit.
  - c) 30 menit kembali normal selama 18,35 menit, tundaan 15,9 menit.
  - d) 60 menit kembali normal selama 37 menit, tundaan 31,81 menit.(arah Malang - Surabaya) tertutup selama :
  - a) 5 menit kembali normal selama 3,85 menit, tundaan 2,61 menit.
  - b) 10 menit kembali normal selama 7,45 menit, tundaan 4,7 menit.
  - c) 30 menit kembali normal selama 23,8 menit, tundaan 15,35 menit.
  - d) 60 menit kembali normal selama 48,05 menit, tundaan 30,34 menit.
2. Besar kerugian biaya bahan bakar akibat terjadinya kemacetan lalu lintas yang ditimbulkan oleh kecelakaan adalah : berdasarkan simulasi yang

terjadi maka besar kerugian biaya pada arah (Surabaya – Malang) besar kerugian biaya pada 5 menit terjadi gangguan jalan tertutup seluruhnya dengan nilai sebesar Rp 19.677,- , pada 10 menit tertutup kerugian material Rp 96.650,- , pada 30 menit tertutup kerugian material Rp 800.870,- dan 60 menit tertutup kerugian material sebesar 3.265.763,- , untuk tabel 5.8 arah (Malang – Surabaya) dapat dilihat besar kerugian biaya pada 5 menit terjadi gangguan jalan tertutup seluruhnya dengan nilai sebesar Rp 15.857,- , pada 10 menit tertutup kerugian material Rp 57.184,- , pada 30 menit tertutup kerugian material Rp 572.026,- dan 60 menit tertutup kerugian material sebesar Rp 2.264.128,-.

## **6.2 Saran**

1. Perlu adanya sosialisasi kepada masyarakat untuk selalu berhati – hati dalam berkendara untuk menghindari kecelakaan yang dapat menyebabkan kemacetan yang panjang.
2. Studi selanjutnya, disarankan dalam melakukan pengambilan data kecepatan kendaraan agar mengambil data lebih banyak lagi dan volume untuk mewakili keseluruhan karakteristik lalu lintas apabila terjadi kecelakaan.
3. Studi selanjutnya, disarankan agar lebih banyak mengambil data survey sel untuk berbagai kondisi sehingga, dapat dibuat pemodelan lebih banyak lagi.
4. Dengan melihat adanya kerugian material yg timbulkan, maka perlu adanya studi sehingga menjadi masukan bagi pemerintah untuk menjadi



solusi kedepannya apabila terjadi kecelakaan cepat dalam evakuasi dan perlu adanya jalur alternative pada ruas jalan Purwodadi – Lawang.

5. Untuk studi selanjutnya bisa dimodelkan real dilapangan.