



**SIMULASI LAMPU LALU LINTAS PINTAR  
MENGUNAKAN *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK***

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

**Oleh**

**Daryan Ramadhany**

**NIM.5301415056**

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2020**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Daryan Ramadhany

NIM : 5301415056

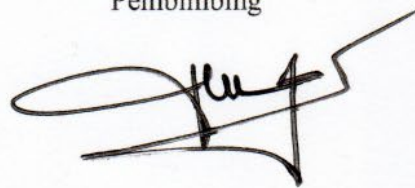
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro

Judul : Simulasi Lalu Lintas Pintar Menggunakan *Artificial Neural Network*

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Semarang, 25 Februari 2020

Pembimbing



Budi Sunarko, S.T, M.T., Ph.D

NIP. 197101042006041001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Simulasi Lalu Lintas Pintar Menggunakan *Artificial Neural Network*” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 25 bulan Februari tahun 2020.

Oleh

Nama : Daryan Ramadhany  
NIM : 5301415056  
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro, S1

### Panitia:

#### Ketua Panitia



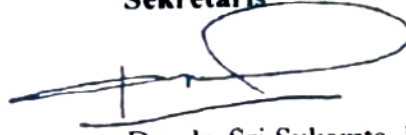
Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T., IPM  
NIP.196605051998022001

#### Penguji 1



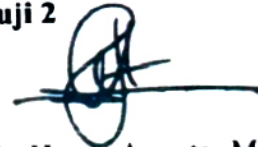
Drs. Yohannes Primadiyono, M.T.  
NIP. 196209021987031002

#### Sekretaris



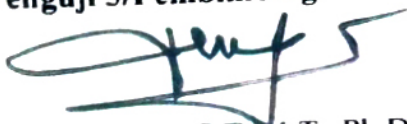
Drs. Ir. Sri Sukamta, M.Si., IPM  
NIP.196505081991031003

#### Penguji 2

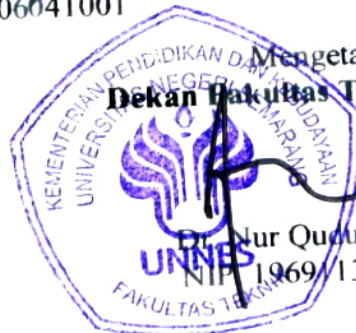


Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd. IPM  
NIP. 195907051986011002

#### Penguji 3/Pembimbing



Budi Sunarko, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197101042006041001



Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Nur Qudus, M.T., IPM  
NIP. 1969130199403100

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Skripsi ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan tim penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 28 Maret 2020

Yang membuat pernyataan



Daryan Ramadhany

NIM. 5301415056

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### Motto:

- ❖ “ Life is a journey through fall and down, get up and try again, some says failure is not a choice, yet failure makes you stronger”. (Penulis)
- ❖ “I’m on top of the mountain and I’m only half way up”. (Guy Beahm)
- ❖ “If God closes a door AND a window, consider the fact that it might be time to build a whole new house.”. (Mandy Hale)

### Persembahan :

Dengan mengucapkan syukur kehadirat Allah SWT, kupersembahkan skripsi ini untuk:

- ❖ Orangtua tercinta, ibu (Dwi Aryani) dan ayah (Asdani Kindarto) atas segala doa, serta dukungan baik secara moral maupun material yang tak pernah berhenti
- ❖ Kedua adik kandung tercinta, Aine Ammarhayni dan Huma Berbingkai Ara yang selalu menemani mengerjakan dirumah dan juga mandiri terhadap pekerjaan rumah
- ❖ Kepada teman-teman *Discord* channel *Spreading Positivity* yang selalu menemani mengobrol, melembur tugas, serta bermain *games*.
- ❖ Teman-teman Pendidikan Teknik Elektro 2015, khususnya Rombel 3

## RINGKASAN

Daryan Ramadhany. 2020. Simulasi Lampu Lalu Lintas Pintar menggunakan *Artificial Neural Network*. Budi Sunarko, S.T., M.T., Ph.D. Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.

Lampu Lalu Lintas adalah komponen fundamental yang harus ada pada sebuah jalan yang padat, terutama pada perempatan yang mempunyai model lalu lintas heterogen. Tidak seimbang nya waktu lampu hijau pada setiap jalur pada persimpangan jalan menjadi faktor terjadinya delay. Dengan adanya Algoritma Jaringan Syaraf Tiruan dan Algoritma Genetika optimasi siklus waktu lampu lalu lintas jadi mudah, ditambah dengan implementasi sensor pada persimpangan.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan bentuk *Quasi-Experimental Design*. Peneliti memiliki kontrol penuh akan variabel yang akan dipakai kedalam kelompok kontrol. Jaringan Syaraf Tiruan digunakan untuk menentukan seberapa optimal volume kendaraan dan delay yang bisa dicapai dengan data lapangan. Algoritma Genetika digunakan untuk menghitung siklus waktu yang dibutuhkan dari hasil JST. Dan simulasi sensor untuk perbandingan data

Melalui model pelatihan JST didapat fungsi pelatihan TRAINGD<sub>X</sub> neuron 40 dengan margin error terhadap target volume sebesar 0.20%. Pembuatan lampu lalu lintas menggunakan algoritma genetika, dengan data asli. Hasil dari siklus waktu lampu lalu lintas yang asli dengan optimasi menunjukkan perbedaan sebesar 22.174% untuk total delay, 1.748% untuk total kendaraan. Untuk data sensor terhadap lampu lalu lintas konvensional adalah 85.45% untuk total delay, 41,49% untuk total kendaraan. Berdasarkan hasil penelitian, penulis mempertimbangkan untuk menggunakan *Linear Time and Space Algorithm* untuk mengoptimasi siklus lampu lalu lintas.

*Kata kunci: Neural Network, Genetic Algorithm, Lampu Lalu Lintas, Arduino*

## PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul Simulasi Lalu Lintas Pintar menggunakan Artificial Neural Network. Skripsi ini disusun dengan tujuan memenuhi persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam ditujukan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumul qiyamah nanti, Aamiin.

Pada penulisan dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang ikut terlibat secara langsung maupun tidak langsung terhadap penyelesaian skripsi, oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan apresiasi yang tidak ternilai kepada:

1. Asdani Kindarto, S.Sos., M.Eng., Ph.D., dan Dwi Aryani, kedua orang tua yang telah memberikan dukungan moral dan moril, serta dukungan materiil yang sangat banyak sehingga penulis dapat menyelesaikan studi secara tuntas di Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik, Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Tatyantoro Andrasto, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Elektro atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.

4. Budi Sunarko, S.T., M.T., Ph.D., Dosen Pembimbingan yang telah membimbing dan memberikan pengarahan literatur yang relevan sehingga mempunyai dampak yang sangat bermanfaat baik dari segi pemilihan kata dan bobot materi yang diambil sehingga dapat menyelesaikan karya tulis ini secara baik.
5. Drs. Yohanes Primadiyono, M.T., selaku Dosen Penguji I dan Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, pernyataan, dan tanggapan sehingga menambah kualitas materi yang diusung pada topik karya tulis.
6. Semua dosen jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNNES yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
7. Teman-teman Rombel 3 PTE 2015 yang selalu memberikan semangat serta interaksi sosial bersifat positif.
8. Teman-teman dari Discord yang selalu ada setiap saat.
9. Berbagai pihak yang telah memberikan bantuan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis harap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk lembaga pendidikan, pengembang dan masyarakat.

Semarang, 08 Maret 2020

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
RINGKASAN .....	vi
PRAKATA .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I     PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identitas Masalah .....	4
1.3 Pembatasan Masalah .....	5
1.4 Rumusan Masalah .....	6
1.5 Tujuan Penelitian .....	6
1.6 Manfaat Penelitian .....	7
1.7 Penegasan Istilah.....	8
BAB II    KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	10
2.1 Kajian Pustaka.....	10
2.2 Teori Penunjang .....	19
2.2.1 Hirarki dan Tipe Jalan.....	19
2.2.2 Operasi Transportasi .....	22
2.2.3 Roadway Level of Service .....	28

2.2.4 Model Antrian .....	30
2.2.5 Lampu Lalu Lintas .....	32
2.2.6 Arduino Mega 2560 .....	50
2.2.7 Sensor Inframerah .....	55
2.2.8 PTV Vissim.....	57
2.2.9 Jaringan Syaraf Tiruan .....	58
2.2.10 Fungsi Aktivasi .....	61
2.2.11 Backpropagation .....	61
2.2.12 Algoritma Genetika.....	64
2.2.13 MATLAB R2019b .....	67
<b>BAB III</b> <b>METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	69
3.2 Desain Penelitian.....	69
3.3 Rancangan Penelitian .....	71
3.4 Alat dan Bahan .....	79
3.5 Parameter Penelitian.....	80
3.6 Teknik Pengumpulan Data .....	81
3.7 Teknik Analisis Data .....	82
<b>BAB IV</b> <b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil Penelitian .....	84
4.2 Pembahasan.....	103
<b>BAB V</b> <b>PENUTUP</b>	
4.1 Simpulan.....	111
4.2 Saran.....	113
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	114
<b>LAMPIRAN</b> .....	118

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan Kapasitor Backup Power Supply .....	12
Tabel 2.2 Contoh Pembagian Kendall Notation .....	31
Tabel 2.3 Contoh pembuatan tabel flow factor .....	47
Tabel 2.4 Penentuan durasi lampu berdasarkan kecepatan .....	50
Tabel 2.5 Spesifikasi Arduino Mega 2560 .....	54
Tabel 2.6 Spesifikasi IR Obstacle Sensor .....	56
Tabel 3.1 Tabel Data Input .....	76
Tabel 3.2 Tabel Data Output .....	77
Tabel 3.3 Pembobotan data Input dan Output .....	77
Tabel 3.4 Spesifikasi Objek Penelitian .....	79
Tabel 3.5 Pengujian Komparasi Data .....	83
Tabel 4.1 Hasil data simulasi per 10 detik, dan delay .....	91
Tabel 4.2 Hasil <i>training neural network</i> .....	97
Tabel 4.3 Hasil <i>Margin Error Output</i> .....	98
Tabel 4.4 Hasil Denormalisasi Data .....	99
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Data Lapangan .....	104
Tabel 4.6 Hasil Simulasi Data Optimasi .....	106
Tabel 4.7 Komparasi Data Lapangan-Simulasi .....	107
Tabel 4.8 Hasil data Alat Penelitian .....	108

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Block Sistem SOC dan SOG.....	11
Gambar 2.2 Diagram Block Sistem 4 Sensor.....	12
Gambar 2.3 <i>NN MCA Architecture</i> .....	14
Gambar 2.4 <i>GUI Matlab Simulasi Artificial Bee Colony</i> .....	16
Gambar 2.5 <i>AWT (Average Waiting Time) &amp; %Performance</i> .....	16
Gambar 2.6 Perbandingan Algoritma SMS, USMD, USM .....	18
Gambar 2.7 Skema sistem antrian.....	24
Gambar 2.8 Desain Badan Jalan .....	27
Gambar 2.9 Flowchart penyusunan Durasi siklus.....	28
Gambar 2.10 Flowchart penyusunan Durasi siklus .....	35
Gambar 2.11 Contoh Intergreen time.....	37
Gambar 2.12 Desain Lampu Lalu Lintas efektif.....	42
Gambar 2.13 Contoh timing headway .....	43
Gambar 2.14 Gambaran belokan yang berpotensi sebagai konflik ...	46
Gambar 2.15 Two-way street, single alternate time space diagram ..	53
Gambar 2.16 Bentuk dari Arduino Mega 2560.....	55
Gambar 2.17 Bentuk dan Pinout IR Obstacle Sensor .....	56
Gambar 2.18 Skema IR Obstacle Sensor .....	56
Gambar 2.19 Tampilan halaman awal PTV Vissim.....	58
Gambar 2.20 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan .....	60
Gambar 2.21 Aktivasi Sigmoid Biner.....	61
Gambar 2.22 Aktivasi Linear.....	62
Gambar 2.23 Aktivasi Binary Step .....	62
Gambar 2.24 Arsitektur <i>Backpropagation</i> .....	63
Gambar 2.25 Arsitektur Algoritma Genetika.....	65

Gambar 2.26 <i>Crossover Point</i> Algoritma Genetika.....	66
Gambar 2.27 <i>Mutation</i> Algoritma Genetika .....	66
Gambar 2.28 <i>User Interface</i> MATLAB R2019b .....	67
Gambar 3.1 Langkah-Langkah Penelitian Eksperimen .....	58
Gambar 3.2 Rangkaian Catu Daya Lampu Lalulintas .....	59
Gambar 3.3 Rangkaian kontrol Lampu Lalulintas.....	59
Gambar 3.4 Rancangan badan jalan (2d).....	61
Gambar 3.5 Rancangan badan jalan (3d).....	61
Gambar 3.6 Jaringan Layar Jamak Backpropagation .....	62
Gambar 4.1 Rangkaian Oscilloscope dan Serial Monitor.....	85
Gambar 4.2 Rangkaian Sensor IR dan Oscilloscope.....	84
Gambar 4.3 Inisialisasi Input terhadap Output Sensor.....	86
Gambar 4.4 Jeda Waktu Tegangan <i>Rising</i> .....	87
Gambar 4.5 Datasheet Komparasi Sensor.....	88
Gambar 4.6 Trigger Count Up & Reset .....	88
Gambar 4.7 Trigger Count Up & Inisiasi program .....	89
Gambar 4.8 Display LCD lajur macet.....	89
Gambar 4.9 Jendela Neural Network .....	92
Gambar 4.10 Jendela Opsi Pembuatan Network.....	93
Gambar 4.11 Jendela Opsi Visualisasi Network.....	94
Gambar 4.12 Jendela Tab Training Info .....	94
Gambar 4.13 Jendela Tab Training Parameters .....	94
Gambar 4.14 Jendela Tab nntaintool .....	95
Gambar 4.15 Jendela plotperform.....	96
Gambar 4.16 Jendela plotregression .....	97
Gambar 4.17 Jendela coding Genetic Algorithm.....	101
Gambar 4.18 Jendela total delay terhadap iterasi.....	102
Gambar 4.19 Jendela hasil siklus waktu .....	102

Gambar 4.20 Jendela hasil siklus waktu VISSIM.....	104
Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Data Delay .....	109
Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Data Volume Kendaraan.....	110

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Wiring I/O Arduino .....	118
Lampiran 2. Coding Arduino .....	119
Lampiran 3. Coding Genetic Algorithm .....	129

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Lampu lalu lintas adalah sebuah perangkat pendukung kelancaran berlalu lintas, karena dengan adanya lampu lalu lintas yang tersedia di persimpangan jalan, akan meminimalisir terjadinya kecelakaan karena banyaknya antrian pada badan jalan. Di Indonesia, masalah umum dalam sistem lalu lintas adalah ketidak-akuratan lampu lalu lintas terhadap kondisi jalan, sehingga seringkali masalah dalam lampu lalu lintas ini menyebabkan macet di berbagai ruas jalan, oleh karena itu, dibutuhkan yang pertama adalah manajemen lalulintas untuk mengatur masalah-masalah ini.

Manajemen lalulintas biasanya diterapkan untuk memecahkan masalah lalulintas yang bersifat jangka pendek atau sementara. Seperti yang dikutip pada jurnal yang diterbitkan oleh Litman (2019, hlm. 2), cara pemecahan masalah lalulintas menurut manajemen lalulintas, adalah dengan cara mengatur pasokan (*supply*) dan kebutuhan (*demand*) pada sistem jalan raya atau persimpangan jalan yang ada untuk memenuhi suatu tujuan tertentu tanpa melakukan penambahan prasarana baru, sebagai gantinya, metode ini dapat dilakukan melalui pengurangan dan pengaturan pergerakan lalulintas, seperti yang telah dilakukan di jalan raya *Massachusetts*.

Penjelasan yang dijabarkan oleh Putranto (2011, hlm. 374) definisi manajemen lalulintas yaitu *demand* yang dimaksudkan adalah seberapa besar volume pengguna jalan, dan tindak pembatasan lalulintas. Optimasi *supply*



artinya adalah pembatasan parkir di badan jalan, pada jalan satu arah, dan *reversible lane*, larangan belok kanan pada persimpangan dan pemasangan lampu lalu lintas.

Di Indonesia, pengaturan lampu lalu lintas ini tertuang dan dilindungi oleh Undang-Undang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan Nomor 14 Tahun 1992. Pada umumnya pengaturan pergantian nyala hijau pada suatu lampu lalu lintas dalam suatu simpang biasanya searah jarum jam. Misalnya pada simpang empat memiliki urutan nyala lampu hijau adalah Utara – Timur – Selatan – Barat (disebut 4 fase). Tetapi teori ini disanggah oleh Felki (2015, hlm. 1) menurutnya *timing diagram* pada sistem lalu lintas khususnya persimpangan, harus berdasarkan dari hasil analisis volume serta komposisi lalu lintas serta geometri simpang.

Oleh karena itu, dirumuskan oleh Ananta (2013, hlm. 1) seiring berjalannya waktu berkembangnya teknologi informasi, khususnya adanya komputer baik teknologinya maupun perangkatnya tentunya juga akan menyebabkan perkembangan lainnya (seperti contoh teknologi *Adaptive Traffic Control Management*). Yang dimaksud dengan *Adaptive* adalah; *timing* sinyal lampu lalu lintas menyesuaikan keadaan sebenarnya yang terjadi di jalan, selain itu, cara kerja dari teknologi ini adalah dengan menghitung atau memprediksi kondisi lampu lalu lintas dengan data yang sudah dimasukkan terlebih dahulu

Pertama kali di gunakan pada tahun 1970an oleh negara Australia, Sydney dengan teknologi SCATS (*Sydney Coordinated Adaptive Traffic System*) dan SCOOT (*Split Cycle and Offset Optimization Technique*) teknologi ini

menggantikan teknologi *Fixed Traffic Time Control*, yang mana menurut Fehon (2010) memprediksi untuk 4 tahun 6 bulan kedepan bahwa teknologi ini lebih bisa mengurangi kepadatan jalan akibat penambahan volume kendaraan dan ketidak-tepatan waktu lampu lalu lintas sebanyak 10% dibandingkan dengan *Fixed Traffic Time Control* yang justru mengalami penurunan efektivitas sebesar 15%. Tetapi kekurangan dari SCOOT dan SCATS adalah terbatasnya implementasi dan software karena softwarena saja berharga Rp. 67.126.337,- per individu, hal ini dianggap tidak efektif karena pengontrolan lampu lalu lintas harus memiliki banyak sistem komputer yang interkoneksi.

Teknologi *Adaptive Traffic Control Management* sudah mempunyai banyak pengembangan dan penyederhanaan sistem sehingga dapat lebih mudah dipelajari dan diimplementasikan, salah satunya adalah pengembangan yang telah dilakukan oleh Rasyid (2016, hlm. 1352) dengan menggunakan mikroprocessor AT89C51, pengembangan alat ini didukung oleh sensor Inframerah cara kerja dari sistem ini adalah mendeteksi seberapa banyak kendaraan yang lewat dari keempat ruas jalan, lalu setelah kendaraan sudah mencapai batas maksimal ruas jalan, dan terjadi macet, maka lampu hijau akan mengalami penambahan waktu sehingga antrean kendaraan yang menyebabkan macet akan segera berkurang. Perlu diingat bahwa pada sistem ini menggunakan beberapa tingkatan kemacetan dimulai dengan perancangan kemacetan tingkat satu hingga tingkat tiga, dengan masing-masing memiliki periode waktu yang berbeda.

Tetapi pada pengembangan tersebut belum menerapkan sistem *Neural Network* berbasis *Backpropagation* dan *Genetic Algorithm* sebagai acuan perbandingan data, menurut peneliti, hal ini perlu dilakukan karena cara yang paling mudah untuk mengatasi kemacetan di jalan raya pada saat ini adalah dengan mengoptimasi siklus waktu dan mengubah konfigurasi durasi lampu hijau dan merah. sehingga pengaturan siklus waktu, volume, serta delay pada setiap jalur lebih optimal dari data sebelumnya.

Penggunaan *Neural Network Backpropagation* adalah untuk mencari prediksi optimasi volume kendaraan dan *delay* yang ada pada jalur tersebut, berdasarkan data yang sudah dikumpulkan oleh peneliti di persimpangan jalan Lamper Tengah-Brigjen Sudiarto-Gajah Raya-Majapahit. Sedangkan untuk penggunaan *Genetic Algorithm* adalah untuk mencari siklus waktu yang sesuai dengan output hasil *training Neural Network Backpropagation*.

Berdasarkan dari permasalahan yang telah diuraikan, maka peneliti memutuskan untuk melakukan penelitian dengan judul “**Simulasi Lampu Lalu Lintas Pintar Menggunakan *Artificial Neural Network***”

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka dapat disimpulkan identifikasi masalahnya adalah kurangnya efisiensi terhadap volume lalu lintas dan *delay* pada jalur yang dihasilkan oleh lampu lalu lintas jenis *Fixed Time Control* yang notabene masih banyak dijumpai di Indonesia baik di perkotaan ataupun di kawasan kegiatan utama bukan pertanian. Perbandingan antar *Fixed Time*

*Control* dengan *Adaptive Traffic Control* dijelaskan oleh Pavleski (2018, hlm. 207-208).

### 1.3 Pembatasan Masalah

Adapun pembatasan masalah dalam penyelesaian identifikasi masalah diatas untuk menghindari terjadinya penyimpangan materi dan kesalahpahaman antara topik dengan isi penelitian adalah sebagai berikut:

1. Data yang didapat adalah hasil observasi dilapangan . Data ini mengacu pada survey LHRT (Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan) yang dilakukan oleh Kusmiyati (2005, hlm. IV-14)
2. Penentuan waktu traffic light pada pertama kali percobaan adalah menggunakan rumus yang dijelaskan oleh David Levinson (2009, hlm. 130) dengan formula yang telah dimasukan terlebih dahulu.
3. Penggunaan simulasi lampu lalu lintas ini terbatas pada perempatan *Two-lane One-Way Intersection* tanpa tempat parkir.
4. Alat pendeteksi kendaraan yang digunakan adalah *IR Sensor*, karena dianggap lebih mudah untuk disimulasikan daripada menggunakan sensor Ultrasonik, karena didalam penelitian ini, hanya ingin mengetahui berapa kendaraan yang lewat saja. Mohammad (2009, hlm. 273) mengemukakan bahwa *IR Sensor* lebih baik daripada Ultrasonik sensor pada pengukuran berjarak lebih dari 100 meter.
5. Masalah diselesaikan dengan menggunakan metode *Non Probability Sampling* dengan beberapa set kondisi masalah umum di jalan raya yang sudah diatur terlebih dahulu.

6. Algoritma *Artificial Neural Network* yang digunakan adalah jenis algoritma *Backpropagation*, dan algoritma yang digunakan untuk optimasi siklus lampu lalu lintas adalah *Genetic Algorithm*

#### 1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, dan batasan masalah yang telah ditentukan, maka rumusan permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara merencanakan dan merancang alat pendeteksi kendaraan dan sistem lampu lalu lintas otomatis menggunakan Arduino Mega dengan sensor Inframerah?
2. Bagaimana cara menentukan rumus dan data yang harus dimasukkan pada algoritma *Neural Network* dan *Algoritma Genetika*, dan menampilkan hasil perhitungan optimisasi data?
3. Bagaimana menampilkan data hasil perhitungan optimisasi serta menampilkan simulasi rangkaian maupun simulasi tiga dimensi terhadap masalah utama?

#### 1.5 Tujuan

Adapun tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah diatas adalah,

1. Merencanakan dan merancang alat pendeteksi kendaraan dan sistem lampu lalu lintas otomatis menggunakan Arduino Mega dengan sensor Inframerah

2. Menentukan rumus dan data yang harus dimasukkan pada algoritma *Neural Network* dan *Algoritma Genetika*, dan menampilkan hasil perhitungan optimisasi data
3. Meningkatkan efektifitas lampu lalu lintas untuk mengurangi kemacetan di jalan raya dengan algoritma *Adaptive Traffic Control Management* menggunakan *Artificial Intelligence Backpropagation* dan *Genetic Algorithm* dengan lampu lalu lintas konvensional yang telah ada menggunakan simulasi. Penelitian ini dibuktikan oleh John Gilmore (1993, hlm. 5) yang mengatakan bahwa metode *Backpropagation* lebih baik hasilnya daripada *Hopfield*. Menampilkan data hasil perhitungan optimisasi serta menampilkan simulasi rangkaian maupun simulasi tiga dimensi terhadap masalah utama

## 1.6 Manfaat

Setelah diadakannya penelitian, diharapkan memberikan manfaat bagi penulis ataupun pembaca, yang mana manfaat tersebut adalah;

Manfaat secara teori yang didapat dalam penelitian ini adalah;

1. Diharapkan mampu menambah teori yang berkaitan dengan sistem monitoring dan sistem kontrol lampu lalu lintas khususnya yang menggunakan *microcontroller Arduino* serta *IR Sensor*.
2. Menambah deretan pengaplikasian modifikasi rumus *Artificial Intelligence Backpropagation* terhadap alat praktis yang sering kita temui sehari-hari.

3. Pada perhitungan yang akan ditampilkan pada bagian rumus dan algoritma, untuk kedepannya bisa dijadikan patokan dasar terhadap rumus *Backpropagation* serta dapat mengembangkannya ke penelitian dalam bentuk yang lain.

## 1.7 Penegasan Istilah

“Simulasi Lampu Lalu Lintas menggunakan *Artificial Neural Network* dengan algoritma *Backpropagation*” memiliki definisi sebagai berikut:

1. Simulasi adalah penggambaran suatu sistem atau proses dengan peragaan berupa model statistik atau pemeranan. (KBBI).
2. Lampu lalu lintas adalah perangkat elektronik yang menggunakan isyarat lampu yang dapat dilengkapi dengan isyarat bunyi untuk mengatur Lalu Lintas orang dan/atau Kendaraan di persimpangan atau pada ruas Jalan. (Undang-undang No. 20 Th. 2009).
3. *Artificial Neural Network* adalah paradigma pemrosesan informasi yang terinspirasi oleh cara biologis sistem saraf, seperti otak dalam memproses informasi yang kita terima. Jaringan saraf, memiliki kemampuan luar biasa untuk mendapatkan makna dari data yang rumit atau data yang tidak tepat, dan juga dapat digunakan untuk mengekstraksi pola kerja suatu sistem dan mendeteksi tren yang terlalu rumit diperhatikan oleh manusia atau teknik komputer lainnya. (Zakaria, M. 2014, hlm. 1).
4. Algoritma dalam pengertian matematis adalah suatu rangkaian petunjuk yang biasanya untuk menyelesaikan tipe masalah spesifik atau

melakukan keperluan komputasi seperti kalkulasi, prosesi data, dan perhitungan logika (*fuzzy logic, Bayesian statistic, dll*).

5. *Backpropagation* adalah salah satu metode dalam penyusunan jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network*), struktur bagian dari metode ini dibagi menjadi tiga *layer* yaitu; lapisan masukan (*input layer*), lapisan tengah (*hidden layer*), dan lapisan keluar (*output layer*), per lapisan dihubungkan melalui bobot (*weight*). Nilai masukan pada lapisan menggunakan parameter suatu objek. Nilai *weight* didapat melalui proses *training* (Santika, D. 2007, hlm. 30-31).
6. Algoritma Genetika adalah algoritma pencarian yang didasarkan atas mekanisme seleksi alami dan evolusi biologis. Algoritma genetika mengkombinasikan antara deretan struktur dengan pertukaran informasi acak ke bentuk algoritma pencarian dengan beberapa perubahan bakat pada manusia. Pada setiap generasi, himpunan baru dari deretan individu dibuat berdasarkan kecocokan pada generasi sebelumnya. (Goldberg, D. E. 1989)



## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI**

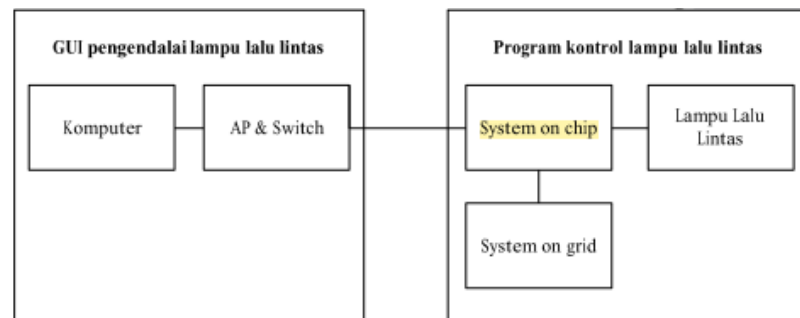
#### **2.1 Kajian Pustaka**

Dalam penelitian yang dilakukan, penulis juga memerlukan beberapa kajian dari penelitian yang sudah dilakukan oleh para ahli sebelumnya. Hal ini dilakukan agar penelitian yang dihasilkan lebih optimal, karena kajian yang sudah ada menjadi bahan pertimbangan. Berikut ini adalah beberapa kajian yang menjadi bahan acuan penelitian lengkap dengan kelebihan dan kekurangan suatu penelitian tersebut:

##### **1. Perancangan Pengendali Lampu Lalu Lintas Menggunakan System On Chip dan Sistem On Grid**

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rasyid (2016, hlm. 1351), beliau telah melakukan percobaan mengenai pengendali lampu lalu lintas menggunakan system on chip dan system on grid. Alat pembuat dari system pengendali lalu lintas ini adalah dengan menggunakan Intel Galileo (merupakan perkembangan dari Arduino yang menggunakan basis prosesor 32bit), pengendali lampu lalu lintas ini menggunakan *IoT (Internet of Things)* dengan menyisipkan custom *GUI (General User Interface)*, serta tidak menggunakan sensor untuk mendeteksi kepadatan lalu lintas, system ini hanya bisa digunakan pada satu ruas jalan, karena

keterbatasan *angle of view* dari kamera. Berikut ini adalah cuplikan gambar blok diagram dari jurnal tersebut



Gambar 2.1 Diagram Block Sistem SOC dan SOG  
(Sumber: Dokumen Peneliti)

Cara bekerjanya; pada dasarnya system ini adalah system lampu lalu lintas biasa yang menggunakan *emergency state* serta backup power supply dengan kapasitas kapasitor tertentu. Sistem yang diciptakan hanya menggunakan *preset* dasar *time cycle* lampu lalu lintas sehingga hasil yang dihasilkan masih belum maksimal. Sehubungan dengan kamera, fungsi dari kamera ini adalah untuk memantau kondisi jalan jikalau suatu ruas jalan memerlukan keadaan *emergency* seperti contohnya jika ada ambulans, polisi, atau orang berkepentingan lainnya, fungsi *emergency state* ini adalah langsung menghentikan semua lajur jalan dan memprioritaskan satu lajur jalan untuk lewat. Penelitian ini didukung juga oleh *System on-grid* (cadangan listrik menggunakan panel surya) yang mana adalah tenaga listrik cadangan jika sistem mengalami pemadaman listrik. Tabel 2.1 yang ditampilkan mengatakan bahwa, rangkaian backup power supply hanya akan bekerja jika diberi kapasitor 16600uF atau lebih,

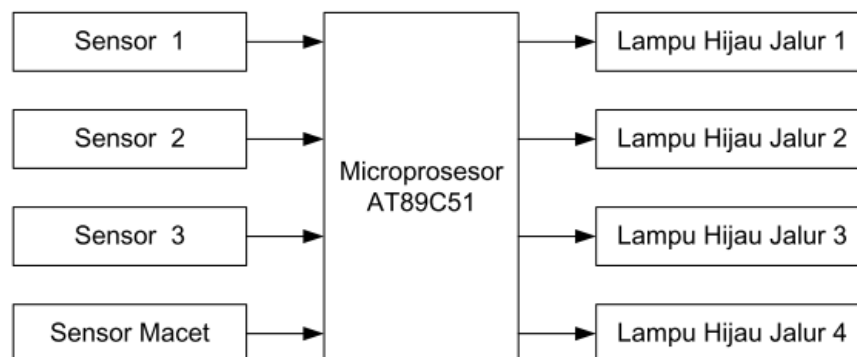
menurut Rasyid (2016, hlm. 1357) dengan arus yang dihasilkan dari solar panel 0.22A dapat mengisi kapasitor selama 1.8 detik untuk 19400uF

Tabel 2.1 Perbandingan Kapasitor Backup Power Supply  
(Sumber: Dokumen Peneliti)

NO	Besar kapasitor	ALAT	KETERANGAN
1	2500uF	MATI	Kapasitas kurang
2	4700uF	MATI	Kapasitas kurang
3	7200uF	MATI	Kapasitas kurang
4	9400uF	MATI	Kapasitas kurang
5	11900uF	MATI	Kapasitas kurang
6	16600uF	HIDUP	Kapasitas cukup

Kelebihan dari system ini adalah 1) Menggunakan catu daya cadangan atau Sistem On-grid yang dipasangkan pada power supply utama traffic light, jika system traffic light mengalami pemadaman listrik maka, Sistem on grid ini dapat digunakan 2) Pemantauan keadaan jalan yang mudah karena webcam. Kekurangan system ini adalah pengontrolan yang tidak fleksibel seperti jika ada pengguna jalan yang berkepentingan ingin memanipulasi lampu traffic light

## 2. Perancangan Pengontrolan Traffic Light Otomatis



Gambar 2.2 Diagram Block Sistem 4 Sensor  
(Sumber: Zulfikar, 2011:129)

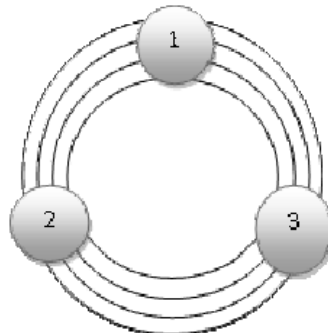
Perancangan pengontrolan Traffic Light Otomatis ini dibuat dengan menggunakan microcontroller AT89C51, system yang digunakan di pengontrolan traffic light ini adalah sensor inframerah yang ditempatkan disamping ruang manfaat jalan untuk transmitter inframerah, dan pada trotoar tengah badan jalan terdapat receiver inframerah, hal ini dimaksudkan agar memudahkan dalam pendeteksian kendaraan yang sedang mengantri badan jalan karena terhalang oleh lampu lalu lintas. di Sistem ini tidak menggunakan IoT sebagai alat monitoring dan kontrolnya, sehingga pada saat ada keadaan darurat, lampu lalu lintas harus diatur dengan cara manual.

Cara kerja system ini adalah; yang dapat diterima oleh sensor inframerah. Sensor inframerah dipasang diruang manfaat jalan dengan jumlah 6 sensor, yaitu sensor saat lalu lintas normal, sedang, dan macet, serta 3 sensor lainnya berada di trotoar tengah badan jalan yang bertindak sebagai transmitter. Sistem mendeteksi jika suatu jalan macet dengan cara, sinar inframerah tidak diterima pada sensor inframerah ketiga, indikasi ini karena sinar inframerah tertutup dengan mobil/motor yang ada didepannya

Kelebihan dari system ini adalah mudahnya pengaplikasian serta mudah untuk logika dan program, karena trigger sensor yang digunakan hanya 1 dan bersifat pasif, yang mana sensor tidak menggunakan beban yang banyak, sehingga system ini memakai daya yang sedikit. Kekurangan dari system ini adalah, tidak adanya sistem IoT atau perhitungan manual bagaimana angka dari *fixed time control* bisa muncul, serta tidak memerhatikan bagaimana *traffic load* pada setiap waktu, karena hal ini

adalah komponen terpenting pada saat membangun sebuah sistem lampu lalu lintas.

### 3. Intelligent traffic light controller based on MCA associative memory



Gambar 2.3 *NN MCA Architecture*  
(Sumber: Kareem, 2014)

Pada penelitian oleh Kareem, dkk (2014), penelitian ini menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan algoritma Multi Connect Associative memory. Sistem Monitor dari penelitian ini adalah menggunakan kamera yang bisa mendeteksi pejalan kaki dan kendaraan bermotor, serta mobil. Dan membuat pengkondisian logika tertentu tergantung pada kondisi sebenarnya yang ada di jalan raya. Implementasi dari penelitian ini adalah dengan menggunakan simulasi dan membandingkan hasil simulasi terhadap data yang sudah diambil pada perempatan tersebut. Ditunjukkan pada hasil penelitian, peningkatan *VDR* (*Vehicle Departure Rate*) atau rata-rata jumlah kedatangan kendaraan meningkat sebesar 12% pada setiap arah jalan.

### 4. Pengembangan dan Simulasi *Adaptive Traffic Light Controller* menggunakan algoritma *Artificial Bee Colony*

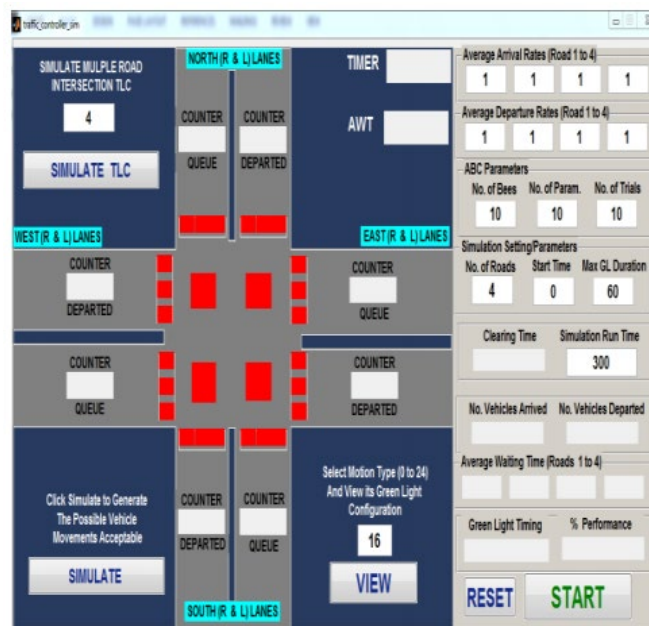
Pada penelitian percobaan algoritma *Artificial Bee Colony* pada lampu lalu lintas ini menghasilkan hasil yang cukup memuaskan. *Artificial Bee Colony* adalah algoritma dimana cara kerja optimisasi datanya adalah seperti koloni lebah saat mencari makan, koloni tersebut dibagi menjadi 2 bagian, yaitu lebah yang bekerja mencari makanan, serta lebah yang hanya melihat saja. Pada algoritma ini, sumber makanan bagi lebah direpresentasikan sebagai opsi solusi terhadap masalah yang dihadapi, dan jumlah nektar yang ada pada makanan tersebut merepresentasikan kualitas dari penyelesaian masalah.

Beberapa asumsi pada kondisi jalan telah disiapkan oleh penulis, antara lain adalah;

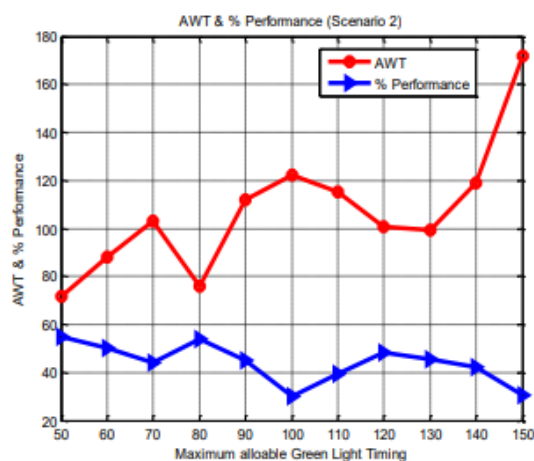
1. Setiap jalan yang membentuk persimpangan, mempunyai dua jalur yang cukup lebar untuk mendukung 3 baris antrian kendaraan
2. Kendaraan hanya dibolehkan untuk mengantri jalur yang sudah ditetapkan, tidak ada kendaraan yang salah dalam mengantri jalur, contohnya;
  - a. Belok kiri → Lajur kiri jalan
  - b. Belok kanan → Lajur kanan jalan
  - c. Lurus → Lajur tengah jalan
3. *Delay* pada antrian, tidak disebabkan oleh kendaraan yang menyeberang persimpangan tanpa melakukan belokan kearah tujuan yang bertujuan untuk menghambat antrian berikutnya

4. Sensor dapat mendeteksi kendaraan pada setiap jalur jalan tanpa memperhatikan berapa kecepatan kendaraan dan bagaimanapun posisinya

Dengan ketentuan seperti itu, penelitian ini di hitung dengan menggunakan rumus penyederhanaan dari *VTCS Equation (Variable Tumble Control System)*. Sistem ini sepenuhnya dikalkulasi di MATLAB dan dengan menggunakan bantuan fitur GUI (*General User Interface*) yang ada pada program tersebut untuk membantu simulasi, berikut ini adalah hasil dari penelitian yang dilakukan oleh Folashade (2018, hlm. 72-73)



Gambar 2.4 GUI Matlab untuk Simulasi  
(Sumber: Folashade, 2018: 72)



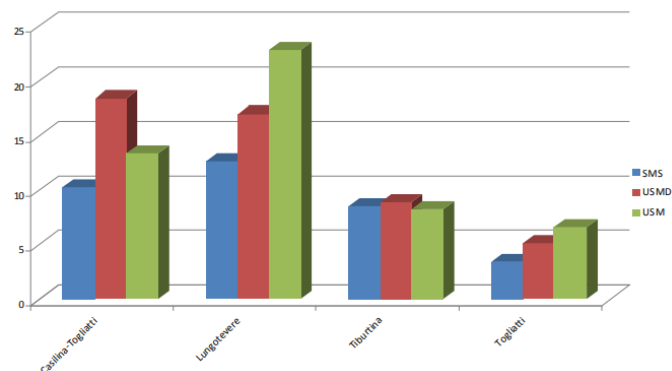
Ditampilkan pada gambar 2.4 simulasi yang dilakukan sudah dibuatkan GUI (*General User Interface*) secara langsung menggunakan Matlab sehingga penginputan data tidak dilakukan secara manual melainkan menggunakan GUI yang sudah tersedia, fitur ini memungkinkan untuk menyingkat waktu penginputan data, selain itu, di fitur GUI ini peneliti dapat melihat simulasi secara *realtime*.

Pada gambar 2.5 diatas dijelaskan grafik dari *Average Waiting Time & Performance* yang berarti berapa lama waktu menunggu setiap lajur dan persen kinerja terhadap pengembangan algoritma seperti contohnya pada AWT 76s dan 80 Maximum Allowable Green Light Timing, maka persen kinerja dari suatu persimpangan hanya sebesar 57% yang mana artinya; dalam kurun waktu rata-rata antrian 76s, terdapat sebesar 57% kendaraan yang tertinggal di antrian pada persimpangan jalan/pada lampu lalu lintas, hal ini dikarenakan beberapa faktor yang menghambat jalannya antrian pada contohnya adalah; waktu reaksi pengendara terhadap lampu hijau, starting motor yang membutuhkan waktu untuk mencapai kecepatan yang diinginkan, dan juga seiring simulasi berjalan *Average Waiting Time* semakin bertambah, ini menjadi tanda bahwa algoritma simulasi tidak akan *sustain* pada keadaan lalu lintas yang melonjak.



## 5. A global optimization approach to solve the traffic signal synchronization problem

Dalam penelitian oleh Adacher (2012) penggunaan tiga algoritma untuk perbandingan metode perhitungan delay yaitu algoritma pertama adalah *USM (Unique Surrogate Method)*, *USMD (Unique Surrogate Method and Different step size)*, *SMS (Surrogate Method in Sequence)*. Pada grafik dibawah adalah perbandingan delay setiap algoritma terhadap tipe jalan tertentu



Gambar 2.6 Perbandingan Algoritma SMS, USMD, USM (Sumber: Adacher, 2012)

Pada penelitian diatas, ditulis bahwa metode *SMS* mempunyai margin optimasi yang lebih besar dari metode optimasai delay yang lainnya, dengan nilai persen optimasi 10%-45%, tetapi tidak ditunjukkan adanya peningkatan volume kendaraan yang melintas di persimpangan jalan tersebut

Dari beberapa penelitian diatas, perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang sudah disebutkan pada kajian pustaka adalah, penelitian

ini menggunakan menggunakan Arduino Mega, Sensor IR. Dengan perbandingan data lapangan dan data optimasi juga akan dihadirkan di akhir bab yang berisi pengurangan delay yang cukup signifikan dan peningkatan volume kendaraan.

Selain itu, penggunaan Jaringan Syaraf Tiruan memungkinkan peneliti untuk membuat data komparasi dan optimasi sistem terhadap data yang sudah diambil dan data buatan yang ada pada *PTV Vissim 11*. Hal ini sudah dilakukan oleh Kareem (2014) tetapi dalam penelitiannya tidak ditunjukkan simulasi secara *realtime* bagaimana dampak lampu lalu lintas otomatis (*Actuated time signal*) dan juga tidak membahas tentang pengurangan delay yang terjadi pada persimpangan jalan. Begitu juga dengan Folashade (2018) yang membuat penelitian optimasi delay menggunakan algoritma bee colony yang mana data yang disuguhkan menunjukkan semakin lama training data tersebut berlangsung, delay yang ditimbulkan semakin meningkat.

## **2.2 Teori Penunjang**

### **2.2.1 Hirarki dan Tipe Jalan**

Pengelompokan jalan atau hierarki jalan adalah pengelompokan jalan berdasarkan fungsi jalan, berdasarkan tipe administrasi pemerintahan dan berdasarkan tipe kendaraan yang menyangkut dimensi dan berat kendaraan. Penentuan klasifikasi jalan terkait dengan besarnya volume lalu lintas yang menggunakan jalan tersebut, besarnya kapasitas jalan, fungsi ekonomi dari jalan

tersebut serta pembiayaan pembangunan dan perawatan jalan. Berikut ini adalah pengelompokan klasifikasi tipe jalan yang ada di Indonesia menurut UU No. 22 Tahun 2009.

**I. Klasifikasi Jalan Fungsional berdasarkan peraturan perundangan yang berlaku adalah:**

1. 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.
2. Jalan kolektor, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
3. Jalan lokal, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
4. Jalan lingkungan, merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata-rata rendah

**II. Klasifikasi berdasarkan administrasi pemerintahan**

1. Jalan nasional, merupakan jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antaribu kota provinsi, dan jalan strategis nasional, serta jalan tol.

2. Jalan provinsi, merupakan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten/kota, atau antaribu kota kabupaten/kota, dan jalan strategis provinsi.
3. Jalan kabupaten, merupakan jalan lokal dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibu kota kabupaten dengan ibu kota kecamatan, antaribu kota kecamatan, ibu kota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antarpusat kegiatan lokal, serta jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten, dan jalan strategis kabupaten.
4. Jalan kota, adalah jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antarpusat pelayanan dalam kota, menghubungkan pusat pelayanan dengan persil, menghubungkan antarpersil, serta menghubungkan antarpusat permukiman yang berada di dalam kota.
5. Jalan desa, merupakan jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antar-permukiman di dalam desa, serta jalan lingkungan.

### **III. Klasifikasi berdasarkan beban muatan sumbu**

1. Jalan Kelas I, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan lebih besar dari 10 ton, yang saat ini masih belum digunakan di Indonesia, namun sudah

- mulai dikembangkan diberbagai negara maju seperti di Prancis telah mencapai muatan sumbu terberat sebesar 13 ton;
2. Jalan Kelas II, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 10 ton, jalan kelas ini merupakan jalan yang sesuai untuk angkutan peti kemas;
  3. Jalan Kelas III A, yaitu jalan arteri atau kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 18.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 8 ton;
  4. Jalan Kelas III B, yaitu jalan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.500 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 12.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 8 ton;
  5. Jalan Kelas III C, yaitu jalan lokal dan jalan lingkungan yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak melebihi 2.100 milimeter, ukuran panjang tidak melebihi 9.000 milimeter, dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 8 ton.

### **2.2.2 Operasi Transportasi**

Pengelolaan jalan adalah sesuatu yang tidak mudah, banyak aspek yang harus diperhatikan dalam merancang tipe-tipe jalan.

Keselamatan badan dan ruas jalan, efisiensi penggunaan, dan ketepatan tipe pengguna, adalah beberapa aspek yang harus diperhatikan. Tentu saja sangat jarang dalam perancangan model jalan, ketiga aspek tersebut dapat optimal antara satu dengan yang lainnya. Oleh karena itu teori perhitungan operasi transportasi ini sangat diperlukan.

### 2.2.2.1 Volume Kendaraan

Volume kendaraan adalah perhitungan seberapa besar kapasitas kendaraan yang melewati jalur tersebut (baik dengan lampu lalu lintas ataupun tidak ada lampu lalu lintas) dalam hitungan jam, volume kendaraan ini nilainya disamakan dengan satuan mobil penumpang, dengan tabel yang disediakan berikut ini;

Jenis Kendaraan	emp	
	Terlidung	Terlawan
LV	1,0	1,0
HV	1,3	1,3
MC	0,2	0,4

Gambar 2.7 Konversi Kendaraan Bermotor ke Satuan Mobil Penumpang  
(Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia. 1997)

Dan rekomendasi kapasitas dasar total dari semua arah dengan satuan (smp/jam) menurut Manual Kapasitas Jalan (1997) adalah sebagai berikut;

Tipe jalan/ Tipe alinyemen	Kapasitas dasar Total kedua arah (smp/jam/lajur)
Empat-lajur terbagi	
- Datar	1900
- Bukit	1850
- Gunung	1800
Empat-lajur tak-terbagi	
- Datar	1700
- Bukit	1650
- Gunung	1600

Gambar 2.8 Total kapasitas dasar arah jalur pada jalan (Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia. 1997)

Menurut Agriyoso. F. (2013) menyatakan bahwa, jika suatu jalur jalan pada jaringan lalu lintas tidak memenuhi standart kapasitas dasar jalan, maka terdapat banyak faktor yang terlibat, yaitu; siklus waktu dan durasi lampu merah pada lalu lintas, hambatan samping, lebar jalur, dan pemisah arah lajur. Maka dari itu hubungan dari total volume kendaraan perjam ini sangat berpengaruh dengan nilai *delay* yang akan ditimbulkan pada suatu persimpangan jalan.

### 2.2.2.2 Delay

Delay pada jalur dapat dihitung dengan cara mengukur *headaway* yang ditimbulkan oleh kendaraan yang mengantri pada garis stop lampu lalu lintas sampai pada titik akhir lajur jalan. Dalam

$$d_1 = \frac{C * [1 - (g/C)]^2}{2 * [1 - (g/C) * \min(1, X)]} \quad (2.1)$$

Manual Kapasitas Jalan Indonesia (1997), arus kendaraan penumpang per jam yang disarankan untuk tipe jalan dua lajur dua arah tak terbagi dengan lampu lalu lintas yaitu sebesar 1800smp/jam. Dan teori yang *delay* dijelaskan pada rumus dibawah ini;

Dengan penjelasan variabel;

- $d_1$  = Delay keseluruhan (sec).
- $C$  = Siklus waktu (secs).
- $g$  = Waktu lampu hijau efektif (secs).
- $X$  = Volume /kapasitas jalan terhadap persimpangan.

Yang mana bisa disimpulkan bahwa semakin banyak volume kendaraan yang ada pada persimpangan tersebut, dan semakin banyak juga waktu lampu hijau efektif yang diberikan pada persimpangan tersebut, maka total delay yang ditimbulkan yang ada pada persimpangan tersebut semakin sedikit, karena, semakin panjang durasi lampu hijau pada pada jalur tersebut, maka penguraian kendaraan setiap jalur semakin bagus, sehingga untuk siklus waktu lampu lalu lintas pada tahap selanjutnya, terjadi pengurangan kendaraan yang mengantri pada lampu lalu lintas tersebut, karena tidak adanya kendaraan yang mengantri untuk yang kedua kalinya dalam jalur jalan dan lampu lalu lintas yang sama

### 2.2.2.3 Antrian



Antrian adalah studi tentang perilaku lalu lintas di dekat bagian tertentu di mana permintaan melebihi kapasitas yang tersedia. Antrian dapat dilihat dalam berbagai situasi dan sistem transportasi. Kehadirannya merupakan salah satu penyebab keterlambatan pengemudi.

#### **2.2.2.4 Arus Lalu-lintas**

Menurut Levinson (2009) Arus Lalu-Lintas adalah studi tentang pergerakan pengemudi dan kendaraan individual antara keduanya poin dan interaksi yang mereka lakukan satu sama lain. Sementara arus lalu lintas tidak bisa diprediksi dengan kepastian seratus persen karena perilaku pengemudi yang tidak terduga, pengemudi cenderung berperilaku dalam kisaran wajar yang dapat direpresentasikan secara matematis. Tiga karakteristik arus lalu lintas utama yaitu:

1. Arus Lalu-Lintas
2. Kepadatan kendaraan
3. Kecepatan kendaraan

#### **2.2.2.5 Volume Lalu Lintas Harian Rata-Rata**

Volume Lalu lintas harian rata-rata disingkat VLHR adalah volume lalu lintas yang dua arah yang melalui suatu titik rata-rata dalam satu hari, biasanya dihitung sepanjang tahun. VLHR adalah istilah yang baku digunakan dalam menghitung beban lalu lintas

pada suatu ruas jalan dan taksiran atau prakiraan volume lalu lintas harian untuk masa yang akan datang pada bagian jalan tertentu.. Berikut ini adalah volume lalu lintas harian rata-rata (dalam satuan SMP/hari) yang dianjurkan Departemen Pekerjaan Umum, dalam buku Pelatihan Road Design Engineer (RDE) (2005, hlm. II-13);

#### **2.2.2.6 Antrian dan Arus Lalu-Lintas**

Antrian dan Arus Lalu-lintas adalah teori yang mempelajari tingkah laku lingkungan pada saat antrian kendaraan berlangsung. Kedua konsep teori ini digabung dan digunakan untuk mengatasi kemacetan

#### **2.2.2.7 Shockwaves (Gelombang Kejut)**

Gelombang kejut adalah produk sampingan dari kemacetan lalu lintas dan antrian. Gelombang ini dapat didefinisikan sebagai zona transisi antara dua keadaan lalu lintas yang dinamis, artinya umumnya antrian memiliki kemampuan untuk bergerak. Sebagian besar pengemudi dapat mengidentifikasi gelombang kejut sebagai perasaan yang dialami pada saat transisi lampu hijau ke lampu merah, secara reflek pengemudi akan menginjak rem, dan inilah yang dinamakan gelombang kejut, efek ini akan menyalur ke pengemudi yang lain tergantung pada waktu respon pengemudi terhadap masa transisi lampu.

#### **2.2.2.8 Sinyal Lampu Lalu-Lintas**

Sinyal Lampu Lalu Lintas adalah salah satu jenis kontrol lalu lintas yang lebih akrab. Baik menggunakan *fixed time control* atau *adaptive time control*, sinyal lalu lintas memungkinkan bagian-bagian tertentu dari persimpangan untuk bergerak serta memaksa bagian badan jalan lain untuk menunggu, memberikan instruksi kepada pengemudi melalui serangkaian lampu warna-warni. Banyak manfaat dari sinyal lalu lintas, tetapi lampu lalu-lintas mempunyai beberapa kekurangan, seperti meningkatkan waktu delay lampu hijau selama off-peak. Namun, sinyal lalu lintas umumnya merupakan suatu alat yang konkrit dan praktis untuk mengatur kontrol lalu lintas untuk persimpangan yang sibuk

### 2.2.3 *Roadway Level of Service*

Menurut Levinson (2009) Salah satu penilaian dasar kinerja jalan raya adalah dengan menentukan Tingkat Layanannya (*Level of Service*). Tingkatan dari layanan ini, biasanya berkisar antara A dan F (A yang baik kinerja, F menjadi kinerja buruk), dinilai oleh batas yang telah ditentukan sebelumnya untuk salah satu dari tiga karakteristik aliran lalu lintas (aliran, kepadatan, dan / atau kecepatan). Berikut ini adalah rumus untuk mengukur *Level of Service* suatu badan jalan

$$v_p = \frac{V}{P H F * N * f_{HV} * f_p} \quad (2.2)$$

**Dimana;**

$v_p$  = Volume perjalur sebenarnya

$V$  = Volume perjam

$P H F$  = Faktor jam sibuk

$N$  = Jumlah jalur

$f_{HV}$  = Faktor kendaraan berat

$f_p$  = Faktor Familiritas Pengemudi terhadap medan jalan

**Faktor Jam Sibuk;**

$$P H F = V / (4V_{15}) \quad (2.2)$$

**Dimana;**

$V$  = Volume perjam

$V_{15}$  = Puncak volume arus selama 15 menit

**Faktor kendaraan berat;**

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T (E_T - 1) + P_R (E_R - 1)} \quad (2.3)$$

**Dimana:**

$P_T$  = Persentase truk dalam desimal

$E_T$  = Persentase mobil setara dengan truk

$P_R$  = Persentase mobil rekreasi dalam desimal

$E_R$  = Mobil penumpang setara dengan mobil rekreasi

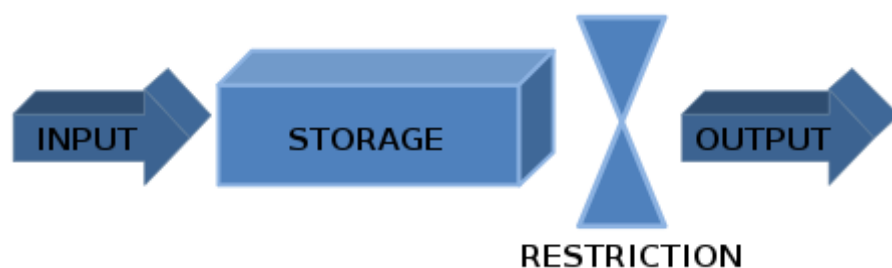
Berikut ini adalah pembagian tingkatan *level of service* pada jalan umum menggunakan lampu lalu lintas, tabel tingkatan ini diambil dari buku *Highway Capacity Manual 2010 (Transportation Research Board, 2010)* ;

<b><i>Level of Service</i></b>	<b><i>Rata-rata control delay (second/vehicle)</i></b>	<b>Deskripsi</b>
A	≤ 10	Arus lalu lintas lancar bebas penundaan
B	>10 – 20	Arus stabil (sedikit penundaan)
C	>20 – 35	Arus stabil (penundaan yang masih dapat ditoleransi)

D	>35 – 55	Mendekati arus lalu lintas tidak stabil (penundaan yang dapat ditoleransi, adakalanya antrian harus menunggu satu siklus lampu lalu-lintas sebelum melanjutkan perjalanan)
E	>55 – 80	Arus lalu lintas tidak stabil (penundaan yang tidak bisa ditoleransi)
F	>80	Arus lalu lintas yang dipaksa untuk berjalan dari satu badan jalan ke yang lainnya

#### 2.2.4 Model Antrian

Model antrian adalah studi tentang perilaku lalu lintas di dekat bagian tertentu di mana permintaan melebihi kapasitas yang tersedia. Model antrian dapat dilihat dalam banyak situasi umum: menaiki bus atau kereta atau pesawat, hambatan jalan bebas hambatan, checkout belanja, keluar dari pintu di akhir acara. Dalam rekayasa transportasi, antrian dapat terjadi pada lampu merah, tanda berhenti, kemacetan, atau penyempitan aliran berbasis desain atau lalu lintas. Ketika tidak ditangani dengan benar, antrian dapat menyebabkan kondisi jaringan yang sangat macet atau "kemacetan", sehingga menjadikannya sesuatu yang penting untuk dipelajari dan dipahami oleh peneliti. Berikut ini adalah skema sistem antrian yang dikemukakan oleh Levinson (2009, hlm. 120)



Gambar 2.8 Skema sistem antrian  
(Sumber: Levinson, 2009. hlm. 120)

Model antrian ini juga dibagi lagi menjadi beberapa jenis menurut distribusinya pada perhitungan antrian lalu lintas.

Distribusi kedatangan;

- Distribusi *Deterministic (D)*
- Distribusi *Random Markovian (Poisson, exponential, etc)*.

Distribusi layanan;

- Distribusi *Deterministic (D)*
- Distribusi *Random Markovian (Poisson, exponential, etc)*.

Metode Pelayanan;

- *First In First Out (FIFO)*
- *Last In First Out (LIFO)*
- *Priority*

Mengacu pada teori *Kendall Notation*, yaitu adalah standar sistem yang digunakan untuk mendeskripsikan dan menggolongkan model antrian. Teori ini dicetuskan oleh D.G. Kendall pada 1953 dengan menggunakan 3 faktor notasi (A/B/s) untuk mengkarakterisasi model antrian. Dengan notasi “A” adalah distribusi kedatangan, “B” distribusi layanan, dan “s” adalah berapa banyak penyedia layanan. Contoh

Tabel 2.2 Contoh Notasi Kendall Notation

*Kendall Notation* dapat dipelajari pada tabel berikut;

No.	Notasi Kendall	Pola kedatangan ( $\lambda$ )	Pola layanan ( $\rho$ )	Contoh
1	D/D/1	Konstan	Konstan	Bahan pembuat kemasan makanan memasuki mesin <i>assembly</i> dalam waktu tepat 2 menit dan waktu untuk membungkus makanan berjalan selama tepat 30 detik
2	M/M/1	Eksponensial	Eksponensial	Rata-rata jumlah siswa yang menggunakan fasilitas mesin fotokopi di perpustakaan berjumlah 15 anak/jam. Setiap siswa menghabiskan waktu rata-rata 3 menit menggunakan mesin fotokopi
3	M/D/1	Eksponensial	Konstan	Mesin dispenser minuman dapat menyajikan dan mendinginkan minuman dalam waktu rata-rata 3 menit. Dan pelanggan memakai mesin ini setiap 1 menit
4	M/M/s	Eksponensial	Eksponensial	Terdapat dua tempat pelayanan <i>Drive-thru</i> pada restoran makanan cepat saji. Rata-rata sebesar 24 pelanggan selalu datang ke restoran. Setiap pelayan restoran dapat melayani 1 pelanggan rata-rata setiap dua menit .

Pada penelitian ini model distribusi antrian utama yang dipakai adalah M/D/1 yang mana dapat diartikan sebagai sistem mempunyai *Random markovian arrival process* (distribusi kedatangan yang mempunyai rata-rata kedatangan tertentu), *Deterministic service time distribution* (distribusi waktu layanan yang sudah di set), dan satu *server* (penyedia layanan).

### 2.2.5 Lampu Lalu Lintas

Lampu lalu lintas pada persimpangan jalan idealnya harus dihitung dulu agar mencapai tingkat keefektifitasan tinggi, serta mengurangi tingkatan *Level of Service*, serta mengurangi *bottleneck* pada

persimpangan jalan. Hal pertama yang harus dipertimbangkan dalam membangun lampu lalu lintas yaitu, maksimal siklus lampu lalu lintas dalam satu persimpangan jalan, menurut Yahya Sarraj (2010), sedikit-banyaknya durasi lampu lalu lintas dalam satu siklus mempengaruhi *delay* kendaraan yang melewati persimpangan. Jika durasi siklus terlalu pendek maka, Proporsi waktu yang hilang dalam waktu siklus tinggi membuat waktu sinyal lampu tidak efisien dan menyebabkan penundaan yang lama. Jika durasi siklus terlalu panjang maka, kendaraan yang mengantri akan melewati batas garis marka yang sudah ditentukan pada saat awal periode lampu hijau. Oleh karena itu, Yahya Sarraj mengemukakan bahwa, siklus waktu lampu lalu lintas yang optimal adalah;

- Waktu minimal siklus; 25 detik. Untuk pertimbangan keselamatan
- Waktu maksimal siklus; 120 detik. Untuk mengurangi penundaan, dan kekecewaan pengemudi terhadap waktu lampu lalu lintas

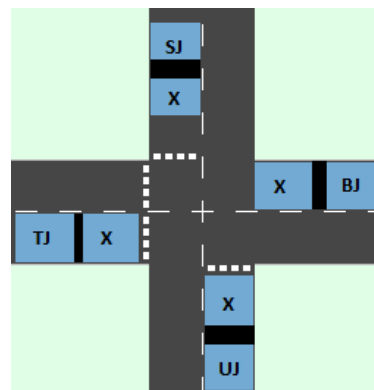
Dengan banyak teori tentang lalu lintas, maka didapatlah cara untuk mencari berapa panjang durasi lampu lalu lintas setiap badan jalan persimpangan dengan catatan;

- Model antrian berbentuk D/D/1
- VLHR (Volume Lalu lintas Harian Rata-rata) bersifat konstan. Lampu lalu lintas mengendalikan 4 persimpangan jalan dengan limitasi; Tanpa belok kanan
- Badan jalan timur dan barat mempunyai fase waktu yang sama



- Badan jalan utara dan selatan mempunyai fase waktu yang sama
- Memiliki *Saturation Flow* yang deskrit ( $s$ ) dan tidak ada *loss time*
- Mempunyai siklus waktu diskrit ( $r$ ).

Berikut ini adalah diagram bentuk jalan;



Gambar 2.9 Desain Badan Jalan  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

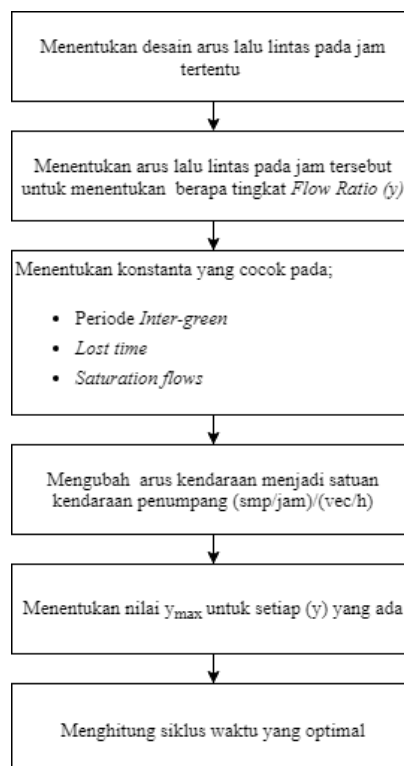
Penjelasan notasi;

- SJ = Selatan Jalan       $x$  = Arus kendaraan /jam (veh/h)
- BJ = Barat Jalan
- UJ = Utara Jalan
- TJ = Timur Jalan

#### 2.2.5.1 Penentuan Durasi Siklus dan Penjelasan faktor tambahan

Durasi siklus lampu lalu lintas adalah waktu yang diperlukan satu lampu lalu lintas untuk menyelesaikan satu siklus. Yang dimaksud dari siklus ini adalah jarak waktu antara lampu hijau mulai menyala satu kali, sampai dengan menyala lagi dengan durasi maksimal. Hal ini dinyatakan dalam bentuk ( $C$ ). Untuk mengkalkulasi durasi siklus lampu

lalu lintas, aturan-aturan ini sangat diperlukan agar tercipta siklus lampu lalu lintas yang tidak membebani pengendara/pengguna jalan;



Gambar 2.10 Flowchart penyusunan Durasi siklus (Sumber: Sarraj, 2013)

### I. Penentuan arus lalu lintas pada jam tertentu

Hal pertama dalam menentukan desain arus lalu lintas pada jam tertentu biasanya ditentukan dengan menggunakan *peak hour* penggunaan jalan tersebut sehingga, peneliti dapat mengantisipasi lonjakan arus lalu lintas karena hal-hal yang tidak terduga.

## II. Penentuan arus lalu lintas pada jam tersebut untuk menentukan

### tingkat *Flow Ratio* ( $y$ )

Kedua, yang harus diperhatikan adalah tingkat *Flow factor* ( $y$ ), dengan rumus;

$$y = \frac{\text{flow } (q)}{\text{Saturation flow } (s)} \quad (2.4)$$

Dengan;

$$q = \frac{3600 N}{t_{measured}} \quad | \quad t_m = t_r + \frac{kV}{2} + \left( \frac{1}{a_f} - \frac{1}{a_l} \right) \quad (2.5)$$

$N$  = Kendaraan yang menempati badan jalan

$q$  = Arus kendaraan per jam (vec/h)

$t_r$  = Waktu reaksi pengendara ( Rata-rata 2.3s )

$k$  = Faktor keselamatan ( $\geq 1$  )

$V$  = Kecepatan kendaraan

$a_f$  = Faktor perlambatan minimal kendaraan pengikut

$a_l$  = Faktor perlambatan maksimal kendaraan pemimpin

## III. Menentukan konstanta $SD$ , $t_L$ , dan $s$

Setelah itu, tahap ketiga yaitu dengan menentukan periode *Inter-green*, *lost time*, dan *Saturation flow*.

### a) Menentukan Periode *Inter-green*

Yang dimaksud dengan *inter-green* adalah waktu antara berakhirnya hijau suatu fase dengan berawalnya hijau fase berikut, panjang periode *intergreen* diperoleh dari waktu pengosongan dan masuk dari arus lalu lintas konflik mengacu pada titik konflik. Kegunaan dari *intergreen* adalah untuk menjamin agar kendaraan terakhir untuk fase terakhir dapat melewati titik konflik sebelum kendaraan pertama dalam fase berikutnya memasuki area yang sama. Fase waktu *Intergreen* terdiri dari lampu kuning dan lampu merah pada semua fase lampu. *Intergreen* sendiri dapat ditentukan dari konstanta berikut;

- Jarak minimal berhenti kendaraan terhadap lampu lalu lintas
- Tingkat penyelesaian satu fase pada persimpangan
- Lama waktu pejalan kaki menyebrang (jika ada, dan opsional)

Contoh dari *Intergreen Time* berdurasi 6 detik pada siklus 28 detik;



Gambar 2.11 Contoh *Intergreen time*  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Penentuan nilai dari siklus waktu lampu lalu lintas ditentukan dari konstanta yang telah disebutkan diatas, dengan tahapan yang runtut karena konstanta kedua dan ketiga (tingkat penyelesaian dan lama waktu pejalan kaki menyebrang) membutuhkan konstanta pertama untuk

meraih hasil yang diinginkan, berikut ini adalah rumus-rumus dari konstanta tersebut;

- Jarak minimal berhenti kendaraan terhadap lalu lintas (*Minimum Safe Stopping Distance*)

$$SD = \frac{1.47 * V_o * t_r + 2(1.47 * V_o)}{30(f \pm G)} \quad (2.6)$$

Dimana;

- $SD$  = Jarak minimal berhenti kendaraan (ft)
- $V_o$  = Kecepatan kendaraan (mp/h)
- $t_r$  = Reaksi pengendara (1.5-2.3s)
- $f$  = Gesekan ban terhadap material jalan (Bisa didapat pada tabel) ( $N$ )
- $G$  = *Slope grade* jalan (%)

Setelah menggunakan rumus tersebut dan nilai konstanta  $SD$  sudah ditemukan maka dapat melanjutkan ke tahapan selanjutnya;

- Tingkat penyelesaian satu fase pada persimpangan

$$T = \frac{(SD + L + W)}{(1.47 * V_o)} \quad (2.7)$$

Dimana;

- $T$  = Pembersihan kendaraan pada persimpangan (sec)
  - $V_o$  = Percepatan (mp/h)
  - $L$  = Panjang kendaraan (ft)
  - $SD$  = Jarak minimal berhenti kendaraan terhadap lalu lintas
  - $W$  = Lebar jalan (ft)
- Lama waktu pejalan kaki menyebrang, hal ini bersifat opsional untuk dilampirkan karena jika hasil dari konstanta ( $T$ ) sudah lebih besar dari konstanta ini ( $PCT$ ); (2.8)

$$PCT = \frac{W}{V}$$

Dimana;

- $PCT$  = Durasi waktu pejalan kaki menyebrang (sec)
- $W$  = Lebar persimpangan jalan (ft)
- $V$  = Kecepatan jalan pejalan kaki (biasanya 0.3m/s)

#### b) Menentukan *lost time*

*Lost time* adalah di mana tidak ada kendaraan yang dapat melewati persimpangan meskipun sinyal lalu lintas menampilkan lampu hijau. Total waktu yang hilang adalah jumlah dari dua elemen yang terpisah: waktu yang hilang pada awal fase (*Start-up lost time*) dan pemberesan fase (*Clearance lost time*). Waktu yang hilang saat start-up terjadi ketika sinyal lalu lintas berubah dari merah menjadi hijau. Beberapa waktu berlalu antara sinyal berubah dari merah menjadi hijau dan kendaraan yang antri pertama bergerak melalui persimpangan. Kemudian ada tambahan waktu untuk kendaraan berikutnya untuk mulai bergerak dan melewati persimpangan. Total waktu yang dibutuhkan untuk semua pengemudi yang menunggu untuk bereaksi terhadap lampu lalu lintas adalah yang dinamakan dan menginjak pedal gas sampai kendaraan benar-benar melaju adalah *start-up lost time*. Sedangkan *clearance lost time* adalah, waktu yang hilang pada saat sebuah kendaraan memakan waktu untuk berhenti pada akhir dari fase lampu hijau. *Lost time* ini selalu diukur dalam hitungan detik.

Untuk menentukan total *lost time*, *start-up lost time* dan juga *clearance lost time* harus dihitung terlebih dahulu, meskipun *start-up lost time* bisa dianggap 2 detik jika tidak melakukan observasi ke lapangan, hal ini diungkap pada jurnal penelitian oleh Fatemeh Baratian-Ghorghi, dkk (2015, hlm. 321). Tetapi, ada cara ilmiah untuk membuktikannya yaitu dengan menggunakan pernyataan bahwa;

$$l_1 = \Sigma \Delta i \quad (2.9)$$

Dimana;

- $I_1$  = *start-up lost time (sec/phase)*
- $\Delta i$  = penjumlahan waktu *headway* untuk beberapa kendaraan yang diukur

Karena *clearance time* tidak bisa diamati dilapangan karena persyaratan tertentu, yaitu beberapa kendaraan yang menunggu pada saat perpindahan lampu dari merah ke hijau, masih menunggu antrian didepannya sampai fase lampu hijau berakhir, hal ini menyebabkan ketidak-tentuan variabel karena banyak faktor yang mempengaruhi bagaimana hal tersebut terjadi, maka, untuk memudahkan pencarian nilai *clearance time* dapat menggunakan rumus;

$$l_2 = y + ar - e \quad (2.10)$$

Dimana;

- $l_2$  = *clearance lost time*
- $y$  = waktu lampu kuning
- $ar$  = jumlah waktu lampu merah dimana lampu lalu lintas disemua arah merah

- $e$  = porsi lampu kuning dan semua arah lampu merah pada saat kendaraan melewati batas pemberhentian lampu lalu lintas, biasanya memiliki nilai 2 (sec)

Kedua konstanta tersebut  $l_1$  dan  $l_2$  dapat untuk mencari total *lost time* dengan rumus;

$$t_L = l_1 + l_2 \quad (2.11)$$

### c) Menentukan *Saturation flow*

*Saturation flow* adalah tingkat kejenuhan arus lalu lintas pada satu persimpangan jalan /jam diasumsikan dengan lampu hijau yang menyala tanpa henti, yang mana maksudnya adalah kendaraan dapat melewati satu badan jalan menuju persimpangan jalan lainnya tanpa ada hambatan dan tidak ada *loss time* yang terbuang pada konstanta arus kendaraan/jam (veh/h). *Saturation flow* dihitung pada saat *bumper* belakang kendaraan pemakai badan jalan keempat menyentuh batas marka berhenti badan jalan dan perhitungan berhenti saat *bumper* depan kendaraan kelima menyentuh marka berhenti badan jalan. Konstanta ini yang disebut dengan *saturation headway* ( $h_s$ ).

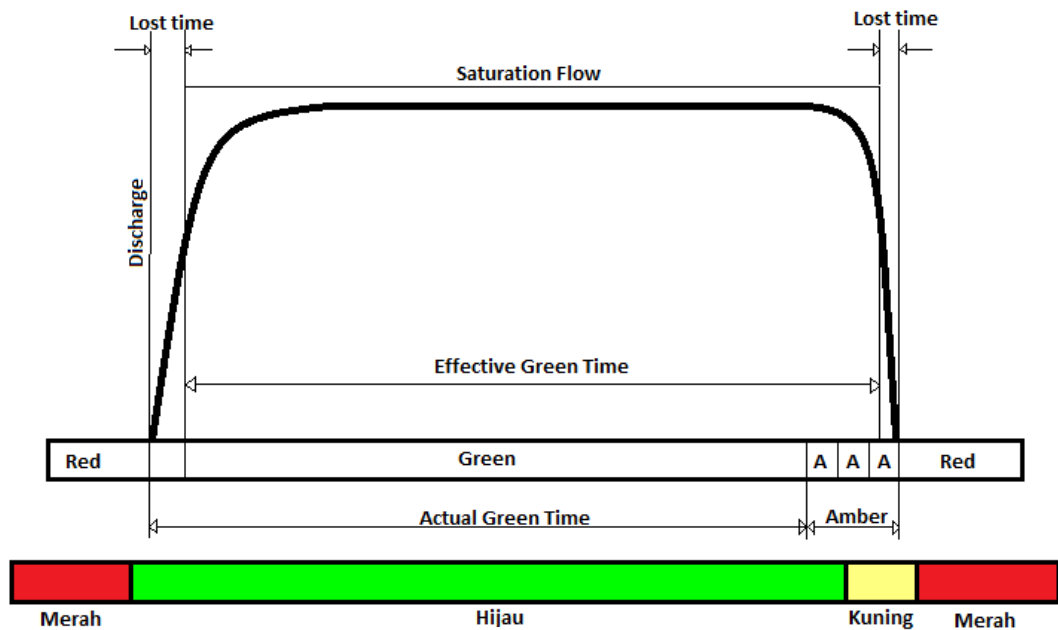
Hasil dari perhitungan *saturation flow* juga meng-indikasikan pontensi persimpangan jalan yang bekerja pada kondisi ideal. Maksud dari kondisi ideal tersebut, dijelaskan pada buku *The Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) yaitu;

- Lebar badan jalan satu arah sebesar 3.6m
- Tidak ada kendaraan berat



- *Grade slope* jalan tidak lebih dari 1%
- Tidak ada ruang parkir atau jalur pemberhentian bus
- Satu arah
- Tidak ada pejalan kaki/pengguna sepeda

Pada buku *The Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) dituliskan bahwa, *Saturation flow* yang ideal dalam satu jalur jalan kolektor adalah 1900 veh/h. Berikut ini adalah gambar alokasi waktu lampu lalu lintas yang dikemukakan oleh Turner dan Harahap (1993), yang ada pada semua model lampu lalu lintas baik *Fixed Timed Control*, *Ring Barrier Control*, maupun *Actuated Timed Control*



Gambar 2.12 Desain Lampu Lalu Lintas efektif  
(Sumber: Turner dan Harahap, 1993: 2)

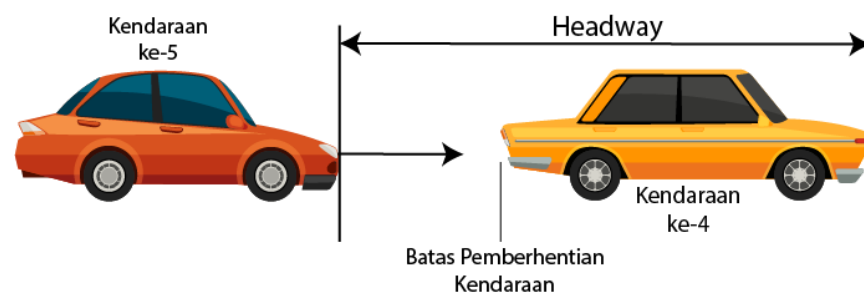
Saturation flow dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut;

$$s = \frac{3600}{h_s}$$

Dengan; (2.12)

- $s$  = Nilai *saturation flow rate*
- $h_s$  = *saturation headway*

*Saturation headway* dapat diamati dengan pengamatan langsung kelapangan, dengan keadaan tertentu, sederhananya, yang disebut dengan nilai *saturation headway* adalah;



Gambar 2.13 Contoh timing headway  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Konstanta ini dapat dengan mudah diobservasi karena hanya butuh dua kendaraan saja untuk menemukan hasil konstantanya, yaitu kendaraan ke-4 dan kendaraan ke-5. Alasan dipakainya mobil ke-4 dan ke-5 karena, pada saat pertama kali inisiasi lampu hijau pada lampu lalu lintas, pengemudi merasakan adanya *shockwave* dan perbedaan reaksi pengemudi terhadap lampu lalu lintas, jadi jika yang digunakan untuk mengukur *headway* adalah kendaraan pertama dan kedua pada proses antrian, maka hasil *benchmarknya* tidak akan akurat karena banyak faktor eksternal yang mempengaruhi hasil tersebut. Dan alasan dipakainya kendaraan ke-4 dan ke-5 karena tidak adanya faktor eksternal yang mempengaruhi, serta *flow ratio* yang sudah stabil.

Jika *headway* sudah bisa ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah memasukan hasil konstanta *headway* kedalam rumus yang tersedia untuk mencari *saturation headway*, berikut ini adalah rumus dari *saturation headway*;

$$h_s = \sum_{j=n}^l h_j / (l + 1 - n) = \frac{(h_7 + h_8 + h_{10} + h_{11} + h_{12} + h_n)}{(12 + 1 - n)} \quad (2.13)$$

**d) Mengkonversi satuan arus kendaraan menjadi satuan arus kendaraan penumpang (pcu/h)**

Menurut *Japan International Cooperation Agency (JICA)* dalam studi “*Karachi Transport Improvement Program*” dalam mengkonversi arus kendaraan menjadi satu konstanta, dibutuhkan unit konversi, yaitu (pcu/h). Sedangkan satuan arus kendaraan penumpang, dibagi menjadi 7 (tujuh) kategori yaitu;

Tabel 2.2 Pembagian satuan arus kendaraan penumpang  
(Sumber: Karachi Transport Improvement Program)

Model Kendaraan	Satuan (pcu/h)
Mobil/Jeep/Taxi/Van	1.00
Sepeda motor/Skuter	0.25
Becak/Bemo/Sejenisnya	0.50
Mobil pengangkut kecil (Pickups)	1.50
Mini bus	2.00
Bus	2.50
Truck dan Trailers	3.00

Dan satuan konversi tersebut bisa digunakan pada wilayah Indonesia karena sifat dari variasi kendaraan di jalan raya pada negara Indonesia, bersifat heterogen yang mana pengguna jalan raya bervariasi

mulai dari mobil sampai truck, dan tidak ada batasan formal terkait dengan larangan-larangan jenis kendaraan yang dapat memasuki suatu bagian jalan tertentu, sebagian besar masih belum bisa dibagi dengan rata.

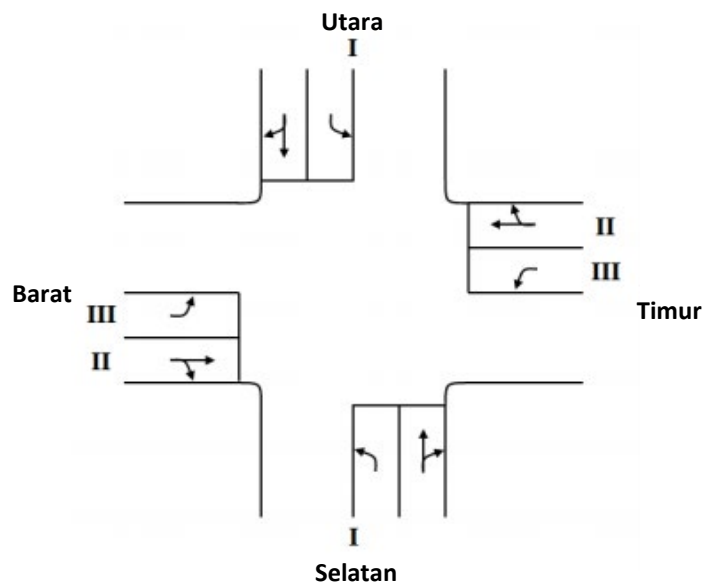
Adapun cara tersebut dianggap paling mudah untuk menyelesaikan konversi, tetapi banyak cara lain yang masih dapat ditempuh jika menginginkan hasil yang lebih presisi, yaitu dengan menggunakan metode;

- Koefisien Homogen
- Metode semi-empirik
- Metode Walker's
- Metode *headway*
- Metode regresi linear berganda
- Metode simulasi

**e) Menentukan *flow factor max* ( $y_{max}$ ) pada setiap arah jalan**

Pada awal subbab sudah dijelaskan mengenai faktor arus lalu lintas ( $y$ ) atau yang biasa disebut *flow factor*, tetapi untuk menentukan berapa total siklus waktu lalu lintas yang harus dibutuhkan pada persimpangan jalan maka *flow factor maximal* ( $y_{max}$ ) harus ditentukan, untuk menentukannya adalah dengan cara berikut;

- Membuat daftar belokan pada persimpangan jalan yang berpotensi untuk terjadi konflik dan menghitung *flow factor* pada setiap belokan,



Gambar 2.14 Gambaran belokan yang berpotensi sebagai konflik  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

- Pada gambar tersebut fase pertama adalah; 1) Bagian selatan, lurus dan belok kanan, bagian selatan belok kiri. 2) Bagian utara, lurus dan belok kanan, bagian utara belok kiri. Fase kedua; 1) Bagian timur lurus, dan belok kanan 2) Bagian barat lurus, dan belok kanan. Fase ketiga; 1) Bagian timur, belok kiri 2) Bagian barat belok kiri.
- Dengan mempertimbangkan zona kritis maka bandingkanlah *flow factor* dari setiap arah jalan tersebut, misalnya;

Tabel 2.3 Contoh pembuatan tabel flow factor  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Fase	Arah jalan	Flow/Saturation flow	Flow factor
1	Bagian selatan, lurus dan belok kanan, bagian selatan belok kiri	800/2000	0.40
		70/400	0.18
	Bagian utara, lurus dan belok kanan, bagian utara belok kiri	785/2000	0.39
		88/450	0.20
2	Bagian timur lurus dan belok kanan, bagian timur belok kiri	600/1900	0.31
3		230/1850	0.12
2	Bagian barat lurus dan belok kanan, bagian barat belok kiri	580/1900	0.30
3		210/1850	0.11

- Data tersebut diolah kembali, dibagi menjadi 3 fase, pada setiap fasenya dipilih *flow factor* terbanyak ( $y_{max}$ ) dalam kasus diatas, semisal pada fase pertama; Bagian selatan, lurus dan belok kanan, bagian selatan belok kiri yaitu mempunyai *flow factor* 0.40. Pada fase kedua; Bagian timur lurus dan belok kanan, mempunyai *flow factor* 0.31. Pada fase ketiga; Bagian timur belok kiri mempunyai *flow factor* 0.12

Dengan data *flow factor* diatas bisa dirumuskan, untuk mencari total  $y_{max}$  dapat dengan cara sebagai berikut;

$$Y = \Sigma y_{max} = y^1_{max} + y^2_{max} + y^3_{max} + \dots + y^n_{max} \quad (2.14)$$

### f) Menghitung siklus waktu yang optimal

Langkah-langkah diatas sangat dibutuhkan untuk mencari panjang waktu satu siklus lampu lalu lintas pada persimpangan jalan. Untuk menghitung siklus waktu yang optimal, maka dibutuhkan rumus;

$$C_o = \frac{1.5t_L + 5}{1 - \Sigma Y} \text{ second} \quad (2.15)$$

**Dimana;**

- $t_L$  = total *lost time* /siklus
- $\Sigma Y$  = total dari maksimum *flow factor* ( $y_{max}$ ) untuk semua fase lalu lintas, seperti yang telah dijelaskan diatas.
- $C$  = *Cycle time*

Setelah menemukan *cycle time*, maka tahap selanjutnya adalah menentukan berapa waktu yang dibutuhkan oleh lampu hijau, merah, dan kuning disetiap persimpangan jalan.

#### 2.2.5.2 Penentuan Durasi Lampu Kuning

Dalam menentukan durasi lampu kuning, beberapa faktor harus diperhatikan karena *phasing time* lampu kuning berperan penting dalam keselamatan pengemudi dan arus lalu lintas. Panjangnya durasi lampu kuning pada lampu lalu lintas bergantung pada banyak faktor, seperti; rata-rata kecepatan kendaraan, kecepatan reaksi pengendara terhadap

peristiwa yang terjadi, waktu rem dari kecepatan kendaraan sampai berhenti, dan keadaan jalan, serta kelas jalan.

Alasan mengapa penentuan durasi lampu kuning harus dihitung dan dioptimalisasi adalah dari beberapa studi kasus yang pernah dilakukan, seperti contohnya pada buku *Texas Transportation Institute: Evaluation of Photographic Traffic Signal Enforcement Systems in Texas* (2011, hlm. 220), dijelaskan bahwa di Texas, pada 275 persimpangan jalan dengan lampu kuning yang sudah sesuai standart, dilaporkan pengemudi yang menghiraukan lampu merah pada saat pergantian lampu hijau ke merah berkurang sebesar 23% pada tahun pertama. Setelah persimpangan jalan tersebut dipasang kamera pendeteksi kecepatan kendaraan, pelaku tersebut berkurang sebesar 27% pada tahun kedua, dan 21% pada tahun ketiga.

Adapun argumen yang menyangkut tentang lama lampu kuning menyala dalam persimpangan jalan, semakin lama lampu kuning menyala semakin aman juga persimpangan jalan tersebut, hal ini tidak benar karena menurut *Texas Transportation Institute: Evaluation of Photographic Traffic Signal Enforcement Systems in Texas* (2011), dijelaskan bahwa pengemudi akan menyebabkan masalah kedua yang mana pengemudi belajar tentang perilaku yang tidak aman dilakukan pada saat lampu kuning (menerobos lampu lalu lintas, dll) dan dapat menyebabkan tabrakan di persimpangan jalan yang lainnya.



Pada buku *Uniform Traffic Control Devices* (2009) dijelaskan bahwa, jika kecepatan rata-rata suatu persimpangan jalan tidak melebihi dari 90km/h maka durasi lampu kuning pada lampu lalu lintas masih bisa dikira-kira dengan tabel berikut;

Tabel 2.4 Penentuan durasi lampu berdasarkan kecepatan  
(Sumber: The Federal Highway Administration's Manual)

Kecepatan Rata-rata ( $\bar{v}$ )	Durasi lampu kuning $Y(v)$
40km/h	3.0 Detik
48km/h	3.5 Detik
56km/h	4.0 Detik
64km/h	4.5 Detik
72km/h	5.0 Detik
80km/h	5.5 Detik
88km/h	6.0 Detik

Tetapi dijelaskan bahwa waktu yang telah ditentukan berdasarkan kecepatan rata-rata akan ketidakefektifan, Untuk itu, untuk menentukan lama waktu lampu kuning dihitung dengan rumus;

$$Y(v) = T_{pr} + \frac{V_a}{2 d_r + 2 g G_r} \quad (2.16)$$

Dimana;

- $Y(v)$  = Durasi lampu kuning
- $d_r$  = Deceleration rate, (10ft/s<sup>2</sup>)
- $g$  = Gravitational accelarion, (32ft/s<sup>2</sup>)
- $G_r$  = Grade jalan
- $T_{pr}$  = Waktu reaksi pengemudi
- $V_a$  = Kecepatan kendaraan pada saat datang (ft/s<sup>2</sup>)

### 2.2.5.3 Penentuan Durasi Lampu Hijau dan Lampu Merah

Dengan menggunakan batasan peraturan yang sudah disebutkan diatas, maka, untuk menentukan durasi lampu hijau dan lampu merah maka Jika ingin mencari alokasi waktu lampu lalu lintas, beberapa langkah harus dijalani terlebih dahulu, yaitu;

- I. Membuat tabel laju kendaraan ( $\lambda$ ) dan pelayanan ( $\rho=\lambda/\mu$ ) (Tabel ini mempunyai data asumsi sehingga dapat memudahkan pembacaan. Data asumsi yang dimasukkan yaitu; Arus kendaraan, dan *Saturation flow*, dan Siklus waktu ( $r$  )

Arah Kendaraan	Kedatangan ( $\lambda$ )	Pelayanan ( $\rho$ ) $\rho=\lambda/\mu$	$X = \lambda/2(1-\rho)$
SJ	500 Veh/h / 3600 s/h = 0.138 veh/s	0.292	0.097
BJ	600 Veh/h / 3600 s/h = 0.166 veh/s	0.352	0.128
UJ	800 Veh/h / 3600 s/h = 0.222 veh/s	0.470	0.209
TJ	700 Veh/h / 3600 s/h = 0.194 veh/s	0.411	0.165
$\mu$	1700 Veh/h / 3600 s/h = 0.472 veh/s		

- II. Setelah menemukan konstanta yang diperlukan, langkah selanjutnya yaitu menghitung total penundaan ( $X$ ) (*total delay*) pada semua badan jalan dengan rumus sebagai berikut;

$$D_t = \frac{\lambda_{SJ}r^2_{SJ}}{2(1-\rho_{SJ})} + \frac{\lambda_{BJ}r^2_{BJ}}{2(1-\rho_{BJ})} + \frac{\lambda_{UJ}r^2_{UJ}}{2(1-\rho_{UJ})} + \frac{\lambda_{TJ}r^2_{TJ}}{2(1-\rho_{TJ})} \quad (2.17)$$

- III. Dengan menggunakan metode substitusi, dengan data yang sudah tersedia, maka didapatkan;

$$D_t = 0.0974r^2_{SJ} + 0.128r^2_{BJ} + 0.209r^2_{UJ} + 0.165r^2_{TJ}$$

$$D_t = 0.0974r_{SJ}^2 + 0.128r_{BJ}^2 + 0.209(60 - r_{UJ}^2) + 0.165(60 - r_{TJ}^2)$$

IV. Karena lampu lalu lintas pada jalan bagian selatan-utara dan barat-timur memiliki waktu yang sama, maka dapat diasumsikan;

$$D_t = 0.0974r_{SJ}^2 + 0.128r_{BJ}^2 + 0.209(60 - r_{SJ}^2) + 0.165(60 - r_{BJ}^2)$$

$$D_t = 0.6r_{SJ}^2 + 45r_{BJ} + 1346$$

V. Dengan hasil *total delay* yang sudah didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah menggunakan diferensial untuk menentukan waktu lampu merah

$$\frac{d}{dx} = 0.6r_{SJ}^2 + 45r_{BJ} + 1346 = 0$$

$$\frac{d}{dx} = 1.2r_{SJ} + 45 + 0 = 0$$

$$= 1.2r_{SJ} = 45 \tag{2.18}$$

$$= r_{SJ} = \frac{45}{1.2}$$

$$r_{SJ} = 37.5s$$

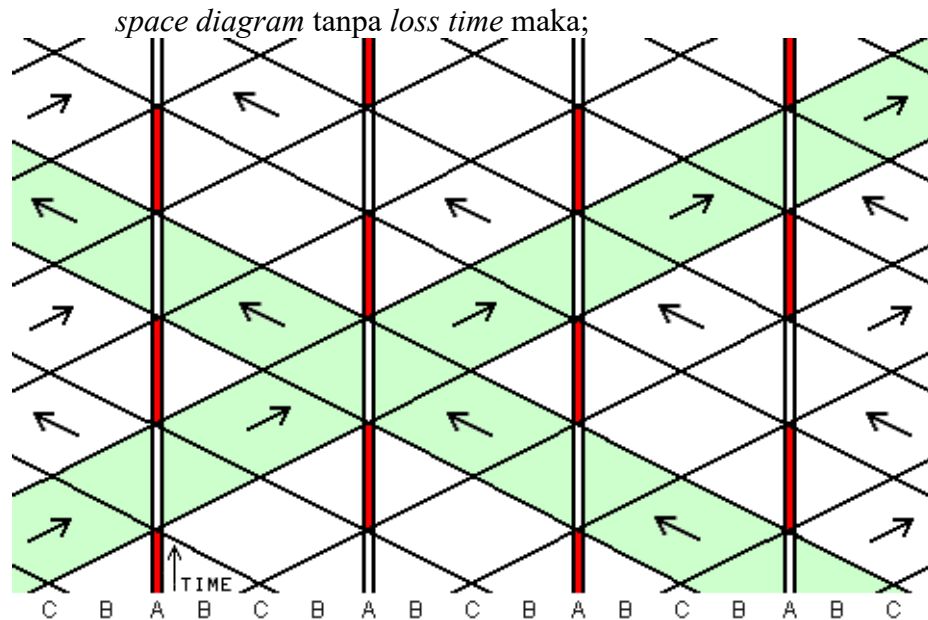
VI. Jika konstanta  $r_{SJ}$  sudah dihitung maka, kembali lagi ke penjelasan awal yang mana mengatakan bahwa satu siklus lampu lalu lintas sebesar 60 detik, dari sini kita bisa menyimpulkan bahwa

$$r_{SJ} = \text{Total siklus} - \text{waktu lampu merah}$$

$$= 60s - 37.5s$$

$$= 22.5s$$

VII. Dengan menggunakan *two-way street, single alternate time*



Gambar 2.15 Two-way street, single alternate time space diagram  
(Sumber: [www.midimagic.sgc-hosting.com](http://www.midimagic.sgc-hosting.com))

$$\begin{aligned} r_{SJ} + g_{SJ} &= r_{UJ} + G_{UJ} = 60s \\ r_{BJ} + g_{BJ} &= r_{TJ} + G_{TJ} = 60s \end{aligned} \quad (2.19)$$

Yang mana menyimpulkan bahwa  $g_{SJ} = r_{BJ} = r_{TJ}$  sehingga hasil dari  $r_{BJ}$  dan  $r_{TJ}$  adalah 22.5s sedangkan  $r_{SJ} = g_{BJ} = g_{TJ}$  sehingga hasil dari  $g_{BJ} = g_{TJ}$  adalah 37.5s

## 2.2.6 Arduino Mega 2560

Tabel 2.5 Spesifikasi Arduino Mega 2560  
(Sumber: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc))

Microcontroller	ATmega2560
Tegangan Kerja	5V
Tegangan Masukan (Disarankan)	7-12V
Tegangan Masukan (Limit)	6-20V
Pin Digital I/O	54 (15 PWM output)
Pin Input Analog	16
Arus DC Pin I/O	20 mA
Arus DC Pin 3.3V	50 mA
Flash Memory	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Kecepatan Clock	16 MHz
LED_BUILTIN	13

Arduino Mega 2560 adalah *single-board microcontroller* yang akan digunakan pada penelitian kali ini. Microcontroller berbasis dari ATmega2560 dengan perbedaan yaitu minimum sistem yang sudah dirangkai, seperti yang kita tahu bahwa suatu microcontroller tidak bisa bekerja tanpa adanya suatu rangkaian minimum sistem didalamnya seperti contohnya; rangkaian xtal, *communication port*, power supply, rangkaian *reset button*, dll. Arduino Mega 2560 ini memiliki 54 digital I/O terbagi menjadi 15 PWM Output, 16 Analog Input, 4 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) komunikasi *bidirectional* Serial to USB, 16MHz osilator kristal, ICSP header (berfungsi untuk *bootloader arduino*)

Alasan dipilihnya Arduino Mega 2560 sebagai basis pemrosesan program dari penelitian ini adalah karena Arduino Mega

2560 adalah varian dari produk Arduino yang paling banyak memiliki I/O. Berikut ini adalah data sheet dari Arduino Mega 2560, selain itu Arduino sendiri adalah salah satu microcontroller yang sangat bisa dikustomisasi sesuai keinginan dan juga memiliki fitur IDE (*Integrated Development Environment*) yang mana dapat mengkonversi bahasa pemrograman C/C++ yang kita tulis pada software, ke bahasa mesin Arduino, hal ini dapat memudahkan proses pemrograman karena bahasa C adalah bahasa yang dekat dengan *human language*



Gambar 2.16 Bentuk dari Arduino Mega 2560  
(Sumber: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc))

### 2.2.7 Sensor Inframerah



Gambar 2.17 Bentuk dan Pinout IR Obstacle Sensor  
(Sumber: [www.wiki.eprolabs.com](http://www.wiki.eprolabs.com))

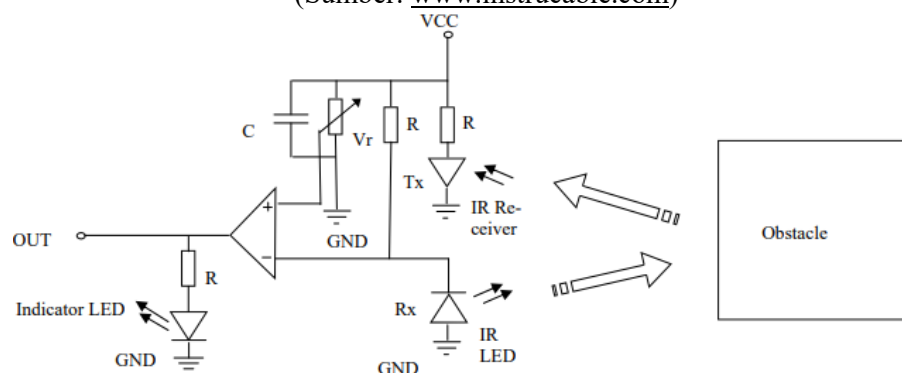
TCRT5000 adalah sebuah sensor inframerah yang dapat membaca gelombang yang dipancarkan oleh ultrasonik transmitter, yang mempunyai jarak kurang lebih 2 cm hingga 30cm. Sensor ini dapat dengan mudah digunakan pada mikrokontroler karena menggunakan tiga buah pin yang

terdapat pada sensor tersebut, yaitu dua buah pin supply daya untuk sensor ultrasonik dan satu pin output yang mengirimkan sinyal ke arduino

Sensor inframerah bekerja dengan cara memancarkan gelombang inframerah sesaat dan kemudian akan menghasilkan output berupa pulsa yang sesuai dengan waktu pantulan dari sinar inframerah yang dipancarkan sesaat kemudian kembali menuju sensor.

Kategori	Nilai
Tegangan Kerja	DC 3.3V-5V
Arus kerja	$\geq 20\text{mA}$
Suhu kerja	$-10^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$
Jarak Deteksi	2-30cm
Output Sinyal	Low (Jika ada halangan) High (Jika tidak ada halangan)
Sudut efektif	$35^{\circ}$
Ukuran	28mm x 23mm
Berat	9g

Tabel 2.6 Spesifikasi IR Obstacle Sensor  
(Sumber: [www.instructable.com](http://www.instructable.com))



Gambar 2.18 Skema IR Obstacle Sensor  
(Sumber: [www.instructable.com](http://www.instructable.com))

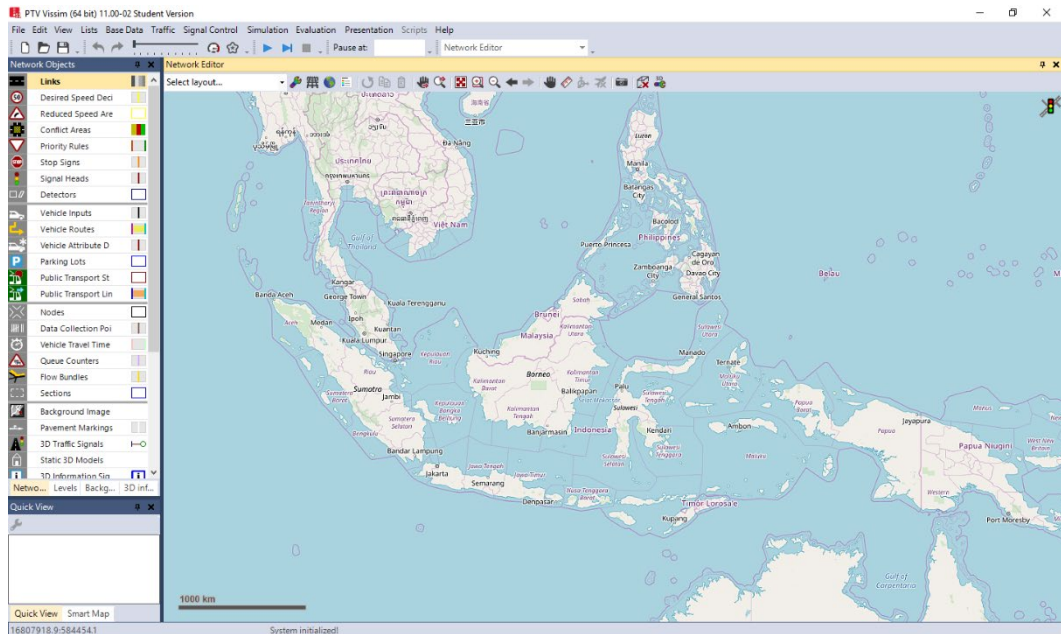
Biasanya pada sensor harus memiliki rangkaian amplifier yang berfungsi untuk mengurangi ripple tegangan serta meregulasi besaran yang dihasilkan oleh sensor tersebut. Gambar diatas menunjukkan rangkaian op-amp yang difungsikan sebagai Komparator pembanding tegangan postif yang berguna untuk membandingkan level tegangan analog dengan tegangan analog yang lainnya dan menghasilkan sinyal output berdasarkan perbandingan tegangan. IR Obstacle Sensor ini mempunyai jarak (dalam satuan centimeter) pemancaran inframerah yang bisa disetel sesuai keinginan dengan minimal pembacaan 2cm – 30cm. Sensor ini hanya bisa mendeteksi jika dalam jarak tertentu ada object yang menghalangi sinar inframerahnya atau tidak, oleh karena itu, data yang dihasilkan dari sensor ini adalah data digital yaitu 0 (Low/Tidak ada object dalam range 2-30cm) dan 1 (High/Ada object dalam range 2-30cm).

### **2.2.8 PTV Vissim**

PTV Vissim (Verkehr In Städten – Simulationsmodell - Traffic in cities - simulation model) adalah software *branch* yang dikembangkan oleh PTV Group pada tahun 1992 yang mempunyai beberapa versi terdiri dari; Home edition (Personal license), Business edition (Multi-license), dan Student edition (Limited license). Pada penelitian kali ini, peneliti memakai versi Student edition, yang menurut peneliti memiliki fitur yang sudah cukup lengkap selain simulasi. Software ini mempunyai fungsi khusus yaitu analisa jalur lalu lintas dan juga modeling 3D terhadap simulasi. Dipilihnya software ini sebagai simulasi akhir dari penelitian karena praktis dan tidak



memakan banyak waktu, selain itu, seperti Matlab, menu yang dibutuhkan sangatlah mudah untuk ditemukan. Berikut ini adalah tampilan awal dari PTV Vissim;



Gambar 2.19 Tampilan halaman awal PTV Vissim  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

## 2.2.9 Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan adalah sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan saraf biologi. Di mana jaringan saraf tiruan menyerupai otak manusia dalam mendapatkan pengetahuan yaitu dengan proses *learning* (belajar) dan menyimpan pengetahuan yang didapat di dalam kekuatan koneksi antarneuron (Islam, & MJ, 2009, hlm. 2)

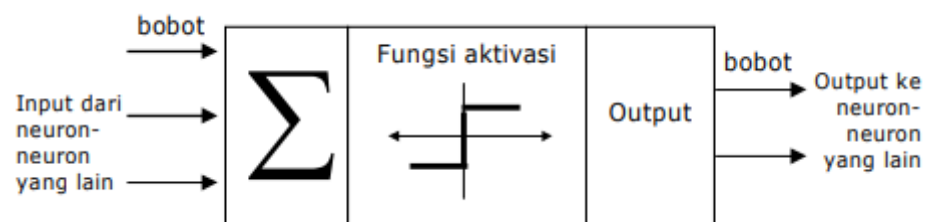
Menurut Siang (2005, hlm. 22) JST dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan saraf biologi, dengan asumsi bahwa :

1. Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (neuron)

2. Sinyal dikirimkan diantara neuron-neuron melalui penghubung-penghubung
3. Penghubung antar neuron memiliki bobot yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal
4. Untuk menentukan output, setiap neuron menggunakan fungsi aktivasi (biasanya bukan fungsi linier) yang dikenakan pada jumlahan input yang diterima. Besarnya output ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang.

JST ditentukan oleh 3 hal :

1. Pola hubungan antar neuron (disebut arsitektur jaringan)
2. Metode untuk menentukan bobot penghubung (disebut metode *training/learning/algorithm*)
3. Fungsi aktivasi

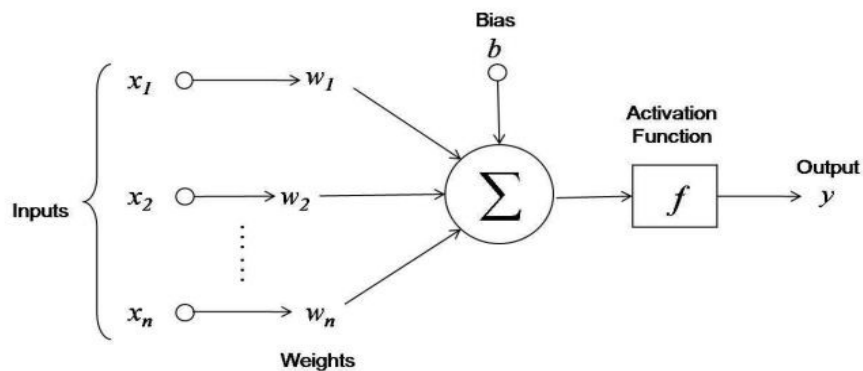


Jika kita lihat, neuron buatan ini sebenarnya mirip dengan sel neuron biologis. Neuron-neuron buatan tersebut bekerja dengan cara yang sama pula dengan neuron-neuron biologis. Informasi (disebut dengan: *input*) akan dikirim ke neuron dengan bobot kedatangan tertentu. *Input* ini akan diproses

oleh suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang datang.

Hasil penjumlahan ini kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu melalui *fungsi aktivasi* setiap neuron. Apabila input tersebut melewati suatu nilai ambang tertentu, maka neuron tersebut akan diaktifkan, tapi kalau tidak, maka neuron tersebut tidak akan diaktifkan. Apabila neuron tersebut diaktifkan, maka neuron tersebut akan mengirimkan output melalui bobot-bobot outputnya ke semua neuron yang berhubungan dengannya. (Julpri Andika, 2018)

Seperti contohnya pada gambar 2.20 dimana suatu neuron memiliki 3 input dan 1 output;



Gambar 2.20 Arsitektur iaringan svaraf tiruan  
(Sumber: [www.towardsdatascience.com](http://www.towardsdatascience.com))

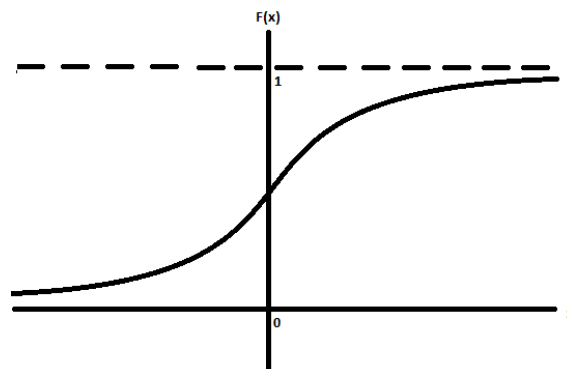
Output Y menerima input dari  $\Sigma$  yang mana menerima input neuron dari  $x_1$ ,  $x_2$  dan  $x_3$  dengan bobot hubungan masing-masing adalah  $w_1$ ,  $w_2$  dan  $w_3$ , serta menjumlahkan *bias*.

### 2.2.10 Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi adalah operasi dasar dari syaraf tiruan yang terdiri dari bobot sinyal input yang kemudian menghasilkan suatu output. Bentuk dari persamaan fungsi sigmoid biner, fungsi sigmoid biner diperlukan dalam *backpropagation*. Fungsi yang digunakan adalah fungsi sigmoid biner karena jaringan saraf tiruan membutuhkan nilai output yang terletak pada interval 0 sampai 1 (JJ Siang, 2005)

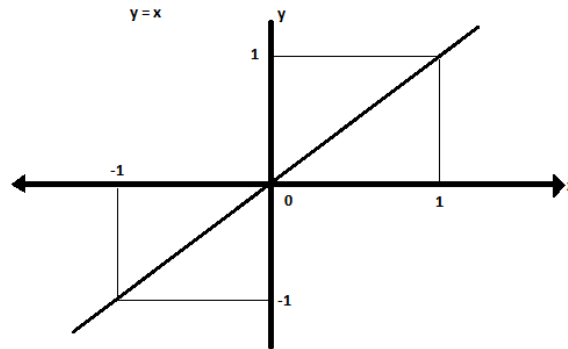
$$\text{Net} = f(x) \begin{cases} 1 & \text{if } w.x + b \geq 0 \\ 0 & \text{if } w.x + b < 0 \end{cases}$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\sigma \cdot \text{net}}}$$



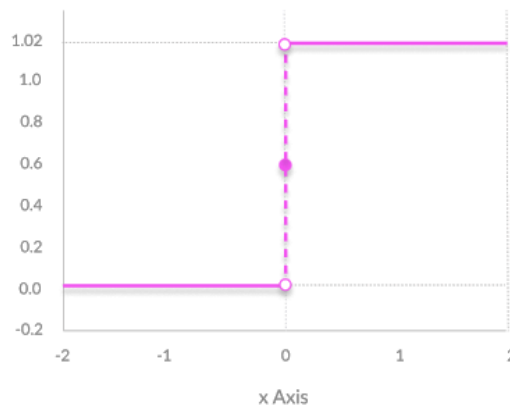
Gambar 2.21 Aktivasi Sigmoid Biner  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

Tetapi fungsi aktivasi dalam Neural Network tidak hanya terbatas pada aktivasi Sigmoid Biner, tetapi juga ada beberapa fungsi aktivasi lagi, seperti fungsi aktivasi Linear, yang mana pada nilai input dan outputnya adalah sama, fungsi aktivasi binary step yang mana jika nilai input lebih kecil ataupun lebih besar terhadap *threshold* atau batas nilai, maka neuron akan diaktifkan dan mengirim hasilnya ke *layer* selanjutnya.



Gambar 2.22 Aktivasi Linier  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

$$f(x) = x, \text{ untuk semua } x$$



Gambar 2.23 Aktivasi Binary Step  
(Sumber: [medium.com](https://www.medium.com))

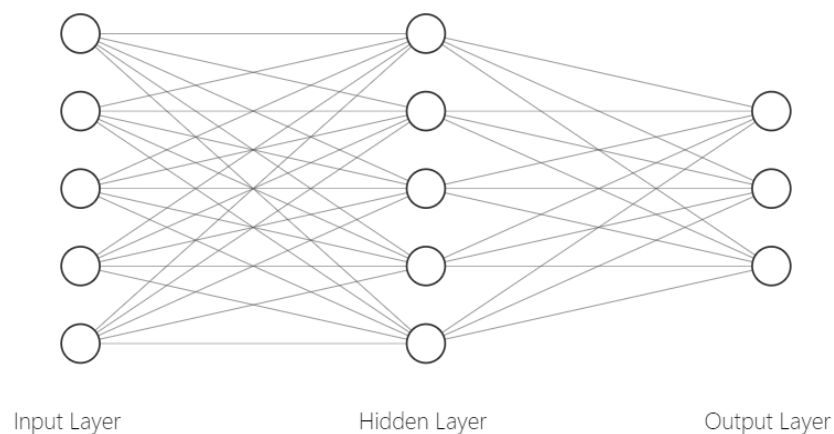
$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x \geq 0 \\ 1 & \text{untuk } x < 0 \end{cases}$$

### 2.2.11 Backpropagation

Jaringan saraf tiruan *backpropagation* merupakan salah satu model dari jaringan saraf tiruan umpan maju dengan menggunakan pembelajaran terawasi yang disusun berdasarkan pada algoritma *error backpropagation* yang didasarkan pada aturan pembelajaran koreksi kesalahan (*error correction learning rule*). Arsitektur Jaringan saraf tiruan *backpropagation*

terdiri dari unit masukan, unit *layer*\_tersembunyi dan unit keluaran (Mutiani et al. 2014, pp. 9). Algoritma backpropagation menggunakan error output untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (backward). Untuk mendapatkan error ini, tahap perambatan maju (feedforward) harus dikerjakan terlebih dahulu (Haribowo, R. 2018, pp. 12).

Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan model *backpropagation* dibagi menjadi tiga *layer* pendukung, yaitu;



Gambar 2.24 Arsitektur *Backpropagation*  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

1. Lapisan Input (*input layer*) adalah jaringan saraf terdiri dari neuron input buatan, dan membawa data awal ke dalam sistem untuk diproses lebih lanjut oleh lapisan neuron tiruan berikutnya.
2. Lapisan tersembunyi (*hidden layer*) adalah lapisan di antara lapisan input dan lapisan output, di mana neuron buatan mengambil satu set input berbobot dan menghasilkan output melalui fungsi aktivasi.
3. Lapisan output (*output layer*) adalah lapisan neuron terakhir yang menghasilkan keluaran yang diberikan untuk program.

### 2.2.12 Algoritma Genetika

Menurut Goldberg (1989), Algoritma Genetika adalah algoritma pencarian yang didasarkan atas mekanisme seleksi alami (*natural selection*) dan evolusi biologis (*evolution*). Algoritma genetika mengkombinasikan antara deretan struktur dengan pertukaran informasi acak ke bentuk algoritma pencarian dengan beberapa perubahan bakat pada manusia. Pada setiap generasi, himpunan baru dari deretan individu dibuat berdasarkan kecocokan pada generasi sebelumnya .

Untuk mencapai hasil yang diinginkan pada algoritma genetika, maka lima fase algoritma harus dijalankan, fase yang ada yaitu;

1. Populasi Awal (*Initial Population*)
2. Fungsi Kecocokan (*Fitness Function*)
3. Seleksi (*Selection*)
4. Perkawinan Silang (*Crossover*)
5. Mutasi (*Mutation*)

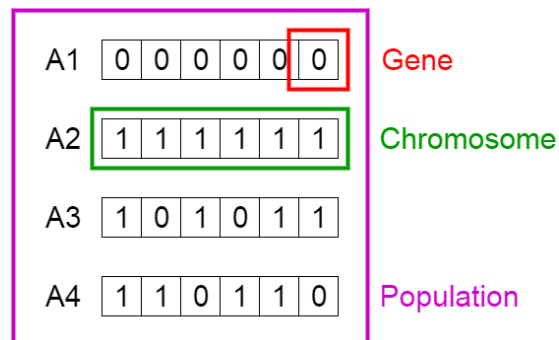
Dengan penjelasan setiap tahap adalah sebagai berikut;

1. Populasi Awal (*Initial Population*)

Proses data Algoritma Genetika dimulai dengan beberapa kumpulan individu yang disebut dengan populasi, setiap individu yang ada merupakan jawaban terhadap masalah yang ingin dipecahkan. Setiap individu ditandai dengan variabel yang disebut dengan gen (*genes*), dari gen tersebut bergabung membentuk suatu rentetan variabel menjadi sebuah kromosom (*Chromosome*) atau

sebuah solusi, contoh dari gen, kromosom, dan populasi ada pada gambar dibawah ini. Gen ditunjukkan dengan A1, *chromosome* ditunjukkan oleh A2, dan populasi ditunjukkan oleh A4

## 2. Fungsi Kecocokan (*Fitness Function*)



Gambar 2.25 Arsitektur *Algoritma Genetika*  
(Sumber: [medium.com](https://www.medium.com))

Fungsi Kecocokan (*Fitness Function*) berfungsi untuk memberikan nilai kecocokan suatu individu terhadap populasi, nilai kecocokan ini didapat dari data yang dihasilkan suatu individu terhadap individu yang lain. Semakin besar nilai kecocokan gen terhadap populasi, maka individu tersebut mempunyai peluang besar untuk dipilih pada tahap seleksi.

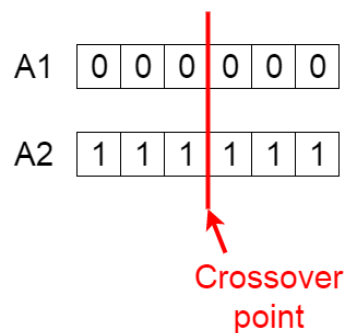
## 3. Seleksi (*Selection*)

Fungsi dari seleksi adalah untuk memilih individu yang mempunyai nilai kecocokan (*Fitness Score*) yang paling besar pada *Fitness Function* untuk kemudian meloloskan gen individu tersebut ke generasi selanjutnya. Individu yang mempunyai *fitness score* paling besar disebut *parents*.



#### 4. Perkawinan Silang (*Crossover*)

Perkawinan silang adalah proses yang paling penting pada algoritma genetika. Untuk sepasang *parents* yang dikawinkan, titik perkawinan silang (*crossover point*) dipilih secara acak pada gen yang ada, contoh dari *crossover point* adalah sebagai berikut;

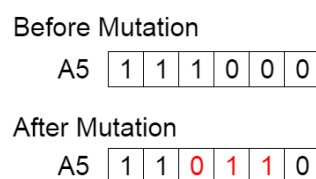


Gambar 2.26 *Crossover Point* Algoritma Genetika.  
(Sumber: [medium.com](https://www.medium.com))

Pada proses ini, setiap gen menciptakan keturunan (*Offspring*) yang ditentukan dengan cara bertukar *parents gene* terhadap A1 dan A2. Pertukaran ini berhenti sampai *crossover point* tercapai.

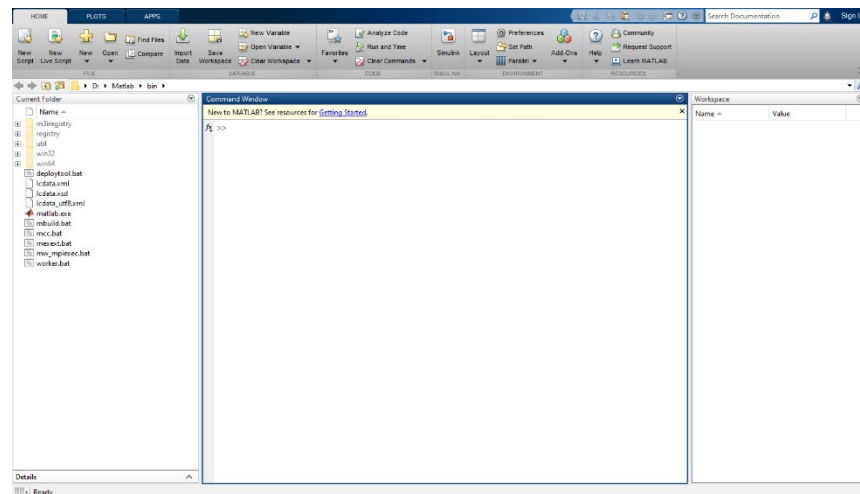
#### 5. Mutasi (*Mutation*)

Pada saat *offspring* baru terbentuk, beberapa dari gen yang ada mengalami mutasi dengan probabilitas acak yang kecil. Mutasi ini diartikan bahwa beberapa data pada gen tersebut bisa berubah, seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.27 *Mutation* Algoritma Genetika.  
(Sumber: [medium.com](https://www.medium.com))

### 2.2.13 MATLAB R2019b



Gambar 2.28 *User Interface* MATLAB R2019b  
(Sumber: Dokumentasi Peneliti)

MATLAB (Matrix Laboratory) adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada awalnya, program ini merupakan interface untuk koleksi rutin-rutin numeric dari proyek LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan menggunakan bahasa FORTRAN namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan assembler (Arhami, M, 2005).

MATLAB merupakan merk software yang dikembangkan oleh Mathworks.Inc. merupakan software yang paling efisien untuk perhitungan numeric berbasis matriks. Dengan demikian jika di dalam perhitungan kita dapat menformulasikan masalah ke dalam format matriks maka MATLAB merupakan software terbaik untuk penyelesaian numericnya. MATLAB

yang merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi berbasis pada matriks sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Sehingga Matlab banyak digunakan pada : ( 1 ) Matematika dan Komputansi, (2) Pengembangan dan Algoritma, (3) Pemrograman modeling, simulasi, dan pembuatan prototype, (4) Analisa Data , eksplorasi dan visualisasi, (5) Analisis numerik dan statistic, dan (6) Pengembangan aplikasi teknik (Cahyono, B., 2013, hlm. 45).

Penggunaan MATLAB versi R2019b ini adalah, karena perusahaan Mathworks Inc. hanya memberikan *trial* atau *demo program* berupa versi terbaru MATLAB, yaitu pada kasus ini adalah versi R2019b. Kekurangan dari *software demo* ini adalah, terpisahnya modul-modul program yang digunakan untuk penelitian, oleh sebab itu, peneliti harus mengunduh modul tersebut secara terpisah. Dipakainya MATLAB untuk perhitungan matematis khususnya dalam melatih jaringan saraf tiruan adalah, lebih mudah digunakan karena *User Interface* yang ditawarkan bersifat *straight-forward* sehingga pengguna dapat mudah mencari menu yang diinginkan. Saran penggunaan Matlab untuk penelitian tingkat dasar-menengah bersifat individual atau skala kecil dikemukakan oleh Ozghur (2017, hlm. 363) dengan lingkungan percobaan penelitian terhadap *big data* bisnis dan statistik.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut;

1. Dari hasil simulasi rangkaian yang dilakukan, terdapat *delay rise to peak voltage condition* jika sensor inframerah mendeteksi kendaraan, *delay* tersebut berbeda dengan sensor terapan FC-51 yang memiliki *delay* pembacaan sebesar 300 $\mu$ s, sedangkan pada simulasi *delay rise to peak voltage condition* yang ditimbulkan oleh modul sensor sebesar 175 $\mu$ s.
2. Hasil dari perbandingan data lapangan, data optimasi, dan data sensor adalah; Penurunan total delay sebesar 22.7% Untuk data lapangan terhadap data optimasi, dan peningkatan volume kendaraan sebesar 1.75% untuk data lapangan terhadap data optimasi.
3. Hasil dari pemodelan jaringan syaraf tiruan yang paling tepat mendekati target adalah pada TRAINGDX40, dimana fungsi pelatihan tersebut adalah TRAINGDX (*Gradient Descent dengan momentum dan Adaptive Learning Rate*), dan fungsi transfer TANSIG dengan jumlah neuron 40. Pada konfigurasi jaringan syaraf tiruan ini, R yang dihasilkan adalah sebesar 0.99686, dan MSE sebesar 7.3423e-03 pada

epoch 10000. Banyaknya variasi besaran iterasi pada pelatihan jaringan syaraf tiruan ini disebabkan karena, program MATLAB akan berhenti melakukan pelatihan jika; Jumlah iterasi maksimal tercapai, Batas waktu pelatihan tercapai, MSE sudah mendekati *goal (default 0)*, gradien performa menurun dari batas *min\_grad (default 1e-7)* dan validasi data terhadap performa bertambah melewati batas *max\_fail (default 10000)*. Dan jika sebuah iterasi jauh dari *goal* maka performa dari bobot neuron ditambah dari variabel *lr\_inc (default 1.05)* dan jika performa variabel melewati batas *max\_perf\_inc (default 1.07)* maka bobot neuron akan dikurangi nilainya dari *lr\_dec (default 0.7)*. Sebenarnya banyak yang lebih akurat dari TRAINGDX40 ini, tetapi setelah dihitung margin error dari kelima konfigurasi, TRAINGDX ini memiliki margin error sebesar – 0.20% yang mana, margin error tersebut adalah margin yang paling mendekati target.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya yaitu;

1. Penulis mempertimbangkan untuk menggunakan *Linear Time and Space Algorithm* untuk mengoptimasi siklus lampu lalu lintas.
2. Selain dengan menggunakan PTV Vissim, penulis juga ingin melakukan penelitian menggunakan SUMO (Simulation Urban Mobility), karena selain program ini adalah *open-source*, program ini juga mempunyai banyak fitur yang tidak terbatas. Hal ini dirasakan oleh peneliti saat menggunakan PTV Vissim *Student Edition* karena banyak dari fitur berguna dari Vissim tidak bisa dibuka.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adacher, L. 2012. *A global optimization approach to solve the traffic signal synchronization problem*. *Procedia - Social and Behavioral Science*. Vol. 54 pp. 1270-1277.
- Adria, A. 2011. *Perancangan Pengontrolan Traffic Light Otomatis*. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, Vol. 9 No. 3 pp 126–131. <https://doi.org/10.17529/jre.v9i3.161>.
- Ananta, H., Purbawanto, S., Mulwida, A. 2013. *Pelatihan Perakitan Dan Perbaikan Komputer Untuk Meningkatkan Kualitas Remaja Panti Asuhan Yatim Piatu Putra "Baiti Jannati" Kota Semarang*. *Rekayasa*. Vol. 11 No. 1.
- Arhami, M., 2005,. *Konsep Dasar Sistem Pakar*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Baratian, F., Huaguo, Z., & Wasilefsky, I., 2015. *Impacts of Red Light Photo Enforcement Cameras on Clearance Lost Time at Signalized Intersections*. 94th Transportation Research Board Annual Meeting.
- Bishop, M. 1995. *Neural Networks for Pattern Recognition*. Oxford: Clarendon Pers.
- Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Bandung: Bina Karya
- Cahyono, B. 2013. *Penggunaan Software Matrix Laboratory (Matlab) Dalam Pembelajaran Aljabar Linier*. *Jurnal Phenomenon*. Vol. 1 No. 1 pp. 45-62.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Pelatihan Road Design Engineer (RDE)*. Jakarta: Pusat Pembinaan Kompetensi Dan Pelatihan Konstruksi.
- Felki, F., Bahaweres, B., R., Alaydrus, M. 2015. *Analysis of interference from wireless traffic light controller upon remote keyless entry for vehicles*. Paper presented at 1st International Conference on Wireless and Telematics: Manado.
- Faradiba. 2017. *Pengenalan Pola Sinyal Suara Manusia Menggunakan Metode Back Propagation Neural Network*. Jakarta: Universitas Kristen Indonesia.
- Fehon, K., Peters, J. 2010. *Adaptive Traffic Signals, Comparison and Case Studies*. Paper presented at the ITE Western District Annual Meeting in San Francisco: California.
- Ghazal, B., Khatib, K., Chahine, K., & Kherfan, M. 2016. *Smart Traffic Light Control System*. IEEE. ISBN: 978-1-4673-6941-1.

- Goldberg, D. E. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning*. New York: Addison-Wesley.
- Haribowo, R., 2018. *Application of artificial neural network for defining the water quality in the river*. Civil and Environmental Science Journal. Vol. 1, No. 1. pp 12-18.
- Idaho Transportation Department. 2019. *Traffic Manual: Idaho Supplementary Guidance to the MUTCD*. Idaho: Idaho Transportation Department.
- Islam, M., J., dkk. 2009. *Neural Network Based Handwritten Digits Recognition- An Experiment and Analysis*. Canada: University of Windsor.
- Kareem, E., Abbas, S., & Salman, M. 2014. *Intelligent traffic light controller based on MCA associative memory*. Science Journal of Circuits, Systems and Signal Processing. Vol. 3 No. 6 pp. 6-16.
- Kittelson & Associates, Inc. 2008. *Traffic Signal Timing Manual*. Texas: Texas Transportation Institute.
- Koutaki, G. 2015. *Traffic Light Signal Parameters Optimization Using Particle Swarm Optimization*, (May).<https://doi.org/10.1109/ISITIA.2015.7219945>.
- Kusmiyati., Siti., M., & Sri. 2005. *Analisa Kinerja Lalu Lintas Simpang Jalan Perintis Kemerdekaan – Jalan Setia Budi (Simpang Terminal Banyumanik – Simpang Mall Swalayan Ada) Dan Pemecahannya Traffic Performance Intersection Analysis and Solution of Perintis Kemerdekaan Street – Setia Budi Street (Banyumanik Terminal Intersection – ADA Supermarket Intersection)*. Undergraduate thesis. F. Teknik Undip.
- Levinson, L., Garrison, D., & Michael, C. 2009. *Fundamentals Of Transportation*. Minnesota: University of Minnesota.
- Litman, T. 2019. *Generated Traffic and Induced Travel Implications for Transport Planning*. ITE Journal. Vol. 71, No. 4
- McGehee, D., Mazzae, E., & Baldwin, Scott. 2000. *Driver Reaction Time in Crash Avoidance Research: Validation of a Driving Simulator Study on a Test Track*. Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings.
- Mohammad, Tarek. 2009. *Using Ultrasonic and Infrared Sensors for Distance Measurement*. World Academy of Science, Engineering and Technology. Vol. 3 pp. 273-278.



- Mutiani etc. 2014. *Perancangan Dan Implementasi Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation Untuk Mendiagnosa Penyakit Kulit*. *Jurnal Masyarakat Informatika*. Vol. 5 No. 10 pp. 9-18.
- National Research Council. 2000. *Highway Capacity Manual: Transportation Research Board*. United States of America: National Academy of Science.
- Ozgun, C., Dou, M., Li, Y., & Rogers, G. 2017. *Selection of Statistical Software for Data Scientists and Teachers*. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*. Vol. 16 No. 1, pp. 753-774.
- Poyen, F., Bhakta, A., Manohar, D., & Ali, I. 2016. *Density Based Traffic Control*. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*. Vol. 2 No. 8 pp. 1379-1384. ISSN : 2454-1311.
- Putranto, S., L., Setyarini, E., S., P., L., N. 2011. *Vehicle Composition and Lane Distribution in Multilane Highways in Indonesian Cities*. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. Vol. 16 pp. 374-381.
- PTV AG. 2018. *PTV VISSIM 11 User Manual*. Karlsruhe: PTW Group.
- Rahmaniah., Nugroho, A., & Rahmani, B. 2008. *Sistem Informasi Parkir Menggunakan Sensor Infra Merah Terkendali Mikrokontroler AT89C51*. *Jurnal Progresif*. Vol. 4 No. 1 pp. 365-430.
- Rasyid, N., Sunarya, U., & Ramadan, D. 2016. *Perancangan Pengendali Lampu Lalu Lintas Menggunakan Sistem On Chip dan Sistem On Grid*. e-Proceeding of Applied Science, Vol. 2 No. 3 pp 1351–1358.
- Rizwan, M., Krishnan, N., Karthikeyan., & Kumar, R. 2016. *Multi Layer Perception Type Artificial Neural Network based Traffic Control*. *Indian Journal of Science and Technology*. Vol. 9 No. 5 pp.1-6.
- Siang, J. J. 2005. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Studer, L., Ketabdari, M., & Marchionni, G. 2015. *Analysis of Adaptive Traffic Control Systems Design of a Decision System for Better Choices*. *Journal of Civil Environ Eng*. Vol. 5 No. 6 pp. 1-10. <https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000195>.
- Sugiyono. 2008. *Metode penelitian pendidikan: (pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R & D)*. Penerbit Alfabeta: 2008.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009. *Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*. Jakarta.

Wang, Y., & Yang, X. 2018. *A Review of the Self-Adaptive Traffic Signal Control System Based on Future Traffic Environment*. Journal of Advanced Transportation. Vol. 2018 No. 4 pp. 12.

Zakaria, M., AL-Shebany, M., Sarhan S. 2014. *Artificial Neural Network : A Brief Overview*. Int. Journal of Engineering Research and Applications. ISSN : 2248-9622, Vol. 4, pp 07-12.