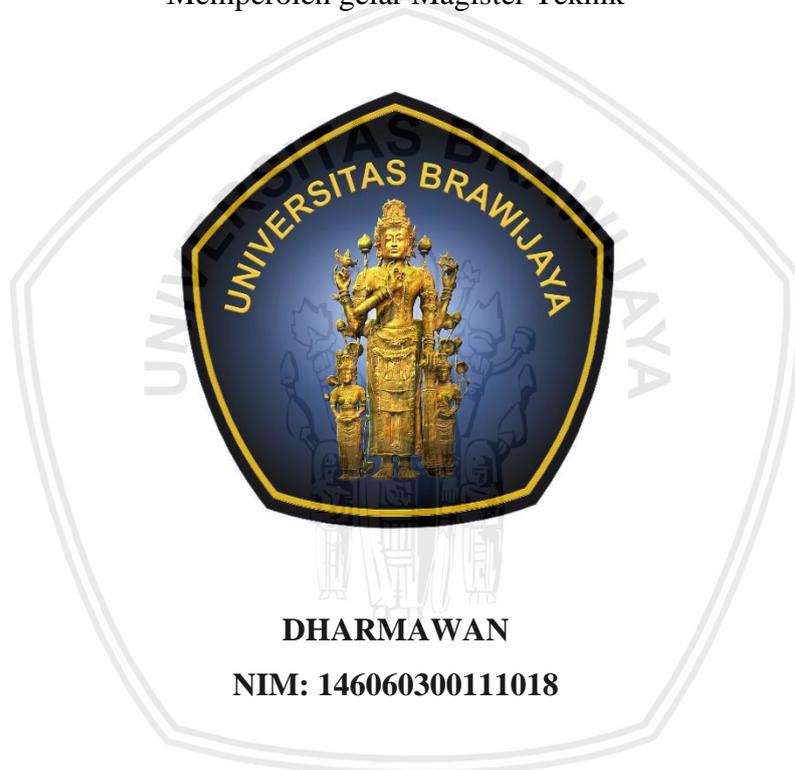


**IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC*
UNTUK KENDALI SINYAL LALU LINTAS KENDARAAN
PADA *TRAFFIC LIGHT***

TESIS
PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
SISTEM KONTROL DAN ELEKTRONIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Magister Teknik



DHARMAWAN

NIM: 146060300111018

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

TESIS

**IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK KENDALI SINYAL LALU LINTAS
KENDARAAN PADA *TRAFFIC LIGHT***

telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggalNopember.....
dinyatakan telahmemenuhisyarat
untuk memperolehgelar MagisterTeknik

DHARMAWAN

NIM: 146060300111018

KOMISI PEMBIMBING

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 19771102 200604 2 003

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM

NIP. 19730520 200801 1 013

Malang,

Universitas Brawijaya

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, ST., MT.

NIP. 19700329 200012 1 001

JUDUL TESIS :

**IMPLEMENTASI *FUZZY LOGIC* UNTUK KENDALI SINYAL LALU LINTAS
KENDARAAN PADA *TRAFFIC LIGHT***

Nama Mahasiswa : Dharmawan
NIM : 146060300111018
Program Studi : Teknik Elektro
Kekhususan / Minat : Sistem Kontrol dan Elektronis

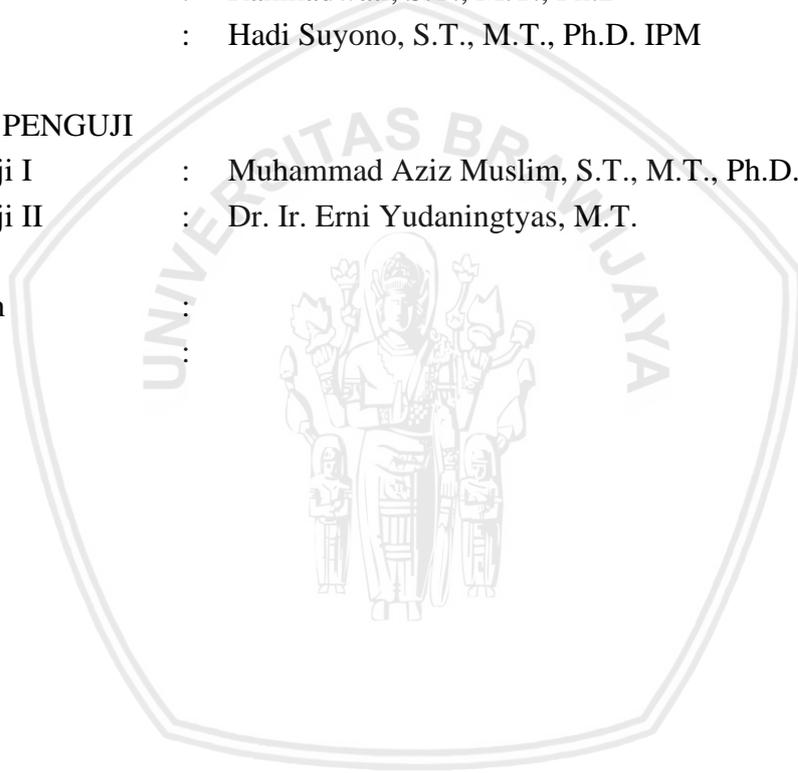
KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D
Anggota : Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Muhammad Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D..
Dosen Penguji II : Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T.

Tanggal Ujian :
SK Penguji :



RIWAYAT HIDUP

Dharmawan, dilahirkan di Nganjuk 22 Desember 1986 dari pasangan Adi. dan Mami. Pendidikan SD, SMP dan SMA diselesaikan di kota Nganjuk. Lulus SMK pada tahun 2005, kemudian melanjutkan studi di jurusan Teknik Elektronika Industri PENS-ITS Surabaya dengan bidang konsentrasi Otomasi Industri. Setelah menyelesaikan studinya di tahun 2009, penulis bekerja sebagai pengajar di SMK Negeri 8 Malang hingga tahun 2011. Selepas itu penulis bekerja sebagai Dosen Teknik Elektro di Sekolah Tinggi Teknik Atlas Nusantara Malang hingga sekarang. Pada tahun 2014 hingga 2018, penulis melanjutkan studi magister di Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya dengan minat bidang Sistem Kontrol dan Elektronis.



UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji bagi Allah SWT, atas segala karunia yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan karya ilmiah ini. Dalam pelaksanaan pembuatan tesis ini, penulis juga banyak menerima bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan rasa hormat penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu antara lain:

1. Kedua orang tua dan keluarga penulis atas dukungan yang sudah diberikan.
2. Ibu Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D. dan bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. IPM. selaku Pembimbing, terima kasih atas semua arahan dalam penyelesaian penelitian tesis ini.
3. Bapak Muhammad Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan ibu Dr. Ir. Erni Yudaningtyas, M.T. selaku dewan penguji, terima kasih atas saran dan masukannya yang membuat penelitian ini menjadi lebih detail.
4. Bapak Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro, beserta seluruh dosen pengajar dan staf di Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya atas sistem pembelajaran dan ilmu pengetahuan yang sudah diberikan.
5. Seluruh rekan-rekan di SKE 2014 dan 2015.

Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang secara langsung maupun tidak langsung turut membantu menyelesaikan Tesis ini, terima kasih atas segala dukungan dan doa yang diberikan kepada penulis, semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayat sebagai imbalan atas kebaikannya.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB III TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Manajemen Lalu Lintas	5
2.1.2 Sasaran Manajemen Lalu Lintas	5
2.1.3 Strategi dan Teknik Manajemen Lalu Lintas	6
2.1.4 Manajemen Kapasitas	7
2.1.5 Manajemen Prioritas	7
2.2 Sistem Lampu Lalu Lintas (<i>Traffic light</i>)	7
2.2.1 Manfaat <i>Traffic light Control</i>	8
2.2.2 Tipe-Tipe Komponen Sinyal Lalu Lintas dan Pengoperasiannya	9
2.3 Pengolahan Citra Digital	9
2.3.1 Konversi Citra Warna (<i>RGB</i>) ke Citra Skala Keabuan (<i>Grayscale</i>).....	10
2.3.2 <i>Gaussian Filter</i>	10
2.3.3 <i>Background Subtraction</i>	11
2.3.4 <i>Frame Differencing</i>	12
2.3.5 <i>Thresholding</i>	13
2.4 <i>Fuzzy Logic Control</i>	13
2.4.1 Komponen dasar logika <i>fuzzy</i>	14
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN	17
3.1 Kerangka Penelitian	17
3.2 Ekstraksi Informasi Lalu Lintas	19
3.3 Ekstraksi <i>Weight</i>	20
3.4 Kontrol Logika Fuzzy untuk Pewaktuan Lampu Hijau	21

3.5	Hipotesis	21
BAB IV METODE PENELITIAN.....		23
4.1	Tahap Penelitian.....	23
4.2	Alat dan Bahan.....	23
4.3	Pengambilan Data	24
4.4	Perancangan Sistem	25
4.4.1	Ekstraksi volume kendaraan terhadap jalan.....	25
4.4.2	Kontrol Logika <i>Fuzzy</i> untuk Nilai <i>Weight</i>	26
4.4.3	Kontrol Logika <i>Fuzzy</i> untuk Pewaktuan Lampu Hijau.....	28
4.4.4	Desain Simulasi <i>Traffic Light</i>	30
4.5	Analisa dan Pengujian.....	31
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN		33
5.1	Studi Literatur	33
5.2	Pengambilan Data	34
5.2.1	Akuisisi Data Kepadatan Kendaraan (<i>Traffic Density</i>).....	34
5.2.2	Akuisisi Nilai Beban (<i>Weight</i>).....	36
5.2.3	Penentuan Pewaktuan Lampu Hijau	39
5.3	Hasil Pengujian Simulasi sistem	43
5.3.1	Simulasi <i>Traffic Light</i> 3 Jalur.....	43
5.3.2	Simulasi <i>Traffic Light</i> 4 Jalur.....	51
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		65
6.1	Kesimpulan	65
6.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA.....		67

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Strategi dan teknik manajemen lalu lintas	6
Tabel 4.1	Basis aturan logika <i>fuzzy</i> untuk <i>weight</i>	28
Tabel 4.2	Basis aturan logika <i>fuzzy</i> untuk pewaktuan lampu hijau	30
Tabel 5.1	<i>fixed-time</i> vs <i>fuzzy logic</i> control pada <i>traffic light</i> 3 jalur.....	51
Tabel 5.2	<i>fixed-time</i> vs <i>fuzzy logic</i> control pada <i>traffic light</i> 4 jalur.....	63



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Penentuan lokasi entri pada kernel filter.....	10
Gambar 3.1	Kerangka umum manajemen lalu lintas.....	17
Gambar 3.2	Kerangka konsep penelitian.....	18
Gambar 3.3	Skema <i>background subtraction</i>	20
Gambar 3.4	Ekstraksi nilai <i>Weight</i>	20
Gambar 3.5	Metode pewaktuan lampu hijau	21
Gambar 4.1	Tahapan penelitian.....	23
Gambar 4.2	Ilustrasi pengambilan video dari jembatan penyeberangan.....	25
Gambar 4.3	Skema Ekstraksi <i>Density</i>	26
Gambar 4.4	Desain kontrol logika <i>fuzzy</i> untuk nilai <i>Weight</i>	27
Gambar 4.5	Desain kontrol logika <i>fuzzy</i> untuk pewaktuan lampu hijau	29
Gambar 4.6	Skema <i>traffic light</i>	30
Gambar 5.1	Penampakan video <i>traffic.avi</i>	34
Gambar 5.2	Simulasi <i>background subtraction</i> untuk akuisisi data <i>Traffic density</i>	35
Gambar 5.3	Grafik kepadatan kendaraan terhadap jalan (<i>Traffic density</i>).....	36
Gambar 5.4	Pembebanan <i>Medium, Medium, Medium</i>	44
Gambar 5.5	Traffic density jalur 2 (<i>Medium, Medium, Medium</i>).....	45
Gambar 5.6	Optimasi waktu tunggu jalur 2 (<i>Medium, Medium, Medium</i>).....	46
Gambar 5.7	Traffic density jalur 2 (<i>Light, Medium, Medium</i>)	47
Gambar 5.8	Optimasi waktu tunggu jalur 2 (<i>Light, Medium, Medium</i>)	48
Gambar 5.9	Traffic density jalur 2 (<i>Heavy, Light, Light</i>).....	49
Gambar 5.10	Optimasi waktu tunggu jalur 2 (<i>Heavy, Light, Light</i>).....	50
Gambar 5.11	Pembebanan <i>Medium, Medium, Medium, Medium</i>	52
Gambar 5.12	Traffic density jalur 2 (<i>Medium, Medium, Medium, Medium</i>)	53
Gambar 5.13	Optimasi waktu tunggu jalur 2 (<i>Medium, Medium, Medium, Medium</i>)....	54
Gambar 5.14	Traffic density jalur 2 (<i>Light, Medium, Medium, Medium</i>).....	55
Gambar 5.15	Optimasi waktu tunggu jalur 2 (<i>Light, Medium, Medium, Medium</i>)	56
Gambar 5.16	Traffic density jalur 2 (<i>Light, Light, Medium, Medium</i>).....	57
Gambar 5.17	Optimasi waktu tunggu jalur 2 (<i>Light, Light, Medium, Medium</i>).....	58
Gambar 5.18	Traffic density jalur 2 (<i>Light, Medium, Light, Medium</i>).....	59
Gambar 5.19	Optimasi waktu tunggu jalur 2 (<i>Light, Medium, Light, Medium</i>).....	60

Gambar 5.20 Traffic density jalur 2 (*Light, Light, Light, Medium*) 61
Gambar 5.21 Optimasi waktu tunggu jalur 2 (*Light, Light, Light, Medium*)..... 62



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah kendaraan di jalan secara eksponensial telah menambah kepadatan lalu lintas di sebagian besar perkotaan. Infrastruktur jalan yang terbatas dalam mengakomodasi kepadatan lalu lintas memperburuk tingkat kepadatan dan kemacetan di jalan. Waktu tempuh kendaraan yang tak terduga dan waktu tunggu di persimpangan yang cukup signifikan menjadi penyebab utama konsumsi energi dan emisi gas (Schrank, Eisele, Lomax, 2015). Salah satu pendekatan yang dilakukan sebagian besar perkotaan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan melakukan perluasan jalan raya. Akan tetapi usaha tersebut akan memakan biaya besar dan di sebagian kota-kota besar tidak banyak ruang kosong yang dimiliki untuk perluasan jalan raya. Di samping itu perluasan jalan juga berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah kendaraan di jalan.

Alasan umum kemacetan lalu lintas adalah karena prioritas *traffic light* yang buruk, di mana dalam beberapa situasi, kepadatan jalur lalu lintas yang kurang dari yang lain diberi durasi sinyal hijau yang sama untuk keduanya (Parthasarathi dkk, 2015). Dalam beberapa kasus, *traffic light* diatur dengan metode pewaktuan yang tetap (*fixed timing*). Pengendali akan menggunakan siklus waktu tetap dalam perubahan lampu. Metode yang lain, *traffic light* diatur dengan skema '*time of the day*'. Pengaturan ini pada dasarnya menggunakan sejumlah pola tertentu yang telah ditetapkan berdasarkan data historis dan menerapkan pola-polanya berdasarkan hari (Kulkarni dan Waingankar, 2007).

Investasi dengan modal rendah yang dapat dilakukan untuk mengurai kepadatan jalan adalah dengan melakukan optimasi manajemen *traffic light*. Sebuah sistem kontrol lalu lintas akan sangat efektif dalam memaksimalkan kapasitas jalan dengan memvariasikan waktu lampu lalu lintas sesuai dengan permintaan secara *real time*. Pewaktuan lampu lalu lintas yang sesuai akan mampu mengurangi tingkat antrian di persimpangan jalan dan mengurai antrian kendaraan sesuai dengan kebutuhan. Hal ini mengundang banyak peneliti untuk mengembangkan sistem kontrol *traffic light* yang handal dalam mengakomodasi dan mengurangi tingkat kemacetan di perkotaan.

Pada penelitian Yulianto (2003) dilakukan eksperimen berupa simulasi *traffic light* pada persimpangan empat jalur dengan kontrol *fuzzy*. Variabel masukan yang di gunakan adalah panjang maksimum antrian dan rata-rata antrian yang di kumpulkan dari siklus sebelumnya untuk memperoleh nilai beban pada setiap jalur. Beban jalur kemudian dijadikan masukan *fuzzy* dan hasil dari kalkulasi beban tersebut adalah output *fuzzy* berupa pewaktuan lampu hijau. Sistem kontrol *fuzzy* yang diusulkan dan pengendali konvensional *fixed-time* yang dioptimalkan menghasilkan sedikit perbedaan dalam hasil dalam hal waktu tempuh rata-rata dan penundaan rata-rata saat digunakan dalam kasus dengan arus lalu lintas konstan.

Dalam penelitian Soh, Rhung, Sarkan (2010) Mencoba melakukan eksperimen untuk persimpangan empat jalur dengan kontrol *fuzzy* menggunakan metode Sugeno. Dalam penelitian ini memanfaatkan masukan berupa jumlah kedatangan kendaraan dan panjang antrian kendaraan dengan output *fuzzy* berupa penambahan lama waktu lampu hijau menyala. Metode yang digunakan telah menunjukkan performa yang handal untuk diterapkan pada persimpangan 4 jalur. Dalam Jurnal Mehan (2011) juga diterapkan metode *fuzzy* yang hampir sama. Masukan berupa jumlah kedatangan kendaraan dan panjang antrian dengan keluaran *fuzzy* berupa pewaktuan lampu hijau. Kontrol yang diterapkan memberikan waktu hijau yang sesuai untuk meningkatkan kapasitas lalu lintas secara efektif dan mengurangi waktu tunggu di persimpangan, yang dapat menjamin kendaraan tidak menunggu terlalu lama di jalan.

Dalam Jurnal penelitian serupa Adam dkk (2014) telah melakukan eksperimen kontrol adaptif pada *traffic light* pada persimpangan dengan tiga jalur terisolasi. Sistem kontrol adaptif terdiri dari dua masukan dan satu keluaran *fuzzy*. Masukan diambil dari data jumlah kendaraan dan persentase jumlah kendaraan sedangkan keluaran *fuzzy* berupa skema pewaktuan lampu hijau. Percobaan simulasi dilakukan untuk membandingkan kinerja pengontrol logika *fuzzy* dengan pengendali konvensional *fixed-time*. Dapat diamati dari hasil eksperimen tersebut bahwa sistem kontrol logika *fuzzy* memberikan kinerja yang lebih baik dalam hal total waktu tunggu serta total waktu pergerakan kendaraan. Kurangnya waktu tunggu dapat diasumsikan mampu mengurangi konsumsi bahan bakar, mengurangi polusi udara dan kebisingan.

Untuk mendukung sebuah sistem *traffic light* yang cerdas dan handal, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mendapatkan data kepadatan lalu lintas di setiap jalur di persimpangan. Parthasarathi dkk, (2015) dalam jurnalnya menjelaskan bahwa, untuk

mendukung kemampuan *traffic light* dalam melakukan akuisisi data kepadatan lalu lintas adalah dengan memanfaatkan kamera yang terpasang di persimpangan jalan. Dengan menggunakan metode *background subtraction* mampu diperoleh nilai kepadatan lalu lintas mendekati kondisi nyata. Dalam Jurnal Tahmid dan Hossain (2017) juga menjelaskan hal serupa. Dalam penelitiannya digunakan metode deteksi tepi untuk pemrosesan *frame* gambar yang diperoleh dari *camera* untuk mengakuisisi nilai kepadatan lalu lintas.

Mengacu pada persoalan yang paparkan pada paragraf sebelumnya, solusi yang diajukan dalam penelitian ini adalah kendali lalu lintas menggunakan komputasi logika *fuzzy* dengan bantuan *image processing* sebagai pemroses data kepadatan lalu-lintas yang diambil dari video. Beberapa metode *fuzzifikasi* yang umum digunakan adalah metode Mamdani, Tsukamoto dan Sugeno. Saepullah dan Wahono (2015) dalam jurnalnya telah membuat komparasi dari ketiga metode *fuzzifikasi* pada implementasi mereduksi konsumsi energi. Hasil komparasi dari tiga metode *fuzzifikasi* di jelaskan bahwa metode Tsukamoto merupakan metode yang paling efektif dibandingkan Mamdani dan Sugeno. Proses *fuzzifikasi* yang dipilih adalah metode Tsukamoto dengan variable masukan dari kepadatan lalu lintas di jalur sekarang (n) dan jalur selanjutnya ($n+1$) dengan keluaran *fuzzy* berupa pewaktuan lampu hijau. Sedangkan *image processing* yang akan digunakan adalah metode *background Subtraction*. Diharapkan dengan adanya sistem kendali lalu lintas dengan kombinasi logika *fuzzy* dan *image processing* ini mampu memetakan tingkat kepadatan sekaligus memberi pewaktuan lampu hijau di masing-masing jalur dengan tepat. Harapan yang ingin diperoleh adalah berkurangnya permasalahan kemacetan yang diakibatkan oleh metode pewaktuan di persimpangan jalan yang buruk bisa di minimalisir.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang yang ada, fokus permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana mengakuisisi data kepadatan kendaraan (*density*) dari *frame* video yang diambil dengan kamera.
- b. Bagaimana mengkomparasi implementasi metode *fixed-time* dan *fuzzy logic control* pada simulasi *traffic light* 3 jalur dan *traffic light* 4 jalur

1.3 Tujuan Penelitian

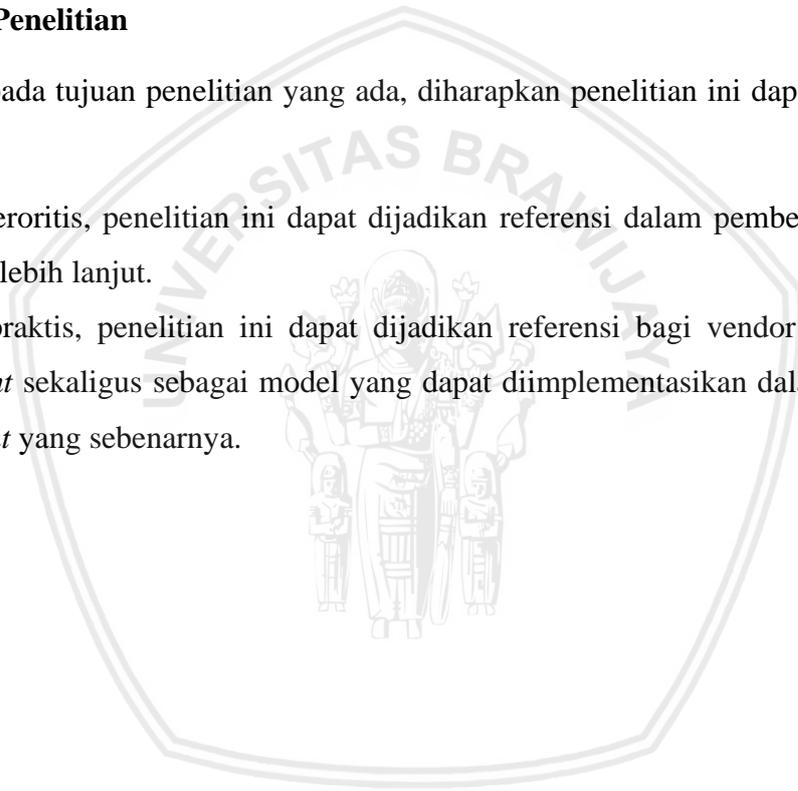
Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengakuisisi data kepadatan kendaraan (*density*) dari *frame* video yang diambil dengan kamera
- b. Mengkomparasi hasil implementasi metode *fixed-time* dan *fuzzy logic control* pada simulasi *traffic light* 3 jalur dan *traffic light* 4 jalur berupa siklus perpindahan, waktu tunggu dan nilai maksimum *density*

1.4 Manfaat Penelitian

Merujuk pada tujuan penelitian yang ada, diharapkan penelitian ini dapat memberi kontribusi pada:

- a. Manfaat teoritis, penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam pembelajaran dan penelitian lebih lanjut.
- b. Manfaat praktis, penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi vendor konstruksi *traffic light* sekaligus sebagai model yang dapat diimplementasikan dalam aplikasi *traffic light* yang sebenarnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Lalu Lintas

Manajemen lalu lintas adalah pengelolaan dan pengendalian arus lalu lintas dengan melakukan optimasi penggunaan prasarana yang ada untuk memberikan kemudahan kepada lalu lintas secara efisien dalam penggunaan ruang jalan serta memperlancar sistem pergerakan (Dep.PU, 1990). Hal ini berhubungan dengan kondisi arus lalu lintas dan sarana penunjangnya pada saat sekarang dan bagaimana mengorganisasikannya untuk mendapatkan penampilan yang terbaik.

2.1.1 Tujuan Manajemen Lalu Lintas

Tujuan dilaksanakannya manajemen lalu lintas adalah:

- a. Mendapatkan tingkat efisiensi dari pergerakan lalu lintas secara menyeluruh dengan tingkat aksesibilitas (ukuran kenyamanan) yang tinggi dengan menyeimbangkan permintaan pergerakan dengan sarana penunjang yang ada.
- b. Meningkatkan tingkat keselamatan dari pengguna yang dapat diterima oleh semua pihak dan memperbaiki tingkat keselamatan tersebut sebaik mungkin.
- c. Melindungi dan memperbaiki keadaan kondisi lingkungan dimana arus lalu lintas tersebut berada.
- d. Mempromosikan penggunaan energi secara efisien.

2.1.2 Sasaran Manajemen Lalu Lintas

Sasaran manajemen lalu lintas sesuai dengan tujuan di atas adalah:

- a. Mengatur dan menyederhanakan arus lalu lintas dengan melakukan manajemen terhadap tipe, kecepatan dan pemakai jalan yang berbeda untuk meminimumkan gangguan untuk melancarkan arus lalu lintas.

- b. Mengurangi tingkat kemacetan lalu lintas dengan menambah kapasitas atau mengurangi volume lalu lintas pada suatu jalan. Melakukan optimasi ruas jalan dengan menentukan fungsi dari jalan dan terkontrolnya aktifitas-aktifitas yang tidak cocok dengan fungsi jalan tersebut.

2.1.3 Strategi dan Teknik Manajemen Lalu Lintas

Terdapat tiga strategi manajemen lalu lintas secara umum yang dapat dikombinasikan sebagai bagian dari rencana manajemen lalu lintas. Teknik-teknik tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Strategi dan teknik manajemen lalu lintas

Strategi	Teknik
Manajemen kapasitas	1. Perbaiki persimpangan
	2. Manajemen ruas jalan
	a. Pemisahan tipe kendaraan
	b. kontrol "On Street Parking"
	c. Pelebaran Jalan
	3. Area traffic control
	a. Batasan tempat membelok
b. Sistem jalan satu arah	
c. Kordinasi lampu lalu lintas	
Manajemen prioritas	1. Prioritas, misal jalur khusus bus dan sepeda motor
	2. Akses angkutan barang
	3. Daerah pejalan kaki
	4. Rute Sepeda
	5. Kontrol daerah parkir
Manajemen Demand (Renstraint)	1. Kebijakan parkir
	2. Penutupan jalan
	3. Area and cordon licensing
	4. batasan fisik

Sumber :Dep.PU (1990)

2.1.4 Manajemen Kapasitas

Langkah utama dalam manajemen lalu lintas adalah membuat penggunaan kapasitas dan ruas jalan seefektif mungkin, sehingga pergerakan lalu lintas yang lancar merupakan syarat utama. Dalam manajemen kapasitas terdapat banyak teknik yang dapat digunakan dalam mengatasi masalah dari berbagai sisi. Manajemen kapasitas adalah hal yang termudah dan teknik manajemen lalu lintas yang paling efektif untuk diterapkan.

2.1.5 Manajemen Prioritas

Terdapat ukuran yang dapat diperhatikan untuk menentukan prioritas pemilihan moda transportasi yaitu, keberadaan pengendara sepeda motor memerlukan perhatian, baik dari sesama pengguna jalan, produsen, maupun dari pemerintah sendiri. Selain dari aspek pengendara (manusia) dan kendaraan sepeda motor, perhatian hendaknya juga diberikan pada aspek prasarana jalan. Pemisahan pergerakan sepeda motor dari kendaraan roda 4, yang memang tidak kompatibel apabila dicampur, dapat dipertimbangkan untuk dikembangkan di Indonesia (Dephub, 2009).

2.2 Sistem Lampu Lalu Lintas (*Traffic light*)

Sebuah sistem *traffic light* adalah perangkat elektronik yang memberikan hak jalan di jalan atau persimpangan jalan dengan cara menampilkan standar indikator warna merah, kuning dan hijau. Selain itu, *traffic light* juga bekerja untuk memberi petunjuk kepada pejalan kaki sehingga bisa diketahui pejalan kaki yang terlebih dahulu bisa menyeberang jalan. Sebuah *traffic light*, juga dikenal sebagai sinyal lalu lintas, lampu tanda berhenti, lampu tanda berhenti dan jalan, adalah perangkat sinyal yang diposisikan di persimpangan jalan, penyeberangan pejalan kaki, atau lokasi lain untuk menunjukkan kapan waktu yang aman untuk berkendara, menumpang, atau berjalan menggunakan kode warna yang universal.

Saat ini, lampu merah berarti lalu lintas di segala arah harus berhenti. Lampu kuning berarti lalu lintas kota harus memperlambat dan lampu hijau akan jalan atau melanjutkan. Kesulitan dalam memahami urutan warna yang membingungkan ini diperparah oleh kota-kota tetangga yang menggunakan sistem lain. Perkembangan struktur kontrol cerdas memastikan solusi optimal untuk semua yang berpartisipasi dalam transportasi dan sistem lalu lintas jalan.

Ada berbagai cara mengendalikan persimpangan jalan. Dalam kasus yang paling sederhana aturan tangan kanan atau, jika lalu lintas lebih tinggi, sebuah bundaran atau sinyal dari polisi dapat membantu mengarahkan lalu lintas. Namun, terutama di kota-kota besar, dalam kasus-kasus rumit ketika jalan-jalan di persimpangan memiliki beberapa jalur, penggunaan lampu lalu lintas tidak dapat dihindari. Masalah tambahan muncul ketika di persimpangan tidak hanya jalan tetapi juga rel kereta api ambil bagian, apa yang sering terjadi dalam situasi lalu lintas pinggiran kota. Cara yang paling umum untuk menangani jenis persimpangan adalah konvensional kontrol lampu dengan siklus. Kebanyakan kontrol sudah ditingkatkan, lalu lintas dari arah yang berbeda dipantau oleh sensor dan sinyal yang diperoleh yang mana digunakan untuk mengontrol lampu lalu lintas. Dalam metode ini kontrol mampu beradaptasi dengan lalu lintas. Masalah yang umum terjadi adalah banyaknya variabel dan perlunya upaya komputasi yang besar. Untuk menyederhanakan masalah ini, cara yang mungkin dilakukan adalah penggunaan teknik *fuzzy*. Dalam beberapa tahun terakhir banyak simulasi yang dilakukan dan juga sistem kontrol praktis yang dibangun berdasarkan aturan *fuzzy* sederhana

2.2.1 Manfaat *Traffic light Control*

Ketika digunakan dengan benar, sinyal kontrol lalu lintas adalah perangkat penting untuk mengontrol kendaraan di jalan. Mereka menentukan jalan untuk pilihan gerakan lalu lintas dan dengan demikian sangat mempengaruhi arus lalu lintas. sinyal kontrol lalu lintas yang dirancang dengan baik, lokasi yang tepat, dioperasikan, dan dipelihara akan memiliki satu atau lebih dari keuntungan sebagai berikut.

- a. Menertibkan lalu lintas
- b. Meminimalisir pergerakan lalu lintas
- c. Mengkoordinasi Gerakan lalu lintas yang kontinyu
- d. Menjadi petunjuk yang meyakinkan bagi Pengemudi untuk jalan yang benar

sinyal kontrol lalu lintas sering dianggap sebagai obat untuk semua masalah lalu lintas di persimpangan. Keyakinan ini telah menyebabkan sinyal kontrol lalu lintas yang dipasang di banyak lokasi di mana mereka tidak diperlukan, dapat mempengaruhi keselamatan dan efisiensi kendaraan, sepeda, dan lalu lintas pejalan kaki.

2.2.2 Tipe-Tipe Komponen Sinyal Lalu Lintas dan Pengoperasiannya

Kebanyakan sinyal lalu lintas akan memiliki komponen atau bagian berikut:

- a. Display utama dengan lampu merah, kuning dan hijau.
- b. Boks sinyal lalu-lintas yang berisi kontroler sinyal lalu lintas dan sistem deteksi kendaraan
- c. Induktif loop atau sensor

Di banyak kota, sinyal lalu lintas pada dasarnya beroperasi di tiga modus:

- a. **Modus pewaktuan tetap:** Dalam mode ini, tidak ada deteksi untuk pendekatan apapun. Siklus sinyal yang kontinyu terlepas dari permintaan lalu lintas yang sebenarnya. Siklus sinyal pejalan kaki berjalan otomatis dan akan bersamaan dengan indikasi sinyal kendaraan.
- b. **Modus semi Aktual:** Dalam modus ini, sistem deteksi hadir hanya pada simpang jalan kecil. Ketika deteksi diaktifkan, lampu hijau di jalan utama akan disela untuk memungkinkan lalu lintas pejalan kaki dengan aman melintasi persimpangan. Sinyal aktif untuk pejalan kaki menyeberang jalan dengan otomatis, sedangkan untuk penyeberang jalan utama tidak. Pejalan kaki melintasi sebuah jalan besar harus menekan "tombol pejalan kaki" untuk mendapatkan akses untuk menyeberang.
- c. **Modus Aktual:** Dalam mode ini, ada deteksi untuk semua pendekatan. Sinyal lalu lintas diatur untuk memberikan lampu hijau secara "ondemand" atau hanya di hadapan kendaraan

2.3 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital (*digital image processing*) adalah metode yang digunakan untuk memanipulasi citra digital sehingga menghasilkan kualitas citra yang lebih baik. Pengolahan citra digital berfokus pada dua tugas utama, yaitu peningkatan informasi bergambar untuk interpretasi manusia dan pengolahan data citra untuk penyimpanan, transmisi dan representasi untuk persepsi mesin otonom (Annadurai & Shanmugalakshmi, 2007).

2.3.1 Konversi Citra Warna (RGB) ke Citra Skala Keabuan (Grayscale)

Proses pertama dari metode pendeteksi citra secara umum termasuk metode Sobel adalah melakukan konversi citra, dari citra berwarna ke citra skala keabuan (*grayscale*). Rumus yang digunakan untuk konversi adalah sebagai berikut:

$$X = \frac{(R+G+B)}{3} \quad (2.1)$$

dimana R adalah nilai warna merah (*Red*), G adalah nilai warna hijau (*Green*), dan B adalah nilai warna biru (*Blue*) dari *pixel* yang diproses

2.3.2 Gaussian Filter

Gaussian Filter adalah salah satu filter linier dengan nilai pembobotan untuk setiap anggotanya dipilih berdasarkan bentuk fungsi *Gaussian*. *Gaussian Filter* dipilih sebagai filter penghalusan berdasarkan pertimbangan bahwa filter ini mempunyai pusat kernel.

Menurut Usman (2005), filter *Gaussian* sangat baik untuk menghilangkan *noise* yang bersifat sebaran normal, yang banyak di jumpai pada sebaran citra hasil proses digitasi menggunakan kamera karena merupakan fenomena alamiah akibat sifat pantulan cahaya dan kepekaan sensor cahaya pada kamera itu sendiri.

-2	97	152	143	108	165
-1	160	146	107	124	125
0	143	153	146	120	122
1	139	213	119	85	255
2	108	121	128	54	185
	-2	-1	0	1	2

Gambar 2.1 Penentuan lokasi entri pada kernel filter

Sumber: (Usman, 2015)

Untuk menghitung atau menentukan nilai-nilai setiap elemen dalam filter penghalus *Gasussian* yang akan dibentuk berlaku persamaan berikut:

$$G(i,j) = c \cdot e^{-\frac{(i-u)^2 + (j-v)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.2)$$

Dimana

c dan σ = konstanta

$G(i,j)$ = elemen matriks kernel gauss pada posisi (i,j)

u, v = indeks tengah dari matrik kernel

σ adalah deviasi standar dan piksel pada pusat (y, x) mendapatkan bobot terbesar berupa 1. *Gaussian Filter* paling tidak berukuran 5×5 . Sebagai contoh, bobot-bobotnya dapat diperoleh dengan membuat σ bernilai 1.

2.3.3 Background Subtraction

Background subtraction merupakan proses untuk mendeteksi pergerakan atau perbedaan signifikan yang terjadi pada *frame* video ketika dibandingkan dengan citra referensi. Tujuan dari *background subtraction* yaitu untuk memisahkan obyek dan *background* sehingga gerakan dari sebuah objek dapat terdeteksi. Teknik ini umum digunakan untuk mendeteksi obyek yang bergerak pada video dari kamera statik. Cara pendeteksian dilakukan dengan menemukan perbedaan antara *frame* video saat ini dengan *frame* yang dibandingkan (Piccardi 2004). Cara pengerjaan *background subtraction* dapat diasumsikan bahwa obyek yang bergerak memiliki warna yang berbeda dari warna *backgorund*, sehingga mendapatkan perubahan posisi dari piksel-piksel pada waktu tertentu dari perubahan warnanya yang secara signifikan berbeda dari warna *backgorund*. Banyak teknik yang dikembangkan untuk menerapkan *background subtraction*, salah satunya adalah penelitian yang ditulis oleh A. Solihin (2013), yaitu dengan mengurangi setiap piksel pada citra dengan obyek dengan citra *background*. Pengurangannya dibuat absolut sehingga selalu bernilai positif. Setiap piksel dalam citra akan dibandingkan sehingga harus memiliki format data dan ukuran yang sama.

Seperti yang telah dijelaskan bahwa teknik *background subtraction* mendefinisikan *frame* video pertama sebagai *background* lalu mendeteksi perbedaan yang terjadi pada *frame-frame* selanjutnya, sehingga dapat didefinisikan sebagai pergerakan objek. Proses *background subtraction* dilakukan dengan persamaan berikut:

$$R_k(x,y)=f_x(x,y)-B(x,y) \quad (2.3)$$

$$D_k(x,y)=\begin{cases} 1:\text{background } R_k(x,y)>T \\ 0:\text{target } R_k(x,y)\leq \end{cases} \quad (2.4)$$

Dimana: $R_k(x,y)$ = citra hasil perbedaan frame
 $f_k(x,y)$ = citra *frame*
 $B(x,y)$ = citra *background*
 T = nilai *threshold*

Background subtraction memiliki kelebihan yaitu mudah untuk diimplementasi dan cepat, namun juga memiliki kekurangan ketika terjadi perubahan iluminasi atau pencahayaan pada video karena juga akan terdefinisi sebagai perbedaan piksel (Bradski & Kaehler, 2008). Teknik *background subtraction* telah digunakan pada penelitian sebelumnya, seperti penelitian yang dilakukan oleh Intachak & Kaewapichai pada tahun 2011, yang menggunakan teknik tersebut untuk video *traffic monitoring*.

2.3.4 Frame Differencing

Frame differencing adalah suatu teknik sederhana yang digunakan untuk mendeteksi perbedaan piksel antara dua *frame* video. Teknik ini biasanya digunakan untuk mendeteksi pergerakan objek berdasarkan perbedaan piksel yang terjadi pada dua *frame* video dengan interval waktu yang singkat. Untuk mengetahui perbedaan *frame* video yang terjadi dilakukan perhitungan matematis dengan persamaan 2.24 sampai 2.26 (Alex & Wahi, 2014).

Differential:

$$D_k = \begin{cases} f_k - f_{k-1}, & \text{jika } (f_k - f_{k-1}) > 0 \\ 0 & \end{cases} \quad (2.5)$$

Negative Differential:

$$D_k = \begin{cases} |f_k - f_{k-1}|, & \text{jika } (f_k - f_{k-1}) > 0 \\ 0 & \end{cases} \quad (2.6)$$

Fully Differential:

$$D_k = |f_k - f_{k-1}| \quad (2.7)$$

Dimana : D_k = hasil citra *frame differencing*
 f_k = citra *frame*
 f_{k-1} = citra *frame* sebelumnya dengan interval waktu

Teknik frame differencing juga telah digunakan dalam penelitian sebelumnya seperti penelitian yang dilakukan oleh Kang & Hayes (2015). Pada penelitian ini, teknik frame differencing digunakan dalam pengenalan wajah untuk personalisasi kendaraan.

2.3.5 *Thresholding*

Thresholding merupakan konversi citra berwarna ke citra biner yang dilakukan dengan cara mengelompokkan nilai derajat keabuan setiap pixel kedalam 2 kelas, hitam dan putih. Pada citra hitam putih terdapat 256 level, artinya mempunyai skala “0” sampai “255” atau [0,255], dalam hal ini nilai intensitas 0 menyatakan hitam, dan nilai intensitas 255 menyatakan putih, dan nilai antara 0 sampai 255 menyatakan warna keabuan yang terletak antara hitam dan putih. Contoh operasi titik berdasarkan intensitas adalah operasi pengambangan (*thresholding*). Pada operasi pengambangan, nilai intensitas pixel dipetakan ke salah satu dari dua nilai, α_1 atau α_2 , berdasarkan nilai ambang (*threshold*) T dapat ditunjukkan seperti pada persamaan berikut

2.4 *Fuzzy Logic Control*

Logika *fuzzy* merupakan salah satu cabang dari ilmu komputer yang mempelajari tentang nilai kebenaran yang bernilai banyak. Berbeda dengan nilai kebenaran pada logika klasik yang bernilai 0 (salah) atau 1 (benar). Logika *fuzzy* mempunyai nilai kebenaran *real* dalam selang [0,1]. Logika *fuzzy* pertama kali dikembangkan oleh Lotfi A. Zadeh seorang ilmuwan Amerika Serikat berkebangsaan Iran dari Universitas California di Berkeley. Meskipun demikian, logika *fuzzy* lebih banyak dikembangkan oleh praktisi Jepang.

2.4.1 Komponen dasar logika *fuzzy*

Logika *fuzzy* mempunyai beberapa komponen antara lain:

1. Variable linguistik.

Variable ini merupakan variable yang memiliki nilai linguistik. Contoh variable linguistik adalah kecepatan, jumlah kendaraan,

2. Nilai linguistik.

Nilai linguistik atau terma merupakan nilai dari variable linguistik, contohnya untuk variable linguistik jumlah kendaraan bisa berupa tidak ada, sedikit, sedang, banyak, sangat banyak.

3. Nilai kuantitatif dan derajat keanggotaan.

Nilai kuantitatif merupakan nilai eksak yang mewakili nilai linguistik. Nilai kuantitatif setiap terma ditentukan oleh fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan ini menunjukkan derajat keanggotaan dari sebuah predikat.

Pada logika klasik, nilai keanggotaan sebuah predikat logika adalah 0 atau 1. Misalnya untuk himpunan $A = \{x \mid x > 20\}$, predikat $2 \in A$ bernilai 0. Sedangkan untuk $21 \in A$ bernilai 1. Logika klasik bernilai absolut, artinya meskipun nilai $x = 19.999999$, predikat $x \in A$ tetap bernilai 0. Berbeda dengan logika klasik, logika *fuzzy* mempunyai derajat keanggotaan dengan selang $[0,1]$. Derajat keanggotaan ini ditentukan dengan fungsi keanggotaan.

Misalkan diberikan predikat jumlah kendaraan sedang-sedang saja dengan fungsi keanggotaan berikut:

$$\mu_{\text{jumlah_kendaraan_sedang}}[x] = \begin{cases} 0 & x \leq 5 \\ (x-5)/5 & 5 \leq x \leq 10 \\ 1 & x \geq 10 \end{cases}$$

Untuk nilai $x = 8$, maka x adalah sedang merupakan predikat dengan derajat keanggotaan $(8 - 5)/5 = 6$.

4. Operator *Fuzzy*.

Operator *fuzzy* terdiri dari operasi-operasi yang sama seperti himpunan tegas atau *crisp*, mulai dari *union* (hubungan *OR*), *intersection* (hubungan *AND*), komplement, perkalian cartesian, dan selisih himpunan. Berikut definisi dari operator untuk logika *fuzzy*

Operasi pada Himpunan Tegas

- a. Gabungan (*union*)

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ atau } x \in B\}$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_{A(x)} \vee \mu_{B(x)} = \max(\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}) \quad (2.8)$$

- b. Irisan (*intersection*)

$$A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ dan } x \in B\}$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_{A(x)} \wedge \mu_{B(x)} = \min(\mu_{A(x)}, \mu_{B(x)}) \quad (2.9)$$

- c. Komplemen

$$A' = \{x \mid x \notin A, x \in X\}$$

$$\mu_{A'(x)} = 1 - \mu_{A(x)} \quad (2.10)$$

- d. Perkalian kartesian (*cartesian product*)

$$A \cdot B = \{(a, b) \mid a \in A \text{ dan } b \in B\} \quad (2.11)$$

- e. Selisih (*difference*)

$$A - B = \{x \mid x \in A \text{ dan } x \notin B\} \quad (2.12)$$

5. Implikasi

Implikasi merupakan cara untuk menyatakan rule. Misalkan diberikan komposisi rule A dan rule B, maka Implikasi dinyatakan dalam:

IF A THEN B

Keterangan: A disebut anteseden
B disebut konsekuen

Implikasi ini digunakan untuk menentukan nilai linguistik dan nilai kuantitatif dari B jika diberikan A. Bisa digunakan berbagai macam teknik, tapi untuk metode Mamdani, yang digunakan adalah metode min (sama seperti AND)

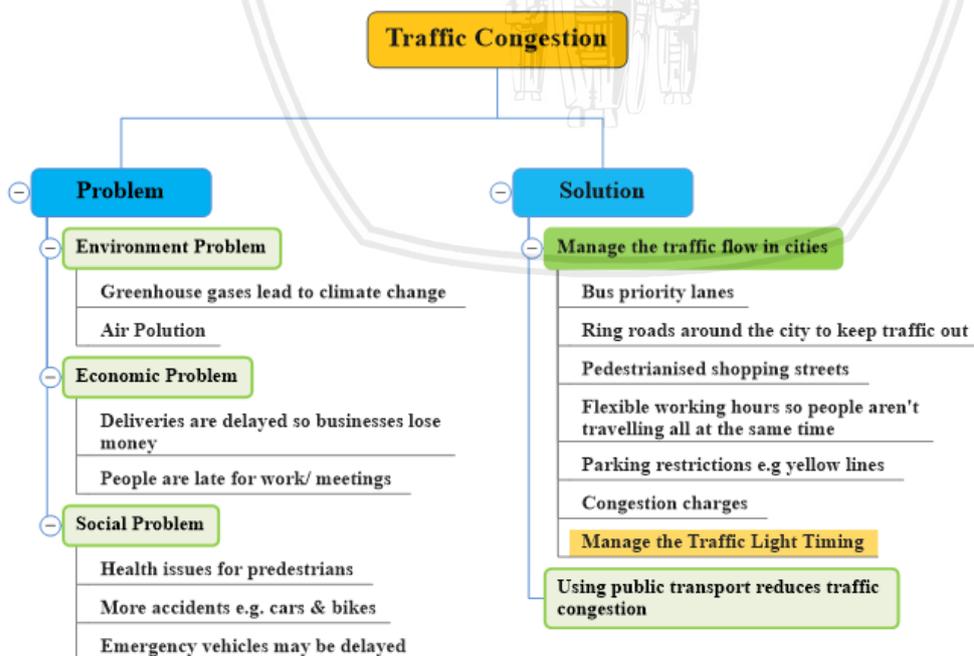


BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

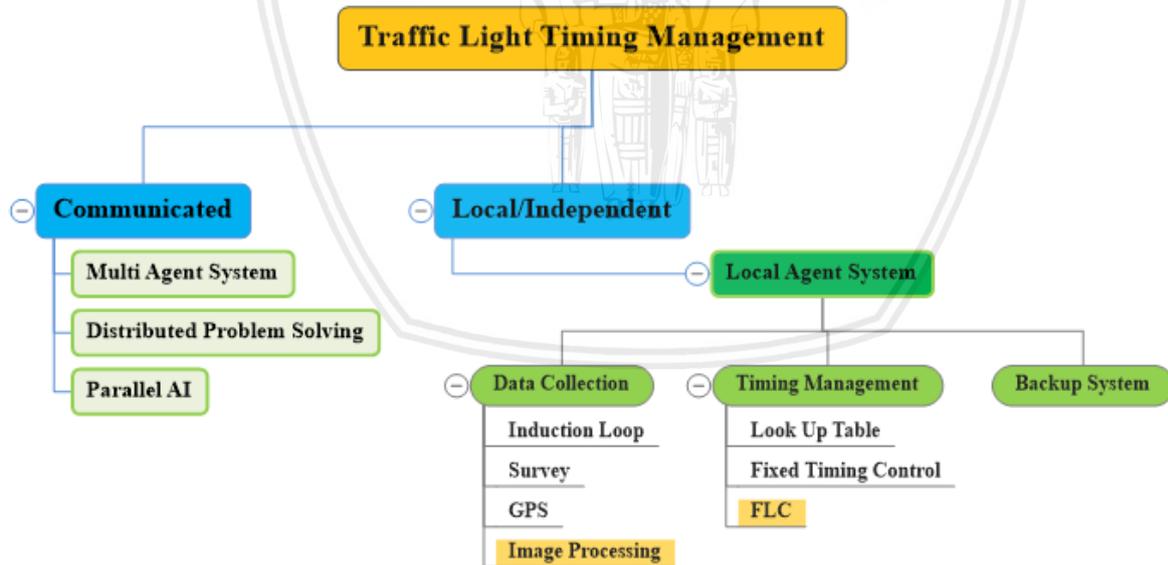
Secara umum dasar utama diangkatnya penelitian ini adalah kemacetan lalu lintas. Kemacetan lalu lintas memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan, ekonomi dan social. Dampak akibat kemacetan terhadap lingkungan antara lain polusi udara, kebisingan dan efek rumah kaca. Dari segi ekonomi kemacetan berdampak pada lambatnya proses distribusi barang sehingga *lose money* menjadi lebih tinggi. Disamping itu akibat kemacetan pula banyak pekerja yang terlambat datang ke tempat kerjanya. Dari segi sosial dampak yang diakibatkan kemacetan adalah tingginya gangguan kesehatan yang timbul akibat tingginya polusi, seringnya terjadi kecelakaan dan terhambatnya pergerakan kendaraan-kendaraan darurat. Dari berbagai dampak yang ditimbulkan kemacetan lalu lintas, maka perlu diusulkan solusi untuk mengatasi kemacetan lalu lintas ini. Dalam penelitian ini solusi yang ditawarkan dapat dilihat pada gambar 3.1, namun demikian peneliti berfokus pada manajemen pewaktuan *traffic light*.



Gambar 3.1 Kerangka umum manajemen lalu lintas

Sumber: <https://getrevising.co.uk/diagrams/traffic-management-in-urban-areas>

Dari beberapa penelitian terkait kendali lalu lintas yang pernah ada terbagi kedalam dua model. Pertama adalah sistem kendali lalu lintas terdistribusi atau disebut *multi agent system*. Penelitian ini ditujukan untuk pengendalian lalu lintas di sebuah wilayah perkotaan secara paralel. Setiap sistem kendali persimpangan akan saling berkomunikasi dengan sistem kendali disekitarnya. *Multi agent system* sangat efektif dalam pengendalian lalu lintas di wilayah perkotaan, namun sumber daya yang dibutuhkan untuk sistem ini sangat tinggi. *Damage cost* untuk *multi agent system* ini cukup menjadi pertimbangan untuk pengembangannya. Kedua adalah sistem kendali lalu lintas yang bersifat lokal atau independen. Sistem kendali lalu lintas hanya dijalankan di satu persimpangan. Asumsi yang ingin ditunjukkan para peneliti adalah jika lalu lintas di setiap persimpangan mampu dikendalikan dengan baik maka dengan sendirinya lalu lintas di suatu wilayah akan terkendali. Dari beberapa peneliti sistem kendali lalu lintas yang bersifat local atau independen menampilkan sistem kendali lalu lintas di perempatan jalan yang terisolasi. Kendali lampu lalu lintas hanya terbagi untuk dua siklus, utara-selatan dan barat-timur.



Gambar 3.2 Kerangka konsep penelitian

Sumber: <https://getrevising.co.uk/diagrams/traffic-management-in-urban-areas>

Dari beberapa penelitian terkait kendali lalu lintas yang pernah ada terbagi kedalam dua model. Pertama adalah sistem kendali lalu lintas terdistribusi atau disebut *multi agent*

system. Penelitian ini ditujukan untuk pengendalian lalu lintas di sebuah wilayah perkotaan secara paralel. Setiap sistem kendali persimpangan akan saling berkomunikasi dengan sistem kendali disekitarnya. *Multi agent system* sangat efektif dalam pengendalian lalu lintas di wilayah perkotaan, namun sumber daya yang dibutuhkan untuk sistem ini sangat tinggi. *Damage cost* untuk *multi agent system* ini cukup menjadi pertimbangan untuk pengembangannya. Kedua adalah sistem kendali lalu lintas yang bersifat lokal atau independen. Sistem kendali lalu lintas hanya dijalankan di satu persimpangan. Asumsi yang ingin ditunjukkan para peneliti adalah jika lalu lintas di setiap persimpangan mampu dikendalikan dengan baik maka dengan sendirinya lalu lintas di suatu wilayah akan terkendali. Dari beberapa peneliti sistem kendali lalu lintas yang bersifat local atau independen menampilkan sistem kendali lalu lintas di perempatan jalan yang terisolasi. Kendali lampu lalu lintas hanya terbagi untuk dua siklus, utara-selatan dan barat-timur.

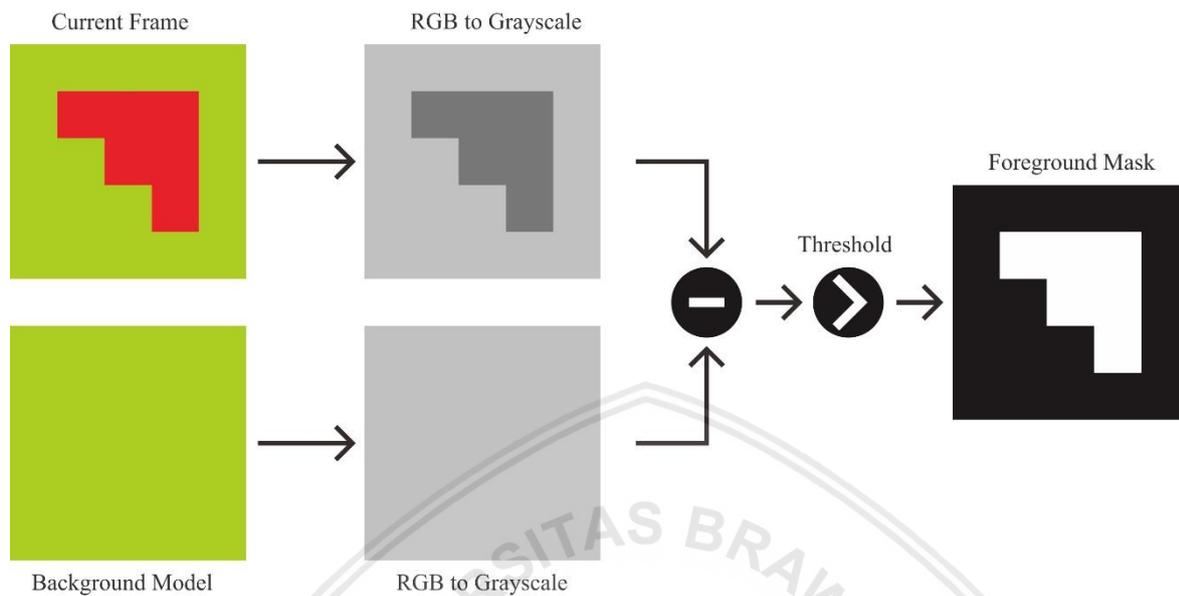
Dalam proposal ini penulis mencoba mengusulkan sebuah *improvement* pada sistem kendali lalu lintas independen tanpa ada isolasi jalur. Komputasi yang akan digunakan untuk kendali lalu lintas adalah logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* digunakan di dua bagian: Pertama, logika *fuzzy* digunakan untuk memetakan tingkat kepadatan atau *density* dari setiap jalur. kedua, logika *fuzzy* digunakan untuk menentukan pewaktuan lampu hijau sesuai dengan tingkat *density* yang ditampilkan. Untuk melengkapi sistem kendali ini ditambahkan satu metode *image processing* sebagai sensor kondisi jalur yang akan diberi pewaktuan. Metode *image processing* yang digunakan adalah *background subtraction*.

3.2 Ekstraksi Informasi Lalu Lintas

Pada bagian ini proses penggalian informasi lalu lintas dari pemrosesan gambar. dengan asumsi bahwa kamera video ditempatkan pada posisi yang sesuai, digunakan untuk pengambilan gambar atau video. Dari data video diproses setiap *frame*. Tujuannya adalah untuk menentukan berapa padat lalu lintas yang ada di jalan. Dalam penelitian ini jumlah lalu lintas akan disebut *traffic density*. Untuk menyelesaikan bagian ini akan digunakan algoritma *background subtraction*.

Pada tahap ini video hasil dari pengambilan data akan di *framing* yang kemudian akan di cocokkan dengan *frame* latar, yang mana *frame* latar merupakan gambar jalan yang kosong dari kendaraan. Dari hasil pencocokan *framing* video dengan *frame* latar akan diperoleh *different* yang muncul akibat adanya obyek yang berbeda dengan *frame* latar. Data *different* inilah yang akan dihitung secara persentase dan dijadikan nilai kepadatan

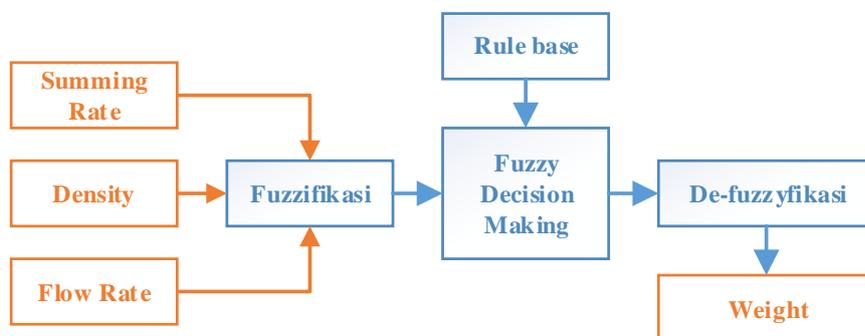
kendaraan di jalan. Ilustrasi pengambilan perbedaan *frame* yang memiliki obyek didalamnya dan *frame* latar yang kosong dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema *background subtraction*

3.3 Ekstraksi *Weight*

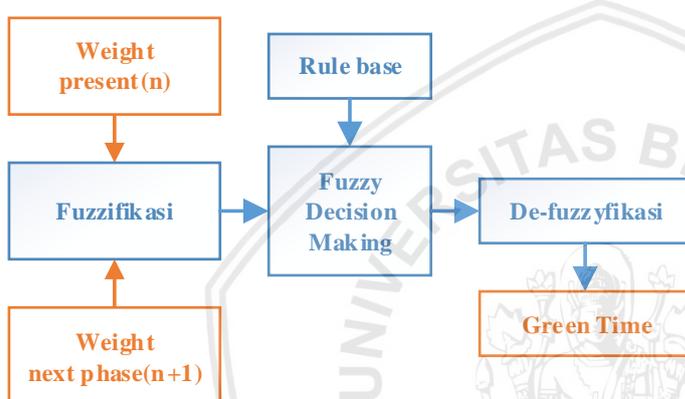
Beban di setiap jalur (*Weight*) sangat dipengaruhi oleh 3 hal: Kecepatan kendaraan terhadap jalan (*Density*), kecepatan penambahan kepadatan kendaraan terhadap jalan saat lampu merah (*Summing Rate*) dan kemampuan menguraikan kepadatan kendaraan terhadap jalan saat lampu hijau (*Flow Rate*). Dalam bagian ini ketiga faktor tersebut dijadikan parameter masukan logika *fuzzy* untuk memutuskan nilai *density*. Untuk ekstraksi traffic *density* digunakan logika *fuzzy* dengan metode Tsukamoto.



Gambar 3.4 Ekstraksi nilai *Weight*

3.4 Kontrol Logika *Fuzzy* untuk Pewaktuan Lampu Hijau

Untuk menentukan berapa lama pewaktuan lampu hijau di setiap jalur, tidaklah cukup hanya melihat data kepadatan lalu lintas dari jalur yang bersangkutan. Melainkan dibutuhkan data dari antrian jalur selanjutnya. Ini dimaksudkan sebagai bahan pertimbangan dalam menentukan pewaktuan lampu hijau di setiap jalurnya. Dalam bagian ini penulis mencoba mengaplikasikan logika *fuzzy* untuk menentukan pewaktuan lampu hijau. Parameter masukan logika *fuzzy* mengambil nilai beban (*Weight*) dari *present phase* dan *next phase* untuk pewaktuan lampu hijau pada *present phase*. Parameter masukan logika *fuzzy* secara otomatis menjadi dinamis berdasar perputaran giliran dari setiap jalur.



Gambar 3.5 Metode pewaktuan lampu hijau.

3.5 Hipotesis

Berdasarkan keterkaitan dari dua metode yang saling menunjang tersebut, maka dapat diambil beberapa hipotesis sebagai berikut.

1. Informasi kepadatan lalu lintas bisa diperoleh dengan metode *background subtraction* yang mana hasil perhitungan histogram dijadikan nilai kepadatan kendaraan terhadap jalan (*Density*).
2. Nilai *Weight* merupakan hasil perhitungan logika *fuzzy* dengan parameter masukan dari *Density*, *Summing Rate* dan *Flow Rate*.
3. Logika *fuzzy* mampu memberi dukungan terhadap kendali lalu lintas dalam mengurai kepadatan lalu lintas di sebuah persimpangan jalan.



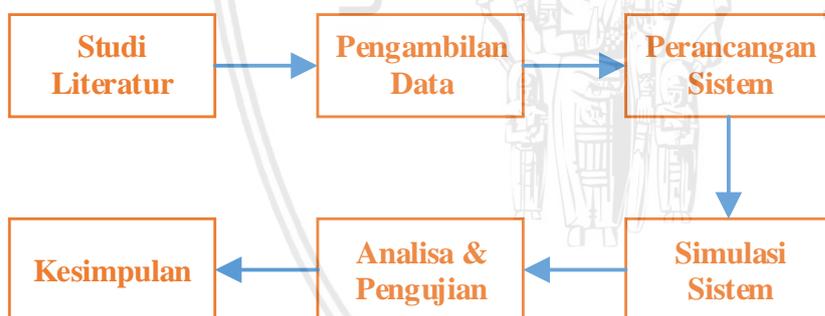
BAB IV

METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan mengimplemetasikan tujuan penelitian yang tercantum pada Bab Pendahuluan, maka diperlukan sebuah metode untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.1 Tahap Penelitian

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya. Tahapan pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu: (1) Studi literatur, (2) Pengambilan data/sampel penelitian, (3) Desain Sistem, (4) Simulasi Sistem, (5) Analisis dan pengujian dan (6) Kesimpulan. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tahapan penelitian

4.2 Alat dan Bahan

Untuk menunjang penelitian ini, diperlukan alat dan bahan yang digunakan untuk proses pengambilan data dan simulasi kontrol *traffic light* dengan metode *fuzzy logic*.

1. Perangkat keras
 - a. PC/Laptop
 - b. Kamera + Tripot

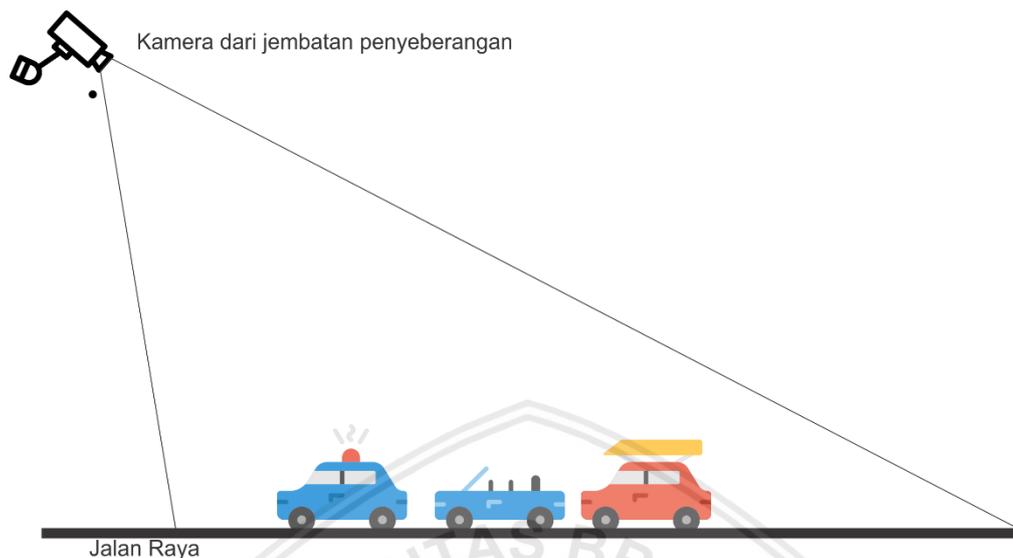
2. Perangkat lunak
 - a. Sistem Operasi: Windows 7/8/10
 - b. Visual Basic .NET
 - c. EmguCV

4.3 Pengambilan Data

Pada tahap pengambilan data, alat yang digunakan adalah kamera dan *stand* untuk pengambilan video sebagai data citra digital. Adapun data yang diambil adalah data primer dimana data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari subyek penelitian. Pada tahapan ini dibutuhkan suatu aturan (*rule*) untuk penggunaan alat, Pengambilan data dan jenis data yang digunakan. Berikut rincian dari masing-masing aturan tersebut:

1. Aturan penggunaan alat.
 - a. pengambilan video dilakukan di jembatan penyeberangan yang mendekati traffic light sebagai representasi yang paling mendekati dari traffic light itu sendiri
 - b. Selama proses *record* video kamera dalam posisi diam.
2. Aturan pengambilan data
 - a. *Record* hanya dilakukan pada satu jalur
 - b. Format video .AVI
 - c. Dimensi 400x100

Sebagai ilustrasi pengambilan video dengan kamera stand dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Ilustrasi pengambilan video dari jembatan penyeberangan

4.4 Perancangan Sistem

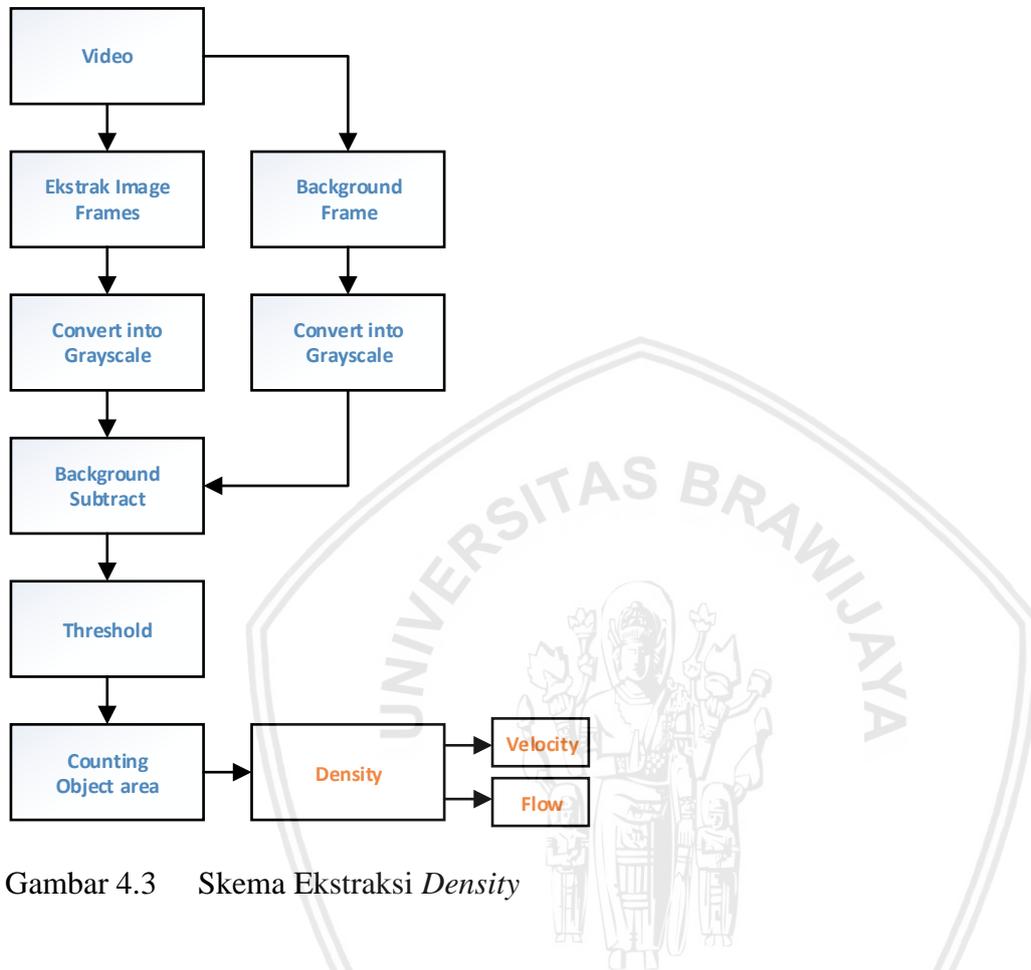
Sistem dalam penelitian ini dibangun dalam 3 model simulasi.

1. Pertama, ekstraksi volume kendaraan terhadap jalan,
2. Simulasi *traffic light* 3 jalur
Bertujuan membandingkan performa pewaktuan lampu hijau *fuzzy logic control* dengan *fixed-time* pada *traffic light* 3 jalur
3. Simulasi *traffic light* 4 jalur
Bertujuan membandingkan performa pewaktuan lampu hijau *fuzzy logic control* dengan *fixed-time* pada *traffic light* 4 jalur

4.4.1 Ekstraksi volume kendaraan terhadap jalan

Background diperlukan untuk mengasumsikan *frame* latar tetap sebagai *feedback* untuk *frame* video dari kamera. Algoritma *background Subtraction* berfokus pada pengambilan *frame* gambar dari video pada interval waktu tertentu. *Frame* yang telah diekstraksi dari video harus di kurangkan dengan *frame* latar tetap untuk mendeteksi obyek yang ada di *foregorund frame*. Perbedaan gambar tersebut kemudian diubah menjadi gambar

biner dengan *thresholding* dan kemudian diproses untuk menyaring *noise*. Kemudian obyek kendaraan yang terdeteksi dihitung luasannya dan kepadatan kendaraan diplot pada luasan *frame*. Sistem yang diusulkan disajikan melalui diagram pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Skema Ekstraksi *Density*

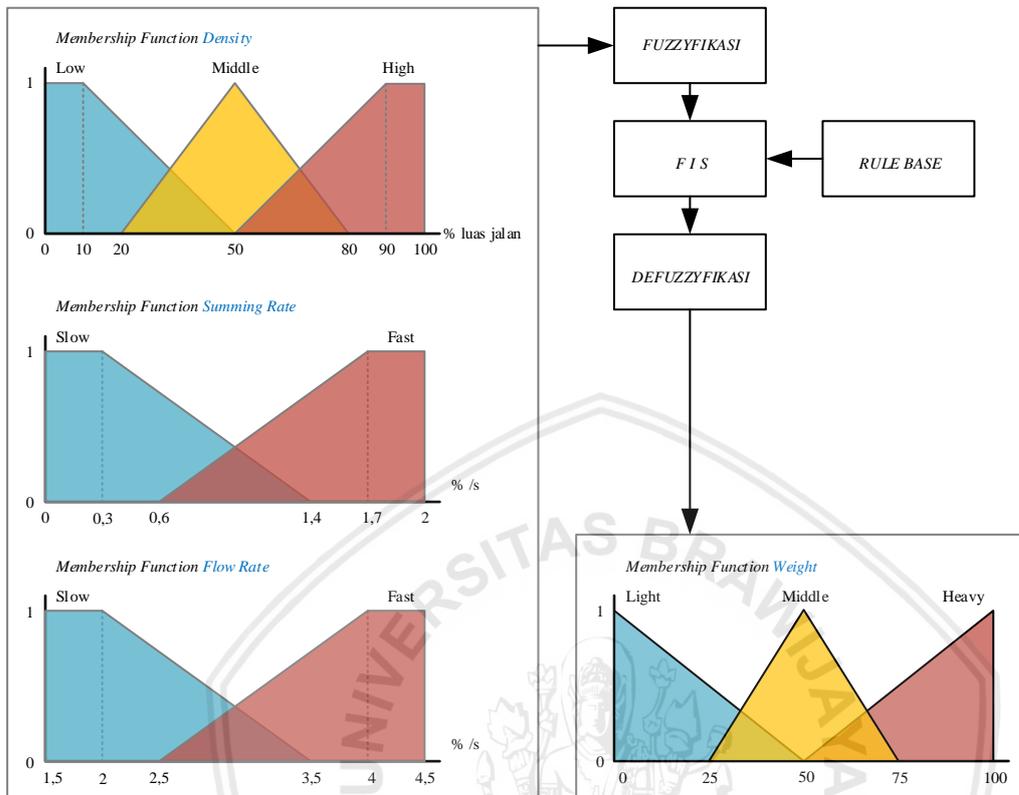
4.4.2 Kontrol Logika *Fuzzy* untuk Nilai *Weight*

Kontrol logika *fuzzy* untuk mendapatkan nilai *density* merupakan kelanjutan dari proses ekstraksi nilai kepadatan dari sebuah jalur. seperti yang telah dikemukakan pada bab 3, bahwasanya faktor yang sangat berpengaruh dalam nilai *density* ada 3 yaitu:

1. Kepadatan kendaraan terhadap jalan (*Density*)
2. Kecepatan penambahan kepadatan kendaraan terhadap jalan saat lampu merah (*Summing Rate*)
3. Kemampuan mengurai kepadatan kendaraan terhadap jalan saat lampu hijau (*Flow Rate*)

Ketiga variabel diatas akan digunakan sebagai variabel masukan logika *fuzzy* untuk menentukan nilai beban sebuah jalur (*Weight*). masing-masing variabel dibuat fungsi keanggotaannya. Variabel keluaran yang juga dibuat dalam fungsi keanggotaan adalah nilai

tingkat beban sebuah jalur (*weight*). Desain fungsi keanggotaan setiap variabel masukan dan keluaran dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Desain kontrol logika fuzzy untuk nilai *Weight*

Fungsi keanggotaan masing-masing variabel adalah sebagai berikut

1. *Density* dibagi kedalam 4 fungsi keanggotaan.
 - a. $\mu_{DenLow}[den] = \{(1, den < 10), ((50 - den)/40, 10 < den < 50), (0, den > 50)\}$
 - b. $\mu_{DenMidUp}[den] = \{(0, den < 20), ((den - 20)/30, 20 < den < 50)\}$
 - c. $\mu_{DenMidDown}[den] = \{((80 - den)/30, 50 < den < 80), (0, den > 80)\}$
 - d. $\mu_{DenHigh}[den] = \{(0, den < 50), ((den - 50)/40, 50 < den < 90), (1, den > 90)\}$
2. *Summing Rate* dibagi kedalam 2 fungsi keanggotaan.
 - a. $\mu_{SRSlow}[sr] = \{(1, sr < 3), ((14 - sr)/11, 3 < sr < 14), (0, sr > 14)\}$
 - b. $\mu_{SRFast}[sr] = \{(0, sr < 6), ((sr - 6)/11, 6 < sr < 17), (1, sr > 17)\}$
3. *Flow Rate* dibagi kedalam 2 fungsi keanggotaan.
 - a. $\mu_{FRSlow}[fr] = \{(1, sr < 20), ((35 - sr)/15, 20 < sr < 35), (0, sr > 35)\}$
 - b. $\mu_{FRFast}[fr] = \{(0, sr < 25), ((sr - 25)/15, 25 < sr < 40), (1, sr > 40)\}$

4. *Weight* dibagi kedalam 4 fungsi keanggotaan.
 - a. $\mu_{\text{Light}}[w] = \{(1, w < 0), ((50-w)/50, 0 < w < 50), (0, w > 50)\}$
 - b. $\mu_{\text{MidUp}}[w] = \{(0, w < 25), ((w-25)/25, 25 < w < 50)\}$
 - c. $\mu_{\text{MidDown}}[w] = \{((75-w)/25, 50 < w < 75), (0, w > 75)\}$
 - d. $\mu_{\text{Heavy}}[w] = \{(0, w < 50), ((w-50)/50, 50 < w < 100), (1, w > 100)\}$

Basis aturan Kontrol Logika *Fuzzy* untuk menemukan nilai *Weight* dapat dilihat di tabel 4.1.

Tabel 4.1 Basis aturan *fuzzy logic control* untuk *weight*

[R1]	IF DEN = LOW	& SR = SLOW	& FR = FAST	Then Weight = LOW
[R2]	IF DEN = LOW	& SR = SLOW	& FR = SLOW	Then Weight = LOW
[R3]	IF DEN = LOW	& SR = FAST	& FR = FAST	Then Weight = MID UP
[R4]	IF DEN = LOW	& SR = FAST	& FR = SLOW	Then Weight = MID UP
[R5]	IF DEN = MID UP	& SR = SLOW	& FR = FAST	Then Weight = MID UP
[R6]	IF DEN = MID UP	& SR = SLOW	& FR = SLOW	Then Weight = MID UP
[R7]	IF DEN = MID UP	& SR = FAST	& FR = FAST	Then Weight = MID UP
[R8]	IF DEN = MID UP	& SR = FAST	& FR = SLOW	Then Weight = MID UP
[R9]	IF DEN = MID DOWN	& SR = SLOW	& FR = FAST	Then Weight = MID DOWN
[R10]	IF DEN = MID DOWN	& SR = SLOW	& FR = SLOW	Then Weight = MID DOWN
[R11]	IF DEN = MID DOWN	& SR = FAST	& FR = FAST	Then Weight = MID DOWN
[R12]	IF DEN = MID DOWN	& SR = FAST	& FR = SLOW	Then Weight = MID DOWN
[R13]	IF DEN = HIGH	& SR = SLOW	& FR = FAST	Then Weight = MID DOWN
[R14]	IF DEN = HIGH	& SR = SLOW	& FR = SLOW	Then Weight = MID DOWN
[R15]	IF DEN = HIGH	& SR = FAST	& FR = FAST	Then Weight = HIGH
[R16]	IF DEN = HIGH	& SR = FAST	& FR = SLOW	Then Weight = HIGH

Keterangan:

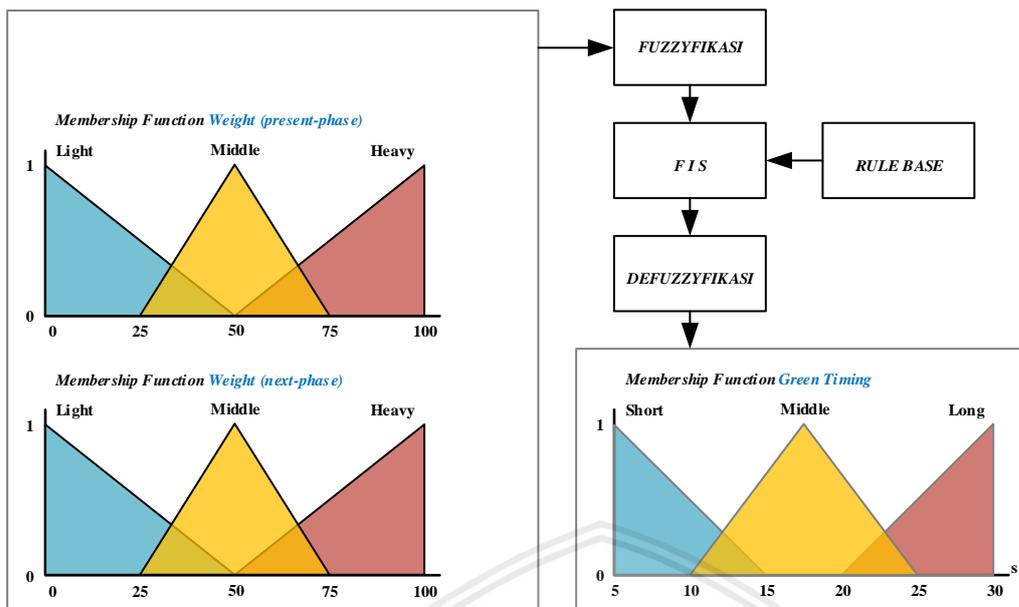
DEN = *Density*

SR = *Summing Rate*

FR = *Flow Rate*

4.4.3 *Fuzzy Logic Control* untuk *Pewaktuan Lampu Hijau*

Kontrol logika *fuzzy* pada bagian ini adalah untuk menentukan pewaktuan lampu hijau. Variabel yang digunakan adalah nilai beban (*weight*) dari jalur saat ini dan jalur selanjutnya. Nilai beban dari jalur selanjutnya digunakan sebagai pembanding kelayakan untuk jalur saat ini, apakah layak diberi nilai pewaktuan yang tinggi atukah tidak. Desain kontrol logika *fuzzy* untuk pewaktuan lampu hijau dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Desain kontrol logika fuzzy untuk pewaktuan lampu hijau.

Pada bagian ini variabel masukan dari dua jalur memiliki fungsi keanggotaan yang sama. Fungsi keanggotaan keluaran adalah nilai pewaktuan lampu hijau. Fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel adalah sebagai berikut:

1. *Weight present-phase* dibagi kedalam 4 fungsi keanggotaan.
 - a. $\mu_{WPLight}[wp] = \{(1, wp < 0), ((50-wp)/50, 0 < wp < 50), (0, wp > 50)\}$
 - b. $\mu_{WPMidUp}[wp] = \{(0, wp < 25), ((wp-25)/25, 25 < wp < 50)\}$
 - c. $\mu_{WPMidDown}[wp] = \{((75-wp)/25, 50 < wp < 75), (0, wp > 75)\}$
 - d. $\mu_{WPHeavy}[wp] = \{(0, wp < 50), ((wp-50)/50, 50 < wp < 100), (1, wp > 100)\}$
2. *Weight next-phase* dibagi kedalam 4 fungsi keanggotaan
 - a. $\mu_{WNLight}[wn] = \{(1, wn < 0), ((50-wn)/50, 0 < wn < 50), (0, wn > 50)\}$
 - b. $\mu_{WNMidUp}[wn] = \{(0, wn < 25), ((wn-25)/25, 25 < wn < 50)\}$
 - c. $\mu_{WNMidDown}[wn] = \{((75-wn)/25, 50 < wn < 75), (0, wn > 75)\}$
 - d. $\mu_{WNHeavy}[wn] = \{(0, wn < 50), ((wn-50)/50, 50 < wn < 100), (1, wn > 100)\}$
3. *Green Time* dibagi kedalam 4 fungsi keanggotaan
 - a. $\mu_{Short}[gt] = \{(1, gt < 5), ((15-gt)/10, 5 < gt < 15), (0, gt > 15)\}$
 - b. $\mu_{MidUp}[gt] = \{(0, gt < 10), ((gt-10)/7,5)\}$
 - c. $\mu_{MidDown}[gt] = \{((25-gt)/7,5), (0, gt > 25)\}$
 - d. $\mu_{Long}[gt] = \{(0, gt < 20), ((gt-20)/10), (1, gt > 30)\}$

Basis aturan kontrol logika *fuzzy* untuk pewaktuan lampu hijau dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Basis aturan logika *fuzzy* untuk pewaktuan lampu hijau

[R1]	IF	WP = LIGHT	&	WN = HEAVY	Then	GT = SHORT
[R2]	IF	WP = LIGHT	&	WN = MID DOWN	Then	GT = SHORT
[R3]	IF	WP = LIGHT	&	WN = MID UP	Then	GT = SHORT
[R4]	IF	WP = LIGHT	&	WN = LIGHT	Then	GT = SHORT
[R5]	IF	WP = MID UP	&	WN = HEAVY	Then	GT = SHORT
[R6]	IF	WP = MID UP	&	WN = MID DOWN	Then	GT = MID UP
[R7]	IF	WP = MID UP	&	WN = MID UP	Then	GT = MID UP
[R8]	IF	WP = MID UP	&	WN = LIGHT	Then	GT = MID UP
[R9]	IF	WP = MID DOWN	&	WN = HEAVY	Then	GT = MID UP
[R10]	IF	WP = MID DOWN	&	WN = MID DOWN	Then	GT = MI DOWN
[R11]	IF	WP = MID DOWN	&	WN = MID UP	Then	GT = MI DOWN
[R12]	IF	WP = MID DOWN	&	WN = LIGHT	Then	GT = MI DOWN
[R13]	IF	WP = HEAVY	&	WN = HEAVY	Then	GT = MI DOWN
[R14]	IF	WP = HEAVY	&	WN = MID DOWN	Then	GT = LONG
[R15]	IF	WP = HEAVY	&	WN = MID UP	Then	GT = LONG
[R16]	IF	WP = HEAVY	&	WN = LIGHT	Then	GT = LONG

Keterangan:

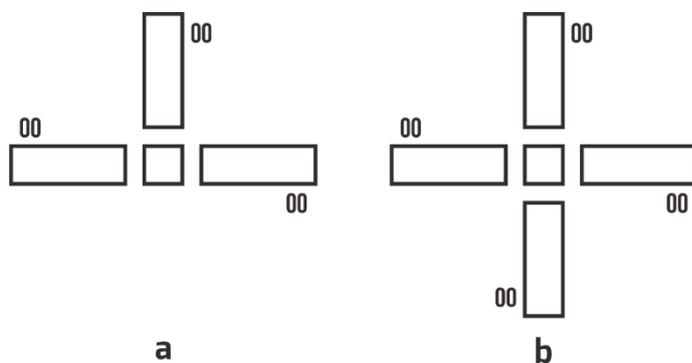
WP = *Weight Present-Phase*

WN = *Weight Next-Phase*

GT = *Green Time*

4.4.4 Desain Simulasi *Traffic Light*

Simulasi *traffic light* dibangun dengan menggunakan *software Visual Basic*. Bentuk *traffic light* yang akan dijadikan penelitian adalah model pertigaan dan perempatan tanpa isolasi. Desain ini memungkinkan setiap jalur akan mendapat giliran pewaktuan masing-masing tanpa ada *crash* dengan jalur yang lainnya. setiap jalur akan diberi 3 masukan variabel yang bisa di ubah-ubah. Ilustrasi Simulasi desain *traffic light* 3 jalur dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Ilustrasi *traffic light*: a) *traffic light* 3 jalur, b) *traffic light* 4 jalur

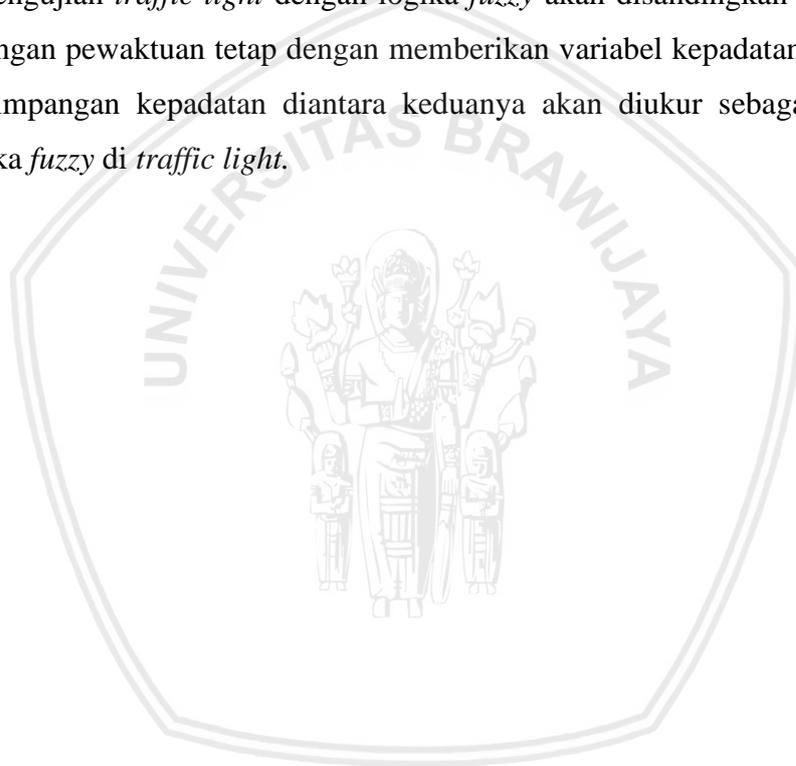
4.5 Analisis dan Pengujian

Analisis dan pengujian dilakukan pada dua bagian berikut:

1. Simulasi deteksi kepadatan kendaraan terhadap jalan
2. Simulasi kontrol logika *fuzzy* pada *traffic light*.

Analisis dan pengujian deteksi kepadatan kendaraan terhadap jalan dilakukan dengan mengekstraksi video pengamatan terhadap jalan. Bagian ini dimaksudkan untuk menguji kemampuan *software* dalam menghitung nilai riil kepadatan kendaraan terhadap jalan. Nilai yang muncul dalam simulasi mewakili nilai kepadatan sesungguhnya di jalan.

Pada pengujian *traffic light* dengan logika *fuzzy* akan disandingkan dengan sistem *traffic light* dengan pewaktuan tetap dengan memberikan variabel kepadatan yang sama di setiap jalur. simpangan kepadatan diantara keduanya akan diukur sebagai representasi perbaikan logika *fuzzy* di *traffic light*.





BAB V

HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi dari perancangan sistem, data-data hasil percobaan dan Analisis. Pengujian dan percobaan dilakukan pada 3 bagian: 1) background subtraction sebagai deteksi obyek kendaraan sekaligus akuisisi data kepadatan kendaraan terhadap jalan (*Traffic density*), 2) Implementasi *fuzzy logic control* untuk persimpangan tiga jalur, 3) Implementasi *fuzzy logic control* untuk persimpangan empat jalur.

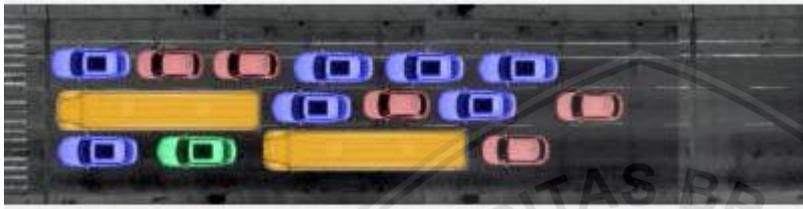
5.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan pengetahuan-pengetahuan inti dan aturan-aturan yang digunakan dalam simulasi implementasi *fuzzy logic* untuk kendali sinyal lalu lintas kendaraan pada *traffic light*.

1. Ekstraksi *frame* dari video untuk memperoleh *foreground image* dan *background image*
2. Konversi *RGB* ke *Grayscale*
3. *Background Subtraction* untuk deteksi obyek
4. *Threshold* untuk mendapatkan citra digital
5. *Fuzzy logic* untuk implementasi data *Traffic density*
6. *Fuzzy logic* untuk penentuan lama pewaktuan lampu hijau

5.2 Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah video lalu lintas kendaraan di jalan yang diambil dari sudut pandang atas. Pengambilan video dilakukan dari atas jembatan penyeberangan yang dekat dengan *traffic light* sebagai representasi *traffic density* yang ada di *traffic light* tersebut. Namun dalam penelitian ini video yang digunakan adalah video animasi yang sudah kami sesuaikan tampilannya agar video yang digunakan memiliki kriteria ideal sebagai data masukan. Tampilan video yang digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada gambar 5.1.

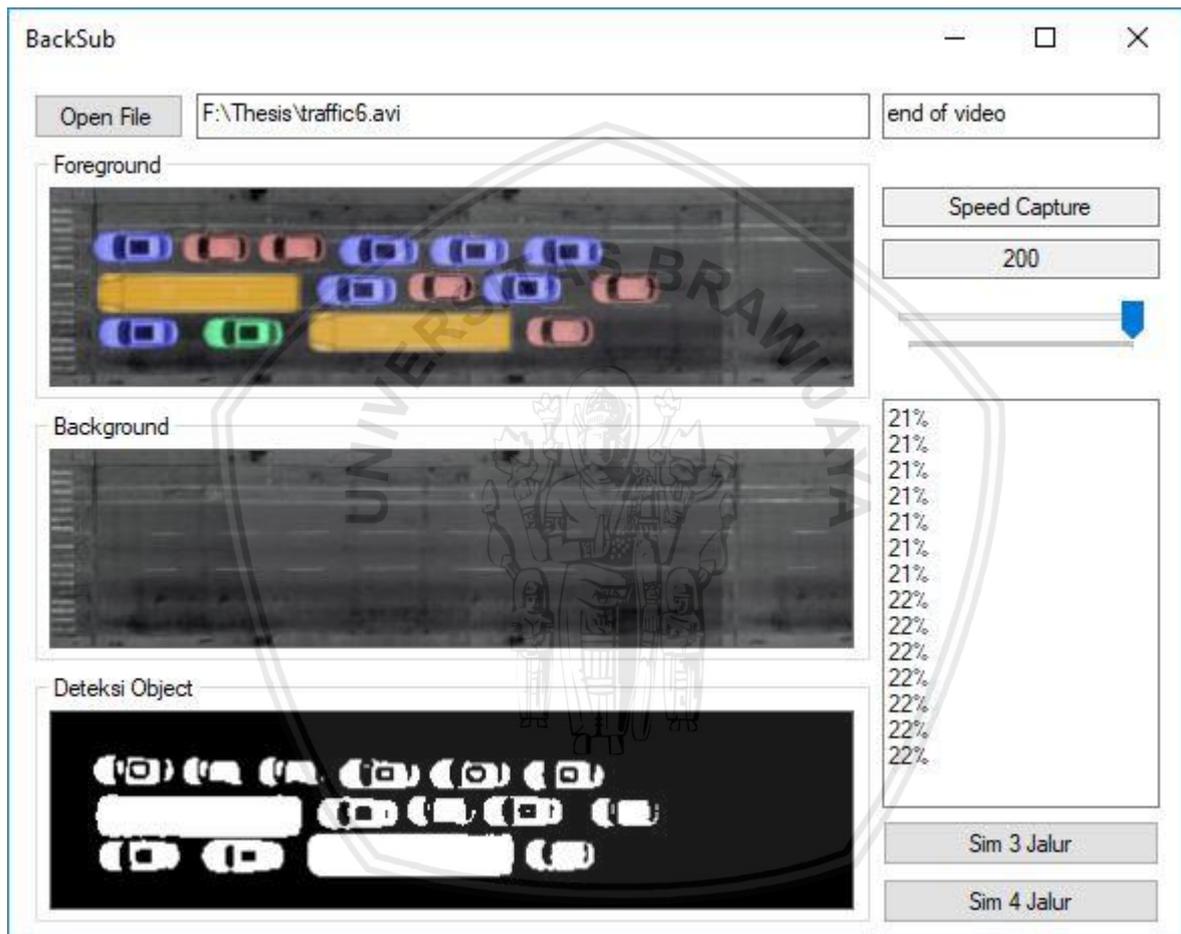


Gambar 5.1 penampakan video *traffic.avi*

5.2.1 Akuisisi Data Kepadatan Kendaraan (*Traffic density*)

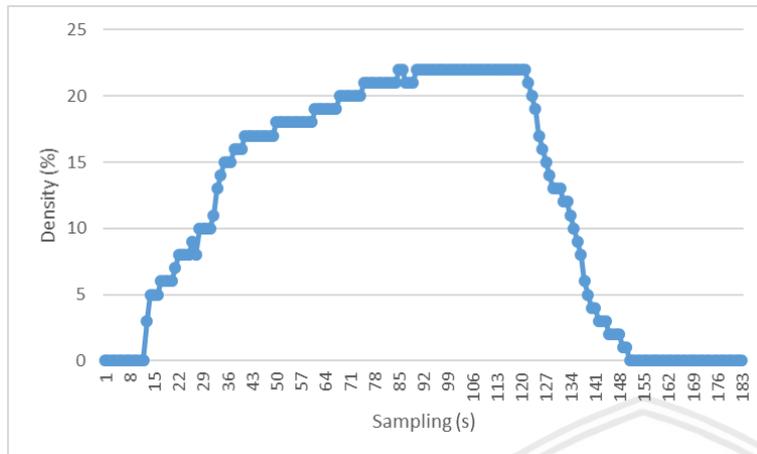
Pada tahap akuisisi data *traffic density* dilakukan simulasi aplikasi *background subtraction*. Simulasi akan mengkomparasi *foreground frame* dan *background frame*. Persentase nilai difference terhadap luas background merupakan nilai *traffic density*. *Foreground frame* diperoleh dari *capture* video *traffic.avi* yang dijalankan dalam simulasi. *Background frame* diperoleh dari *capture frame* jalan tanpa kendaraan. Dalam simulasi *background frame* di peroleh dari *capture frame* pertama dalam video *traffic.avi* yang telah disisipkan frame jalan tanpa kendaraan di bagian awal video. Tampilan simulasi akuisisi *traffic density* dapat dilihat pada gambar 5.2

Dalam simulasi *background subtraction* untuk akuisisi data *traffic density* atau seperti yang terlihat dalam gambar 5.2. Data *traffic density* ditampilkan dalam nilai persentase. *Difference* antara *foreground frame* dan *background frame* ditampilkan dalam warna biner. Warna hitam mewakili *background* dan warna putih mewakili obyek kendaraan yang terdeteksi. Luas area yang berwarna putih kemudian dihitung dan dibandingkan dengan luas keseluruhan dan kemudian ditampilkan dalam nilai persentase seperti terlihat di gambar 5.2.



Gambar 5.2 Simulasi *background subtraction* untuk akuisisi data *Traffic density*.

Berikut kami tampilkan grafik nilai *traffic density* selama simulasi berlangsung pada gambar 5.3



Gambar 5.3 Grafik kepadatan kendaraan terhadap jalan (*Traffic density*)

5.2.2 Akuisisi Nilai Beban Jalur (*weight*)

Tahap akuisisi nilai beban jalur (*weight*) dibutuhkan tiga referensi masukan. Ketiga referensi masukan diproses dengan metode *fuzzy logic* antara lain *traffic density*, *summing rate*, *flow rate*. Berikut akan di tampilkan proses akuisisi nilai *weight*:

Kasus:

Salah satu jalur dalam *traffic light* memiliki data

Traffic density = 45 % luas jalan

Summing rate = 5 % luas jalan/second

Flow rate = 30 % luas jalan/second

Berapakah nilai beban (*weight*) dari jalur tersebut

Penyelesaian:

Berdasarkan *rule base* pada tabel 4.1 dan fungsi keanggotaan *traffic density*, *summing rate* dan *flow rate* yang ada di bab 4 maka nilai beban (*weight*) dapat diperoleh dengan langkah sebagai berikut:

a. Mencari derajat keanggotaan

1) Derajat keanggotaan *traffic density*

$$\mu_{\text{DenLow}}[45] = (50-45)/40 = 0,125$$

$$\mu_{\text{DenMidUp}}[45] = ((45-20)/30 = 0,83$$

$$\mu_{\text{DenMidDown}}[45] = 0$$

$$\mu_{\text{DenHigh}}[45] = 0$$

2) Derajat keanggotaan *summing rate*

$$\mu_{\text{SRSlow}}[5] = (14-5)/11 = 0,82$$

$$\mu_{\text{SRFast}}[5] = 0$$

3) Derajat keanggotaan *flow rate*

$$\mu_{\text{FRSlow}}[30] = (35-30)/15 = 0,33$$

$$\mu_{\text{FRFast}}[30] = (30-25)/15 = 0,33$$

b. Mencari nilai *a-predikat* dan *z*.

[R1] IF DEN = LOW & SR = SLOW & FR = FAST Then Weight = LOW

$$a\text{-predikat1} = \min(\mu_{\text{DenLow}}[45]; \mu_{\text{SRSlow}}[5]; \mu_{\text{FRFast}}[30])$$

$$= \min(0,125; 0,82; 0,33) = 0,125$$

$$z1 = 50 - (0,125 \times 50) = 43,42$$

[R2] IF DEN = LOW & SR = SLOW & FR = SLOW Then Weight = LOW

$$a\text{-predikat2} = \min(\mu_{\text{DenLow}}[45]; \mu_{\text{SRSlow}}[5]; \mu_{\text{FRSlow}}[30])$$

$$= \min(0,125; 0,82; 0,33) = 0,125$$

$$z2 = 50 - (0,125 \times 50) = 43,42$$

[R3] IF DEN = LOW & SR = FAST & FR = FAST Then Weight = MID UP

$$a\text{-predikat3} = \min(\mu_{\text{DenLow}}[45]; \mu_{\text{SRFast}}[5]; \mu_{\text{FRFast}}[30])$$

$$= \min(0,125; 0; 0,33) = 0$$

$$z3 = 25 + (0 \times 25) = 25$$

[R4] IF DEN = LOW & SR = FAST & FR = SLOW Then Weight = MID UP

$$a\text{-predikat4} = \min(\mu_{\text{DenLow}}[45]; \mu_{\text{SRFast}}[5]; \mu_{\text{FRSlow}}[30])$$

$$= \min(0,125; 0; 0,33) = 0$$

$$z4 = 25 + (0 \times 25) = 25$$

[R5] IF DEN = MID UP & SR = SLOW & FR = FAST Then Weight = MID UP

$$a\text{-predikat5} = \min(\mu_{\text{DenMidUp}}[45]; \mu_{\text{SRSlow}}[5]; \mu_{\text{FRFast}}[30])$$

$$= \min(0,83; 0,82; 0,33) = 0,33$$

$$z_5 = 25 + (0,33 \times 25) = 33,25$$

[R6] IF DEN = MID UP & SR = SLOW & FR = SLOW Then Weight = MID UP

$$a\text{-predikat6} = \min(\mu_{\text{DenMidUp}}[45]; \mu_{\text{SRSlow}}[5]; \mu_{\text{FRSlow}}[30])$$

$$= \min(0,83; 0,82; 0,33) = 0,33$$

$$z_6 = 25 + (0,33 \times 25) = 33,25$$

[R7] IF DEN = MID UP & SR = FAST & FR = FAST Then Weight = MID UP

$$a\text{-predikat7} = \min(\mu_{\text{DenMidUp}}[45]; \mu_{\text{SRFast}}[5]; \mu_{\text{FRFast}}[30])$$

$$= \min(0,83; 0; 0,33) = 0$$

$$z_7 = 25 + (0 \times 25) = 25$$

[R8] IF DEN = MID UP & SR = FAST & FR = SLOW Then Weight = MID UP

$$a\text{-predikat8} = \min(\mu_{\text{DenMidUp}}[45]; \mu_{\text{SRFast}}[5]; \mu_{\text{FRSlow}}[30])$$

$$= \min(0,83; 0; 0,33) = 0$$

$$z_8 = 25 + (0 \times 25) = 25$$

[R9] IF DEN = MID DOWN & SR = SLOW & FR = FAST Then Weight = MID DOWN

$$a\text{-predikat9} = \min(\mu_{\text{DenMidDown}}[45]; \mu_{\text{SRSlow}}[5]; \mu_{\text{FRFast}}[30])$$

$$= \min(0; 0,82; 0,33) = 0$$

$$z_9 = 75 - (0 \times 25) = 75$$

[R10] IF DEN = MID DOWN & SR = SLOW & FR = SLOW Then Weight = MID DOWN

$$a\text{-predikat10} = \min(\mu_{\text{DenMidDown}}[45]; \mu_{\text{SRSlow}}[5]; \mu_{\text{FRSlow}}[30])$$

$$= \min(0; 0,82; 0,33) = 0$$

$$z_{10} = 75 - (0 \times 25) = 75$$

[R11] IF DEN = MID DOWN & SR = FAST & FR = FAST Then Weight = MID DOWN

$$a\text{-predikat11} = \min(\mu_{\text{DenMidDown}}[45]; \mu_{\text{SRFast}}[5]; \mu_{\text{FRFast}}[30])$$

$$= \min(0; 0; 0,33) = 0$$

$$z_{11} = 75 - (0 \times 25) = 75$$

[R12] IF DEN = MID DOWN & SR = FAST & FR = SLOW Then Weight = MID DOWN

$$a\text{-predikat12} = \min(\mu_{\text{DenMidDown}}[45]; \mu_{\text{SRFast}}[5]; \mu_{\text{FRSlow}}[30])$$

$$= \min(0; 0; 0,33) = 0$$

$$z_{12} = 75 - (0 \times 25) = 75$$

[R13] IF DEN = HIGH & SR = SLOW & FR = FAST Then Weight = MID DOWN

$$a\text{-predikat13} = \min (\mu_{\text{DenHigh}}[45]; \mu_{\text{SRSlow}}[5]; \mu_{\text{FRFast}}[30])$$

$$= \min (0; 0,82; 0,33) = 0$$

$$z_{13} = 75 - (0 \times 25) = 75$$

[R14] IF DEN = HIGH & SR = SLOW & FR = SLOW Then Weight = MID DOWN

$$a\text{-predikat14} = \min (\mu_{\text{DenHigh}}[45]; \mu_{\text{SRSlow}}[5]; \mu_{\text{FRSlow}}[30])$$

$$= \min (0; 0,82; 0,33) = 0$$

$$z_{14} = 75 - (0 \times 25) = 75$$

[R15] IF DEN = HIGH & SR = FAST & FR = FAST Then Weight = HIGH

$$a\text{-predikat15} = \min (\mu_{\text{DenHigh}}[45]; \mu_{\text{SRFast}}[5]; \mu_{\text{FRFast}}[30])$$

$$= \min (0; 0; 0,33) = 0$$

$$z_{15} = 50 + (0 \times 50) = 50$$

[R16] IF DEN = HIGH & SR = FAST & FR = SLOW Then Weight = HIGH

$$a\text{-predikat16} = \min (\mu_{\text{DenHigh}}[45]; \mu_{\text{SRFast}}[5]; \mu_{\text{FRSlow}}[30])$$

$$= \min (0; 0; 0,33) = 0$$

$$z_{16} = 50 + (0 \times 50) = 50$$

c. Mencari nilai Z_{total}

$$Z_{total} = \frac{(a_{p1} * z_1) + (a_{p2} * z_2) + \dots + (a_{p5} * z_5) + (a_{p6} * z_6) + \dots + (a_{p16} * z_{16})}{a_{p1} + a_{p2} + \dots + a_{p5} + a_{p6} + \dots + a_{p16}}$$

$$Z_{total} = \frac{(0,125 * 43,42) + (0,125 * 43,42) + (0,33 * 33,25) + (0,33 * 33,25)}{0,125 + 0,125 + 0,33 + 0,33}$$

$$z_{total} = 36,04$$

Nilai beban jalur berdasarkan referensi *traffic density*, *summing rate* dan *flow rate* adalah 36,04 atau dibulatkan menjadi 36

5.2.3 Penentuan Pewaktuan Lampu Hijau (*Green Time*)

Pewaktuan lampu hijau (*green time*) diperoleh dari dua referensi; nilai beban jalur yang akan diberi pewaktuan lampu hijau (*weight present-phase*) dan nilai beban jalur berikutnya (*weight next phase*). Proses perhitungan fuzzy untuk *green time* adalah sebagai berikut:

Kasus:

Suatu jalur (*present-phase*) akan diberinpewaktuan lampu hijau (*green time*) dengan data referensi sebagai berikut:

$$\text{Weight present phase} = 40$$

$$\text{Weight next phase} = 55$$

Berapakah pewaktuan lampu hijau (*green time*) yang ideal untuk jalur (*present-phase*) tersebut

Penyelesaian:

Berdasarkan *rule base* pada tabel 4.2 dan fungsi keanggotaan *weight present-phase* dan *weight next-phase* yang ada di bab 4 maka pewaktuan lampu hijau (*green time*) untuk jalur (*present-phase*) dapat diperoleh dengan langkah sebagai berikut:

a. Mencari derajat keanggotaan

1) Derajat keanggotaan *weight present-phase*

$$\mu_{\text{WPLight}}[40] = (50-40)/50 = 0,2$$

$$\mu_{\text{WPMidUp}}[40] = (40-25)/25 = 0,48$$

$$\mu_{\text{WPMidDown}}[40] = 0$$

$$\mu_{\text{WPHeavy}}[40] = 0$$

2) Derajat keanggotaan *weight next-phase*

$$\mu_{\text{WNLight}}[55] = 0$$

$$\mu_{\text{WNMidUp}}[55] = 0$$

$$\mu_{\text{WNMidDown}}[55] = (75-55)/25 = 0,8$$

$$\mu_{\text{WNHeavy}}[55] = (55-50)/50 = 0,1$$

b. Mencari *a-predikat* dan *z*

[R1] IF WP = LIGHT & WN = HEAVY Then GT = SHORT

$$a\text{-predikat}1 = \min(\mu_{\text{WPLight}}[40]; \mu_{\text{WNHeavy}}[55])$$

$$= \min(0,2; 0,1) = 0,1$$

$$z1 = 15 - (0,1 \times 10) = 14$$

[R2] IF WP = LIGHT & WN = MID DOWN Then GT = SHORT

$$a\text{-predikat2} = \min (\mu_{\text{WPLight}}[40]; \mu_{\text{WNMidDown}}[55])$$

$$= \min (0,2; 0,8) = 0,2$$

$$z2 = 15 - (0,2 \times 10) = 13$$

[R3] IF WP = LIGHT & WN = MID UP Then GT = SHORT

$$a\text{-predikat3} = \min (\mu_{\text{WPLight}}[40]; \mu_{\text{WNMidUp}}[55])$$

$$= \min (0,2; 0) = 0$$

$$z3 = 15 - (0 \times 10) = 15$$

[R4] IF WP = LIGHT & WN = LIGHT Then GT = SHORT

$$a\text{-predikat4} = \min (\mu_{\text{WPLight}}[40]; \mu_{\text{WNHeavy}}[55])$$

$$= \min (0,2; 0) = 0$$

$$z4 = 15 - (0 \times 10) = 15$$

[R5] IF WP = MID UP & WN = HEAVY Then GT = SHORT

$$a\text{-predikat5} = \min (\mu_{\text{WPMidUp}}[40]; \mu_{\text{WNHeavy}}[55])$$

$$= \min (0,48; 0,1) = 0,1$$

$$z5 = 15 - (0,1 \times 10) = 14$$

[R6] IF WP = MID UP & WN = MID DOWN Then GT = MID UP

$$a\text{-predikat6} = \min (\mu_{\text{WPMidUp}}[40]; \mu_{\text{WNMidDown}}[55])$$

$$= \min (0,48; 0,8) = 0,48$$

$$z6 = 10 + (0,48 \times 7,5) = 13,6$$

[R7] IF WP = MID UP & WN = MID UP Then GT = MID UP

$$a\text{-predikat7} = \min (\mu_{\text{WPMidUp}}[40]; \mu_{\text{WNMidUp}}[55])$$

$$= \min (0,48; 0) = 0$$

$$z7 = 10 + (0 \times 7,5) = 10$$

[R8] IF WP = MID UP & WN = LIGHT Then GT = MID UP

$$a\text{-predikat8} = \min (\mu_{\text{WPMidUp}}[40]; \mu_{\text{WNLight}}[55])$$

$$= \min (0,48; 0) = 0$$

$$z8 = 10 + (0 \times 7,5) = 10$$

[R9] IF WP = MID DOWN & WN = HEAVY Then GT = MID UP

$$a\text{-predikat9} = \min (\mu_{\text{WPMidDown}}[40]; \mu_{\text{WNHeavy}}[55])$$

$$= \min (0; 0,1) = 0$$

$$z9 = 10 + (0 \times 7,5) = 10$$

[R10] IF WP = MID DOWN & WN = MID DOWN Then GT = MI DOWN

$$a\text{-predikat10} = \min(\mu_{\text{WPMidDown}}[40]; \mu_{\text{WNMidDown}}[55])$$

$$= \min(0; 0,8) = 0$$

$$z_{10} = 25 - (0 \times 7,5) = 25$$

[R11] IF WP = MID DOWN & WN = MID UP Then GT = MI DOWN

$$a\text{-predikat11} = \min(\mu_{\text{WPMidDown}}[40]; \mu_{\text{WNMidUp}}[55])$$

$$= \min(0; 0) = 0$$

$$z_{11} = 25 - (0 \times 7,5) = 25$$

[R12] IF WP = MID DOWN & WN = LIGHT Then GT = MI DOWN

$$a\text{-predikat12} = \min(\mu_{\text{WPMidDown}}[40]; \mu_{\text{WNLight}}[55])$$

$$= \min(0; 0) = 0$$

$$z_{12} = 25 - (0 \times 7,5) = 25$$

[R13] IF WP = HEAVY & WN = HEAVY Then GT = MI DOWN

$$a\text{-predikat13} = \min(\mu_{\text{WPHeavy}}[40]; \mu_{\text{WNHeavy}}[55])$$

$$= \min(0; 0,1) = 0$$

$$z_{13} = 25 - (0 \times 7,5) = 25$$

[R14] IF WP = HEAVY & WN = MID DOWN Then GT = LONG

$$a\text{-predikat14} = \min(\mu_{\text{WPHeavy}}[40]; \mu_{\text{WNMidDown}}[55])$$

$$= \min(0; 0,8) = 0$$

$$z_{14} = 20 - (0 \times 10) = 20$$

[R15] IF WP = HEAVY & WN = MID UP Then GT = LONG

$$a\text{-predikat15} = \min(\mu_{\text{WPHeavy}}[40]; \mu_{\text{WNMidUp}}[55])$$

$$= \min(0; 0) = 0$$

$$z_{15} = 20 - (0 \times 10) = 20$$

[R16] IF WP = HEAVY & WN = LIGHT Then GT = LONG

$$a\text{-predikat16} = \min(\mu_{\text{WPHeavy}}[40]; \mu_{\text{WNLight}}[55])$$

$$= \min(0; 0) = 0$$

$$z_{16} = 20 - (0 \times 10) = 20$$

c. Mencari Z_{total}

$$Z_{total} = \frac{(ap1 * z1) + (ap2 * z2) + \dots + (ap5 * z5) + (ap6 * z6) + \dots + (ap16 * z16)}{ap1 + ap2 + \dots + ap5 + ap6 + \dots + ap16}$$

$$Z_{total} = \frac{(0,1 * 14) + (0,2 * 13) + (0,1 * 13) + (0,48 * 13,6)}{0,1 + 0,2 + 0,1 + 0,48}$$

$$z_{total} = 13,55$$

Green time ideal yang diberikan berdasarkan *weight present-phase* dan *weight next-phase* adalah 13,55 atau digenapkan menjadi 14 detik

5.3 Hasil Pengujian Simulasi Sistem

Pengujian sistem dalam penelitian ini dilakukan dalam 3 model simulasi,

1. Simulasi *traffic light* 3 jalur
2. Simulasi *traffic light* 4 jalur

5.3.1 Simulasi *Traffic light* 3 Jalur

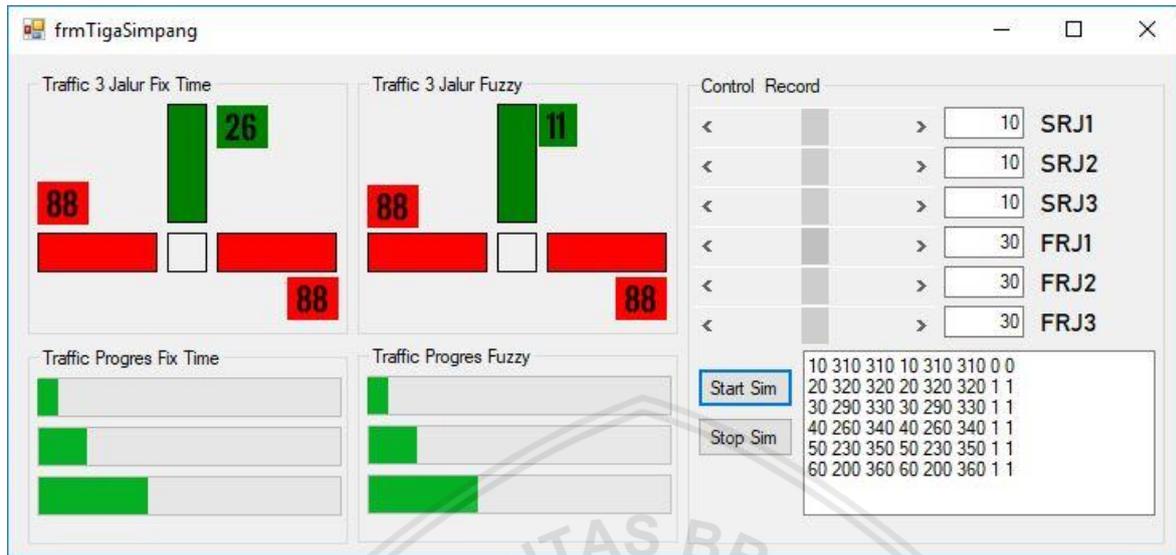
Pada bagian ini akan ditampilkan hasil dari simulasi *traffic light* 3 jalur, baik *traffic light* sistem dengan *fixed-time* maupun sistem pewaktuan menggunakan komputasi *fuzzy logic control*, keduanya dijalankan secara bersamaan dan diberi pembebanan *summing rate* dan *flow rate* yang sama. *Traffic light* dengan sistem *fixed-time* akan diberikan durasi 30 detik untuk setiap lampu hijau, sedangkan *traffic light* dengan sistem pewaktuan *fuzzy logic control* akan diberi durasi pewaktuan berdasarkan kalkulasi *fuzzy logic control*.

Untuk menunjukkan seberapa efisien penggunaan *fuzzy logic control* pada aplikasi *traffic light*, maka pengujian akan dilakukan dalam 3 model pembebanan untuk setiap jalur. pembebanan *Medium* adalah dengan memberi beban *medium summing rate* dan *medium flow rate*. Pembebanan *Light* adalah dengan memberi beban *low summing rate* dan *medium flow rate* atau *high flow rate*. Sedangkan pembebanan *Heavy* adalah dengan memberi beban *high summing rate* dan *medium flow rate* atau *low summing rate*.

1. Pembebanan *Medium, Medium, Medium*

Pada pengujian ini setiap jalur akan diberi pembebanan yang sama, yaitu pembebanan *Medium*. Dalam kesempatan ini nilai *summing rate* adalah 1% /detik

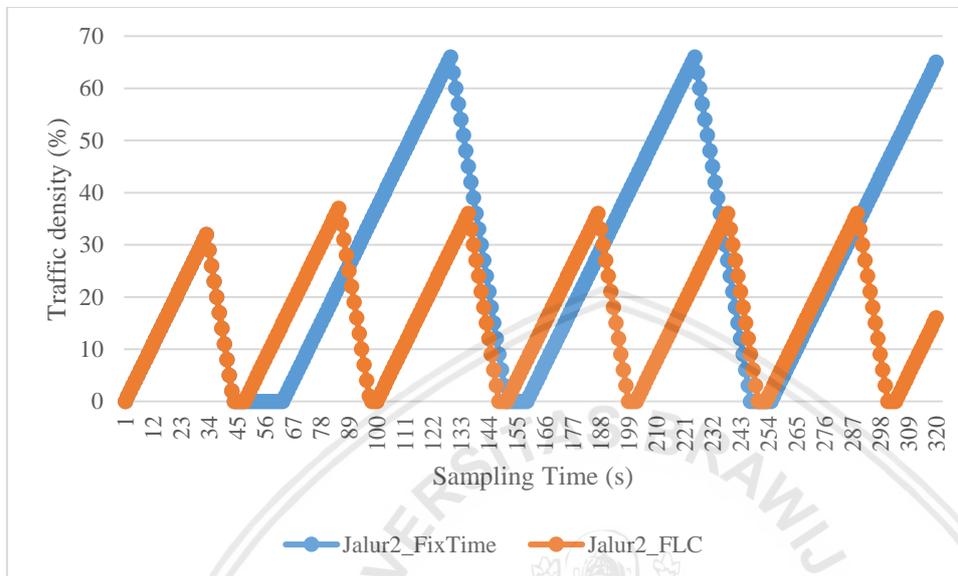
dan nilai *flow rate* adalah 3%/detik. Tampilan simulasi dan pembebanan dapat dilihat pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Pembebanan *Medium, Medium, Medium*

Dari simulasi ini dapat ditunjukkan seberapa tangguh *traffic light* dengan sistem pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control* dibandingkan *traffic light* dengan sistem *fixed-time*. Ketangguhan pertama adalah seberapa cepat siklus perpindahan pewaktuan lampu hijau untuk setiap jalur. simulasi dijalankan selama 313 detik dan didapati *traffic light* dengan sistem *fixed-time* mengalami siklus perputaran sebanyak 2,5 siklus, *traffic light* dengan sistem pewaktuan *fuzzy logic control* telah mengalami siklus perputaran sebanyak 6 siklus. Ini berarti bahwa implementasi *fuzzy logic control* untuk pewaktuan lampu hijau lebih responsif jika dibandingkan dengan *traffic light* dengan sistem *fixed-time*

Ketangguhan yang kedua adalah seberapa efisien *traffic light* menurunkan nilai *traffic density*. Sebagai contoh akan ditampilkan perbandingan kepadatan kendaraan terhadap jalan di jalur satu. Perbandingan ditampilkan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 5.5.



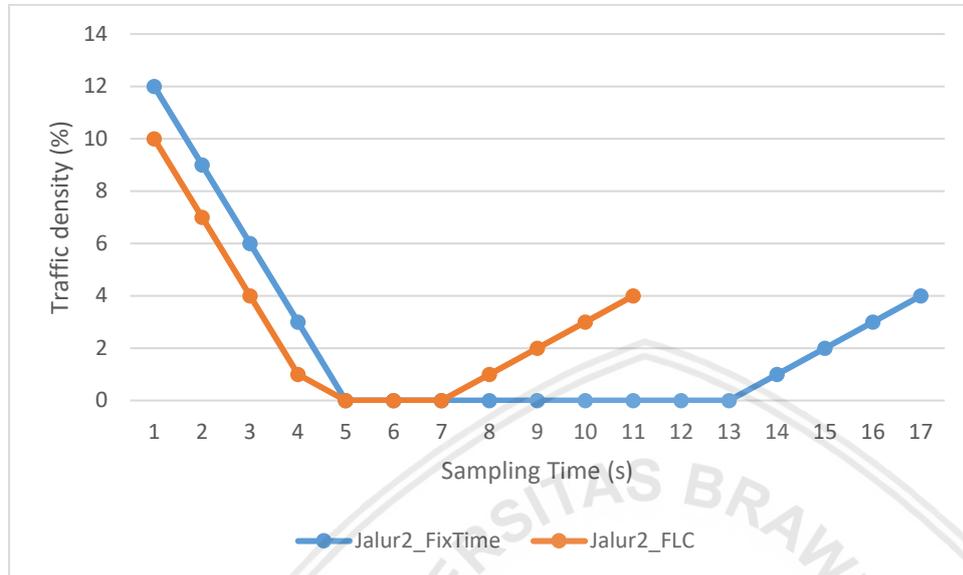
Gambar 5.5 *Traffic density* jalur 2 (*Medium, Medium, Medium*)

Dari gambar 5.5 dapat dilihat bahwa *traffic light* dengan sistem pewaktuan *fuzzy logic control* mampu menurunkan *traffic density* di jalur 1. Dengan melihat grafik dapat kita simpulkan persentase penurunan nilai *traffic density* di jalur 1. Persentase penurunan nilai *traffic density* adalah sebagai berikut:

$$\% \text{Penurunan nilai } \textit{Traffic density} = \frac{\text{max } \textit{traffic density} \textit{ fixed time} - \text{max } \textit{traffic density} \textit{ FLC}}{\text{max } \textit{traffic density} \textit{ fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan nilai } \textit{Traffic density} = \frac{66 - 37}{66} \times 100\% = 43,94\%$$

Ketangguhan ketiga adalah efisiensi pergantian pewaktuan lampu hijau di setiap jalur sebagai contoh akan ditampilkan efisiensi pergantian pewaktuan dari jalur 2. Perbandingan efisiensi ditampilkan pada gambar 5.6



Gambar 5.6 Optimasi waktu tunggu di jalur 2 (*Medium, Medium, Medium*)

Dari gambar 5.6 dapat disimpulkan ada pemborosan waktu 9 detik pada sistem pewaktuan *fixed-time*. pemborosan terjadi ketika *traffic density* di jalur tersebut telah mengalami kekosongan. Berbeda dengan sistem pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control* yang mampu memberi pewaktuan yang sesuai sehingga kondisi *traffic density* bernilai 0 lebih dipersingkat menjadi 3 detik dan sesegera mungkin pewaktuan lampu hijau diberikan untuk jalur selanjutnya. Optimasi pengurangan waktu tunggu di jalur dua dapat dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{\text{waktu tunggu fixed time} - \text{waktu tunggu FLC}}{\text{waktu tunggu fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{9-3}{9} \times 100\% = 66,66\%$$

2. Pembebanan *Light, Medium, Medium*

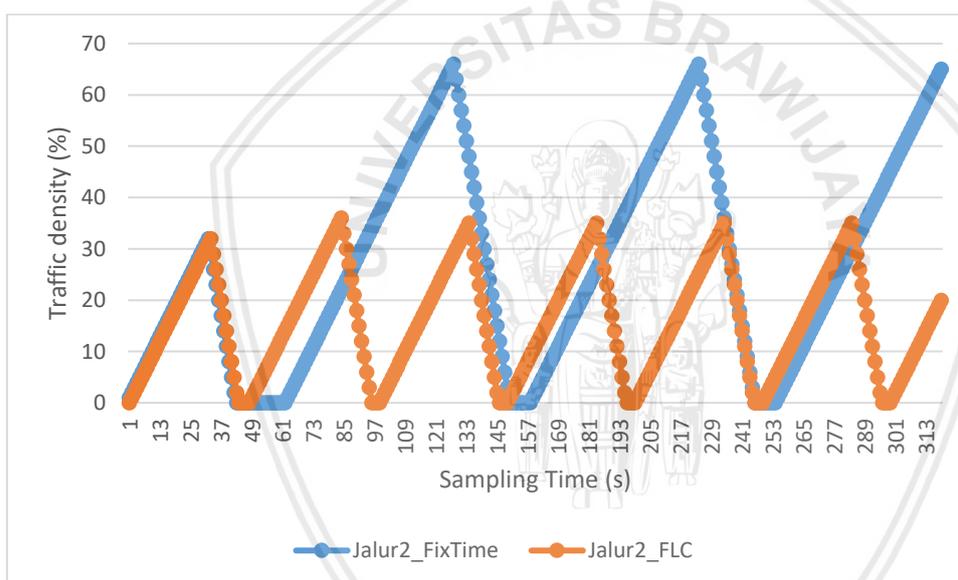
Pengujian pada bagian ini menggunakan metode yang sama dengan poin 1. Dengan sedikit merubah pembebanan di masing masing jalur. pembebanan *Light* diberikan pada jalur 1 sedangkan jalur 2 dan 3 diberi pembebanan *Medium*. Pembebanan *Light*

yang diberikan pada jalur 1 adalah 0,5% *summing rate* dan 3% *flow rate* sedangkan pembebanan *Medium* di jalur 2 dan 3 adalah 1% *summing rate* dan 3 % *flow rate*.

Metode pengujian masih sama dengan poin 1, yaitu dengan pembebanan sama di dua model *traffic light* kemudian dianalisis di 3 bagian:

- Siklus perpindahan pewaktuan
- Penurunan nilai *Traffic density*
- Penurunan waktu tunggu

Seberapa cepat siklus perpindahan pewaktuan pada *traffic light* dapat dilihat pada gambar 5.7.



Gambar 5.7 *Traffic density* jalur 2 (*Light, Medium, Medium*)

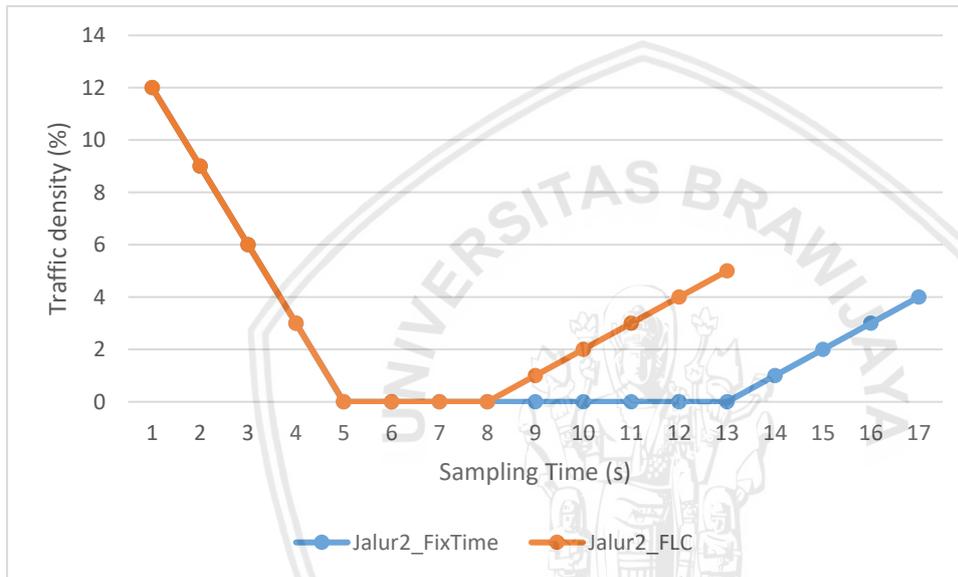
Pengujian kedua ini berlangsung selama 319 detik. Dan dapat kita lihat perbedaan jumlah siklus perpindahan pewaktuan antara *traffic light* dengan *fixed-time* dan *traffic light* dengan pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control*. Selama pengujian sistem pewaktuan berkontribusi 2,5 siklus sedangkan sistem *fuzzy logic control* berkontribusi 6 siklus. Seperti halnya poin 1 dapat diartikan bahwa implementasi *fuzzy logic control* untuk pewaktuan lampu hijau lebih responsif jika dibandingkan dengan *traffic light* dengan sistem *fixed-time*

Masih dari gambar 5.7, tingkat penurunan nilai *traffic density* dapat kita hitung sebagai berikut:

$$\% \text{Penurunan nilai } Traffic \text{ density} = \frac{\text{max } traffic \text{ density fixed time} - \text{max } traffic \text{ density FLC}}{\text{max } traffic \text{ density fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan nilai } Traffic \text{ density} = \frac{66 - 36}{66} \times 100\% = 45,45\%$$

Analisis penurunan waktu tunggu perpindahan pewaktuan dapat dilihat pada gambar grafik 5.8



Gambar 5.8 Optimasi waktu tunggu di jalur 2 (*Light, Medium, Medium*)

Dari gambar 5.8 dapat disimpulkan ada pemborosan waktu 9 detik pada sistem pewaktuan *fixed-time*. pemborosan terjadi ketika *traffic density* di jalur tersebut telah mengalami kekosongan. Berbeda dengan sistem pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control* yang mampu memberi pewaktuan yang sesuai sehingga kondisi *traffic density* bernilai 0 lebih dipersingkat menjadi 4 detik dan sesegera mungkin pewaktuan lampu hijau diberikan untuk jalur selanjutnya. Optimasi pengurangan waktu tunggu di jalur dua dapat dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{\text{waktu tunggu fixed time} - \text{waktu tunggu FLC}}{\text{waktu tunggu fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{9 - 4}{9} \times 100\% = 55,55\%$$

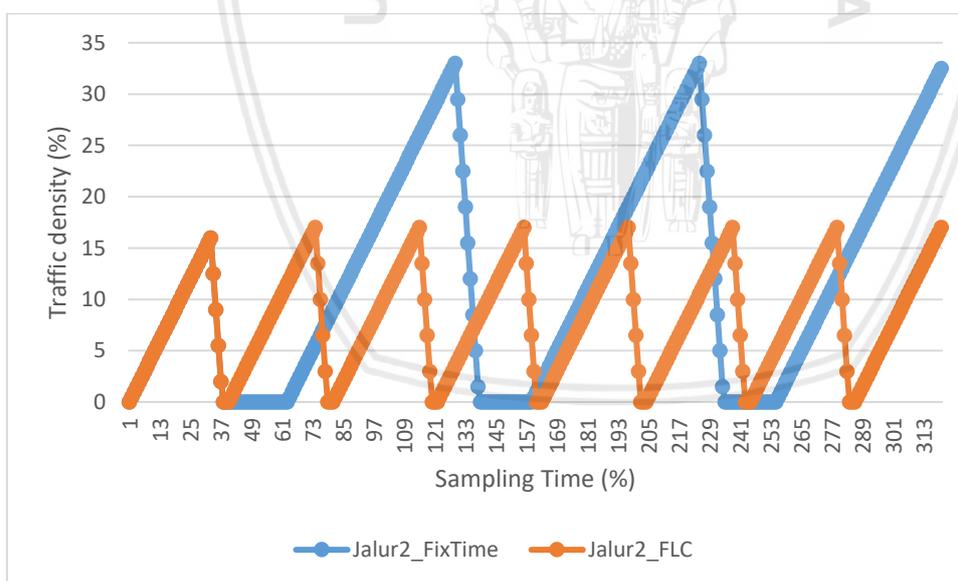
3. Pembebanan *Heavy, Light, Light*

Pada pengujian ini menggunakan metode yang masih sama dengan poin 1 dan 2. Perubahan pembebanan di jalur semua jalur. jalur 1 diberi pembebanan *Heavy* sedang jalur 2 dan 3 diberi pembebanan *Light*. Pembebanan *Heavy* adalah 1,5% *summing rate* dan 4% *flow rate*, sedangkan pembebanan *Light* adalah 0,5% *summing rate* dan 3,5% *flow rate*.

Metode pengujian masih sama dengan poin 1 dan 2, yaitu dengan pembebanan sama di dua model *traffic light* kemudian dianalisis di 3 bagian:

- Siklus perpindahan pewaktuan
- Penurunan nilai *Traffic density*
- Penurunan waktu tunggu

Seberapa cepat siklus perpindahan pewaktuan pada *traffic light* dapat dilihat pada gambar 5.9



Gambar 5.9 *Traffic density* jalur 2 (*Heavy, Light, Light*)

Pengujian kedua ini berlangsung selama 319 detik. Dan dapat kita lihat perbedaan jumlah siklus perpindahan pewaktuan antara *traffic light* dengan *fixed-time* dan *traffic light* dengan pewaktuan *fuzzy logic control*. Selama pengujian sistem pewaktuan berkontribusi 2,5 siklus sedangkan sistem *fuzzy logic control*

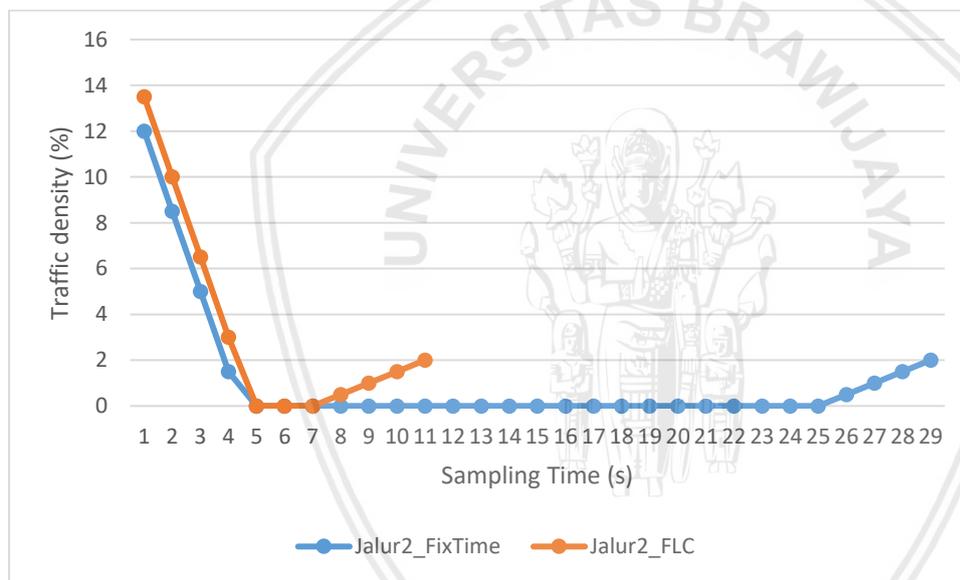
berkontribusi 7,5 siklus. Seperti halnya poin 1 dan 2 dapat diartikan bahwa implementasi *fuzzy logic control* untuk pewaktuan lampu hijau lebih responsif jika dibandingkan dengan *traffic light* dengan sistem *fixed-time*

Masih dari gambar 5.9, tingkat penurunan nilai *traffic density* dapat kita hitung sebagai berikut:

$$\% \text{Penurunan nilai Traffic density} = \frac{\text{max traffic density fixed time} - \text{max traffic density FLC}}{\text{max traffic density fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan nilai Traffic density} = \frac{33-17}{33} \times 100\% = 48,48\%$$

Analisis penurunan waktu tunggu perpindahan pewaktuan dapat dilihat pada gambar grafik 5.10



Gambar 5.10 Optimasi waktu tunggu di jalur 2 (*Heavy, Light, Light*)

Dari gambar 5.10 dapat disimpulkan ada pemborosan waktu 9 detik pada sistem pewaktuan *fixed-time*. pemborosan terjadi ketika *traffic density* di jalur tersebut telah mengalami kekosongan. Berbeda dengan sistem pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control* yang mampu memberi pewaktuan yang sesuai sehingga kondisi *traffic density* bernilai 0 lebih dipersingkat menjadi 3 detik dan sesegera mungkin pewaktuan lampu hijau diberikan untuk jalur selanjutnya. Optimasi pengurangan waktu tunggu di jalur dua dapat dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{\text{waktu tunggu fixed time} - \text{waktu tunggu FLC}}{\text{waktu tunggu fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{21-3}{21} \times 100\% = 85,75\%$$

4. Hasil perbandingan sistem pewaktuan *fixed-time* dan *fuzzy logic control* pada traffic light 3 jalur

Hasil perbandingan sistem pewaktuan *fixed-time* dan *fuzzy logic control* pada traffic light 3 jalur dilihat dari 3 variabel, antara lain siklus perpindahan pewaktuan, jeda waktu tunggu dan maksimum *traffic density*. hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 5.1

Tabel 5.1 *fixed-time* vs *fuzzy logic control* pada *traffic light* 3 jalur

Skenario	Durasi (detik)	Variabel Pembanding	Metode		Keterangan
			fixed-time	FLC	
MMM	313	Jumlah Siklus	2,5	6	siklus
		waktu tunggu	9	3	detik
		max density	66	37	%
LMM	313	Jumlah Siklus	2,5	6	siklus
		waktu tunggu	9	4	detik
		max density	66	36	%
HLL	313	Jumlah Siklus	2,5	7,5	siklus
		waktu tunggu	21	3	detik
		max density	33	17	%
L=Light	M=Medium	H=High			

5.3.3 Simulasi *Traffic light* 4 Jalur

Seperti halnya simulasi *traffic light* 3 jalur, pada simulasi *traffic light* 4 jalur juga akan dilakukan analisis perbandingan antara *traffic light* dengan sistem *fixed-time* dan *traffic light* dengan sistem pewaktuan *fuzzy logic control*. Hasil perbandingan dan analisis difokuskan pada tiga bagian berikut:

1. Siklus perpindahan pewaktuan
2. Penurunan nilai *Traffic density*
3. Penurunan waktu tunggu

Analisis simulasi *traffic light* akan dibagi menjadi 5 model percobaan pembebanan.

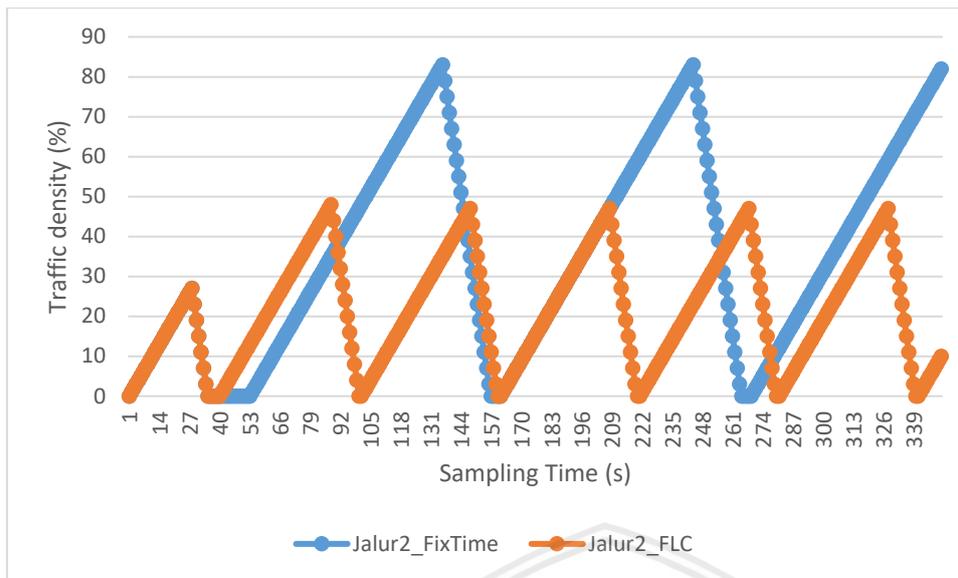
1. Pembebanan *Medium, Medium, Medium, Medium*

Simulasi pertama dilakukan dengan memberi pembebanan *Medium* di semua jalur. pembebanan *Medium* adalah *summing rate* 1% dan *flow rate* 4%. Tampilan simulasi dapat dilihat pada gambar 5.11



Gambar 5.11 Pembebanan *Medium, Medium, Medium, Medium*

Simulasi dijalankan selama 351 detik dan didapatkan perbandingan siklus perpindahan pewaktuan yang dapat dilihat pada gambar 5.12



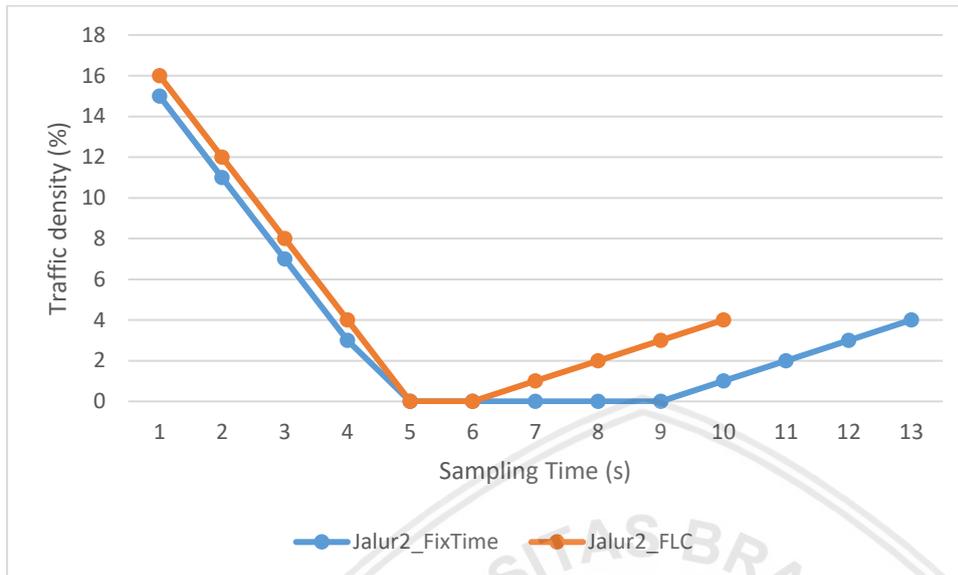
Gambar 5.12 *Traffic density* jalur 2 (*Medium, Medium, Medium, Medium,*)

Dari gambar 5.12 dapat kita lihat perbedaan jumlah siklus pewaktuan selama pengujian. *Traffic light* dengan sistem *fixed-time* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 2,5 kali sedangkan *traffic light* dengan sistem pewaktuan *fuzzy logic control* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 6 kali. Masih dari gambar 5.15 dapat kita analisis penurunan nilai *traffic density* yang mampu ditekan oleh sistem pewaktuan dengan *fuzzy logic control*. Penurunan nilai *traffic density* dapat dihitung sebagai berikut

$$\% \text{Penurunan nilai } \textit{Traffic density} = \frac{\text{max } \textit{traffic density} \textit{ fixed time} - \text{max } \textit{traffic density} \textit{ FLC}}{\text{max } \textit{traffic density} \textit{ fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan nilai } \textit{Traffic density} = \frac{83 - 47}{83} \times 100\% = 43,37\%$$

Analisis penurunan waktu tunggu perpindahan pewaktuan dapat dilihat pada gambar grafik 5.13.



Gambar 5.13 Optimasi waktu tunggu di jalur 2. (*Medium, Medium, Medium, Medium*)

Dari gambar 5.13 dapat disimpulkan ada pemborosan waktu 5 detik pada sistem pewaktuan *fixed-time*. pemborosan terjadi ketika *traffic density* di jalur tersebut telah mengalami kekosongan. Berbeda dengan sistem pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control* yang mampu memberi pewaktuan yang sesuai sehingga kondisi *traffic density* bernilai 0 lebih dipersingkat menjadi 2 detik dan sesegera mungkin pewaktuan lampu hijau diberikan untuk jalur selanjutnya. Optimasi pengurangan waktu tunggu di jalur dua dapat dihitung sebagai berikut:

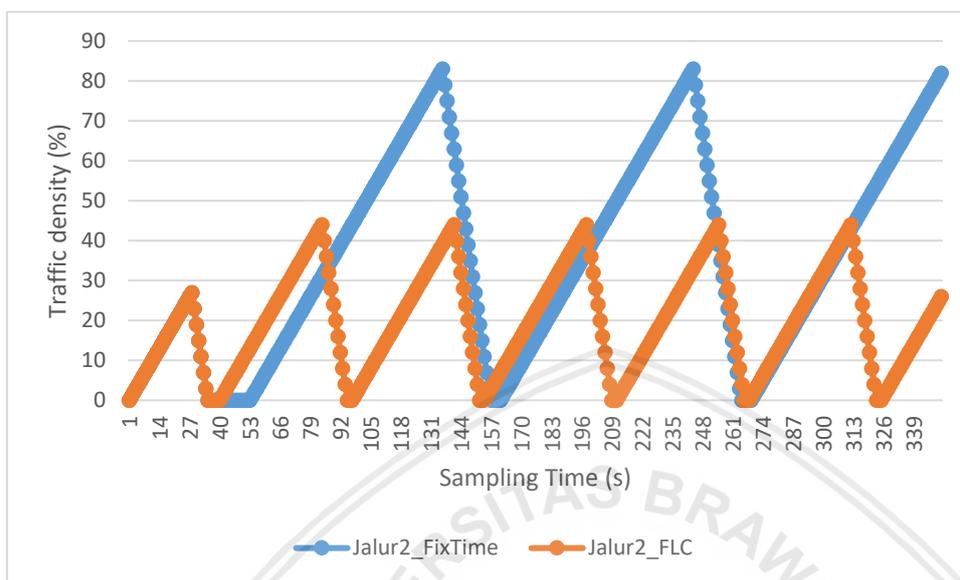
$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{\text{waktu tunggu fixed time} - \text{waktu tunggu FLC}}{\text{waktu tunggu fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{5-2}{5} \times 100\% = 60\%$$

2. Pembebanan *Light, Medium, Medium, Medium*

Simulasi kedua dilakukan dengan memberi pembebanan *light* di jalur 1 dan pembebanan *medium* di jalur 2, 3 dan 4. Pembebanan ringan adalah *summing rate* 0,5% dan *flow rate* 4% sedangkan pembebanan *medium* adalah *summing rate* 1% dan *flow rate* 4%.

Simulasi dijalankan selama 351 detik dan didapatkan perbandingan siklus perpindahan pewaktuan yang dapat dilihat pada gambar 5.14



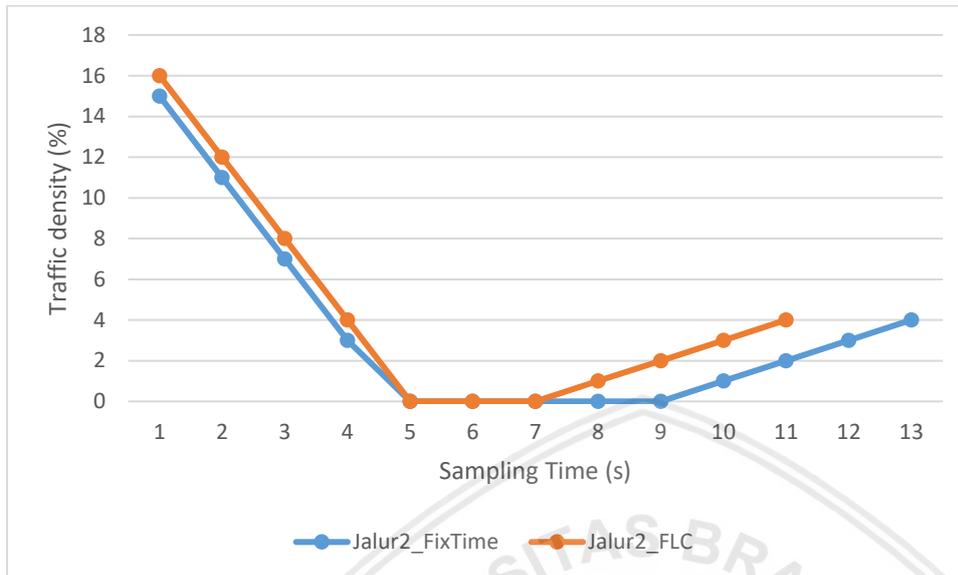
Gambar 5.14 Traffic density Jalur 1 (Light, Medium, Medium, Medium)

Dari gambar 5.14 dapat kita lihat perbedaan jumlah siklus pewaktuan selama pengujian. *Traffic light* dengan sistem *fixed-time* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 2,5 kali sedangkan *traffic light* dengan sistem pewaktuan *fuzzy logic control* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 6 kali. Masih dari gambar 5.18 dapat kita analisis penurunan nilai *traffic density* yang mampu ditekan oleh sistem pewaktuan dengan *fuzzy logic control*. Penurunan nilai *traffic density* dapat dihitung sebagai berikut

$$\% \text{Penurunan nilai Traffic density} = \frac{\max \text{ traffic density fixed time} - \max \text{ traffic density FLC}}{\max \text{ traffic density fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan nilai Traffic density} = \frac{83 - 44}{83} \times 100\% = 46,98\%$$

Analisis penurunan waktu tunggu perpindahan pewaktuan dapat dilihat pada gambar grafik 5.15



Gambar 5.15 Optimasi waktu tunggu di jalur 2. (*Light, Medium, Medium, Medium*)

Dari gambar 5.15 dapat disimpulkan ada pemborosan waktu 5 detik pada sistem pewaktuan *fixed-time*. pemborosan terjadi ketika *traffic density* di jalur tersebut telah mengalami kekosongan. Berbeda dengan sistem pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control* yang mampu memberi pewaktuan yang sesuai sehingga kondisi *traffic density* bernilai 0 lebih dipersingkat menjadi 3 detik dan sesegera mungkin pewaktuan lampu hijau diberikan untuk jalur selanjutnya. Optimasi pengurangan waktu tunggu di jalur dua dapat dihitung sebagai berikut:

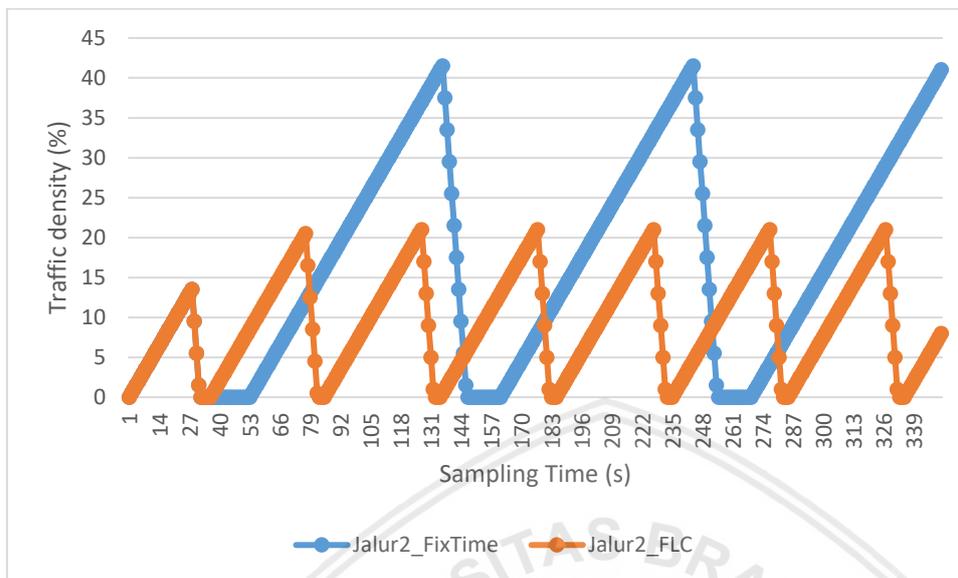
$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{\text{waktu tunggu fixed time} - \text{waktu tunggu FLC}}{\text{waktu tunggu fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{5-3}{5} \times 100\% = 40\%$$

3. Pembebanan *Light, Light, Medium, Medium*

Simulasi ke tiga dilakukan dengan memberi pembebanan ringan di jalur 1 dan 2, pembebanan *medium* di jalur 3 dan 4. Pembebanan ringan adalah *summing rate* 0,5% dan *flow rate* 4% sedangkan pembebanan *medium* adalah *summing rate* 1% dan *flow rate* 4%.

Simulasi dijalankan selama 351 detik dan didapatkan perbandingan siklus perpindahan pewaktuan yang dapat dilihat pada gambar 5.16



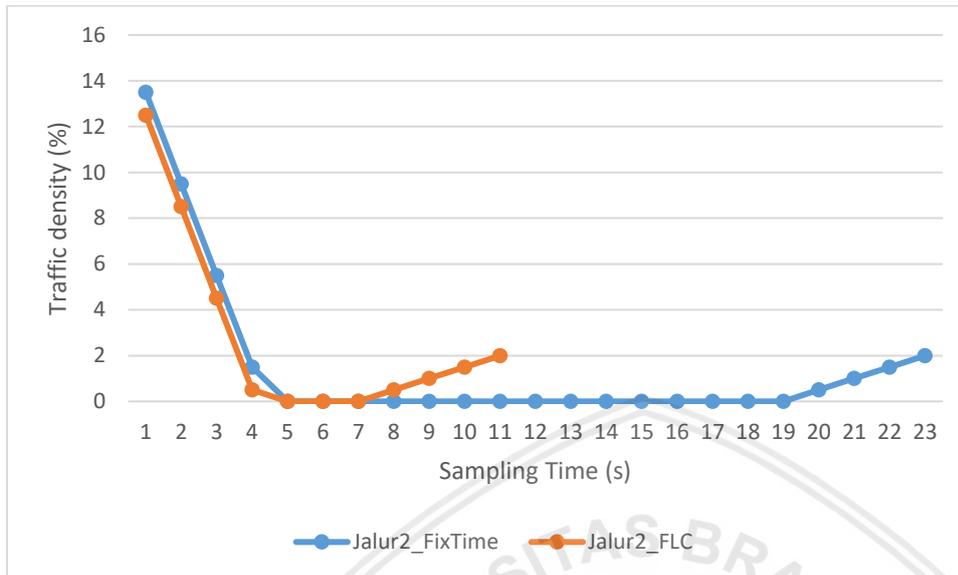
Gambar 5.16 *Traffic density Jalur 2 (Light, Light, Medium, Medium)*

Dari gambar 5.16 dapat kita lihat perbedaan jumlah siklus pewaktuan selama pengujian. *Traffic light* dengan sistem *fixed-time* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 2,5 kali sedangkan *traffic light* dengan sistem pewaktuan *fuzzy logic control* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 7 kali. Masih dari gambar 5.21 dapat kita analisis penurunan nilai *traffic density* yang mampu ditekan oleh sistem pewaktuan dengan *fuzzy logic control*. Penurunan nilai *traffic density* dapat dihitung sebagai berikut

$$\% \text{Penurunan nilai } \textit{Traffic density} = \frac{\text{max } \textit{traffic density} \textit{ fixed time} - \text{max } \textit{traffic density} \textit{ FLC}}{\text{max } \textit{traffic density} \textit{ fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan nilai } \textit{Traffic density} = \frac{41 - 21}{41} \times 100\% = 48,78\%$$

Analisis penurunan waktu tunggu perpindahan pewaktuan dapat dilihat pada gambar grafik 5.17



Gambar 5.17 Optimasi waktu tunggu jalur 2 (*Light, Light, Medium, Medium*)

Dari gambar 5.17 dapat disimpulkan ada pemborosan waktu 15 detik pada sistem pewaktuan *fixed-time*. pemborosan terjadi ketika *traffic density* di jalur tersebut telah mengalami kekosongan. Berbeda dengan sistem pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control* yang mampu memberi pewaktuan yang sesuai sehingga kondisi *traffic density* bernilai 0 lebih dipersingkat menjadi 3 detik dan sesegera mungkin pewaktuan lampu hijau diberikan untuk jalur selanjutnya. Optimasi pengurangan waktu tunggu di jalur dua dapat dihitung sebagai berikut:

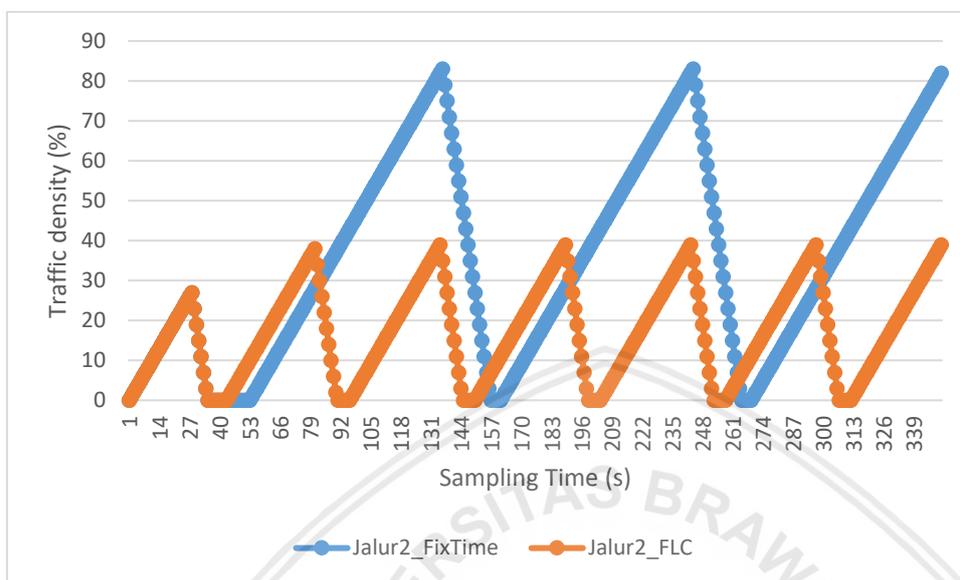
$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{\text{waktu tunggu fixed time} - \text{waktu tunggu FLC}}{\text{waktu tunggu fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{15 - 3}{15} \times 100\% = 80\%$$

4. Pembebanan *Light, Medium, Light, Medium*

Simulasi ke empat dilakukan dengan memberi pembebanan ringan di jalur 1 dan 3, pembebanan *medium* di jalur 2 dan 4. Pembebanan ringan adalah *summing rate* 0,5% dan *flow rate* 4% sedangkan pembebana *medium* adalah *summing rate* 1% dan *flow rate* 4%.

Simulasi dijalankan selama 351 detik dan didapatkan perbandingan siklus perpindahan pewaktuan yang dapat dilihat pada gambar 5.24



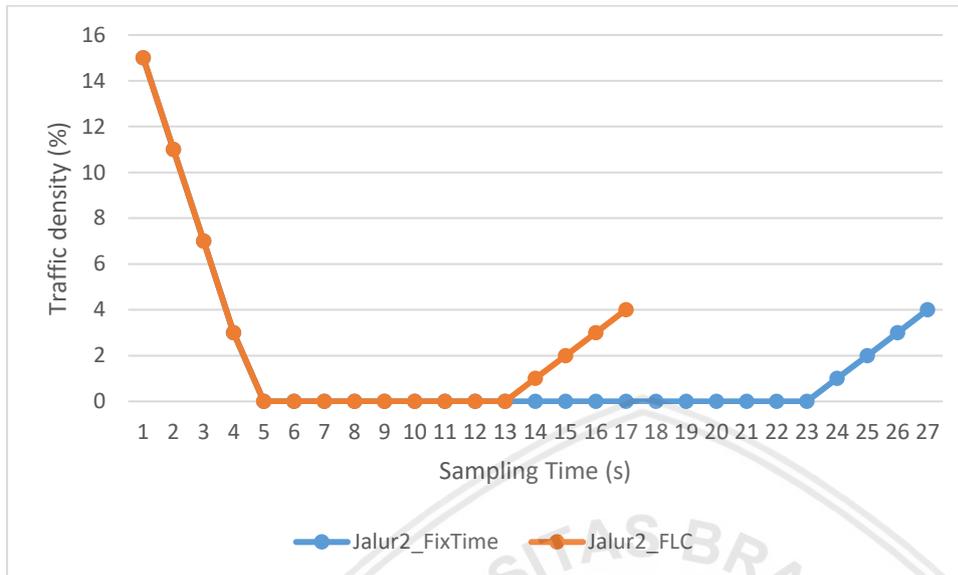
Gambar 5.18 *Traffic density* Jalur 2 (*Light, Medium, Light, Medium*)

Dari gambar 5.18 dapat kita lihat perbedaan jumlah siklus pewaktuan selama pengujian. *Traffic light* dengan sistem *fixed-time* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 2,5 kali sedangkan *traffic light* dengan sistem pewaktuan *fuzzy logic control* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 6,5 kali. Masih dari gambar 5.24 dapat kita analisis penurunan nilai *traffic density* yang mampu ditekan oleh sistem pewaktuan dengan *fuzzy logic control*. Penurunan nilai *traffic density* dapat dihitung sebagai berikut

$$\% \text{Penurunan nilai } \textit{Traffic density} = \frac{\text{max } \textit{traffic density} \textit{ fixed time} - \text{max } \textit{traffic density} \textit{ FLC}}{\text{max } \textit{traffic density} \textit{ fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan nilai } \textit{Traffic density} = \frac{83 - 39}{83} \times 100\% = 53\%$$

Analisis penurunan waktu tunggu perpindahan pewaktuan dapat dilihat pada gambar grafik 5.19



Gambar 5.19 Optimasi waktu tunggu jalur 2 (*Light, Medium, Light, Medium*)

Dari gambar 5.19 dapat disimpulkan ada pemborosan waktu 15 detik pada sistem pewaktuan *fixed-time*. pemborosan terjadi ketika *traffic density* di jalur tersebut telah mengalami kekosongan. Berbeda dengan sistem pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control* yang mampu memberi pewaktuan yang sesuai sehingga kondisi *traffic density* bernilai 0 lebih dipersingkat menjadi 9 detik dan sesegera mungkin pewaktuan lampu hijau diberikan untuk jalur selanjutnya. Optimasi pengurangan waktu tunggu di jalur dua dapat dihitung sebagai berikut:

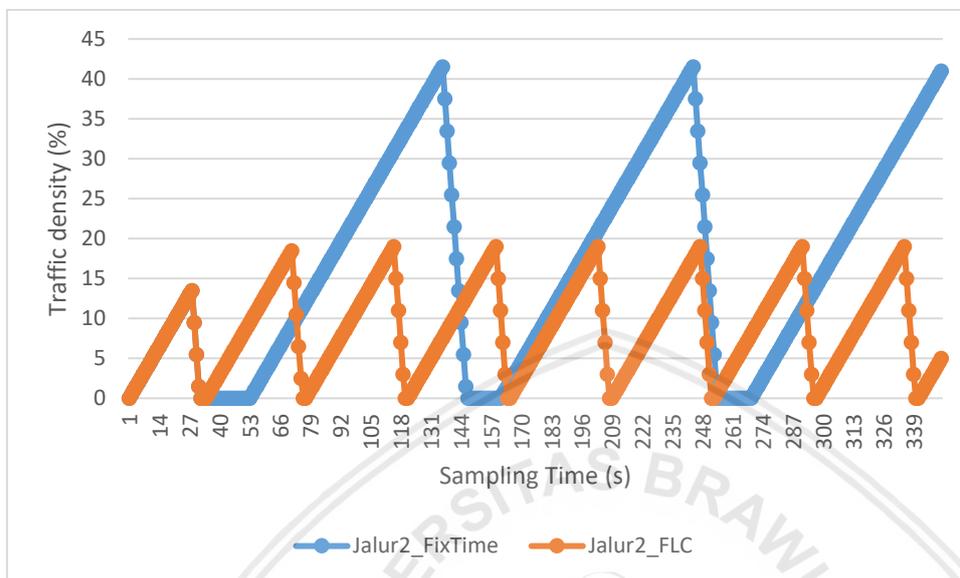
$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{\text{waktu tunggu fixed time} - \text{waktu tunggu FLC}}{\text{waktu tunggu fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{19 - 9}{19} \times 100\% = 52,63\%$$

5. Pembebanan *Light, Light, Light, Medium*

Simulasi ke 5 dilakukan dengan memberi pembebanan *medium* di jalur 4 dan, pembebanan ringan di jalur 1, 2 dan 3. Pembebanan ringan adalah *summing rate* 0,5% dan *flow rate* 4% sedangkan pembebanan *medium* adalah *summing rate* 1% dan *flow rate* 4%.

Simulasi dijalankan selama 351 detik dan didapatkan perbandingan siklus perpindahan pewaktuan yang dapat dilihat pada gambar 5.20



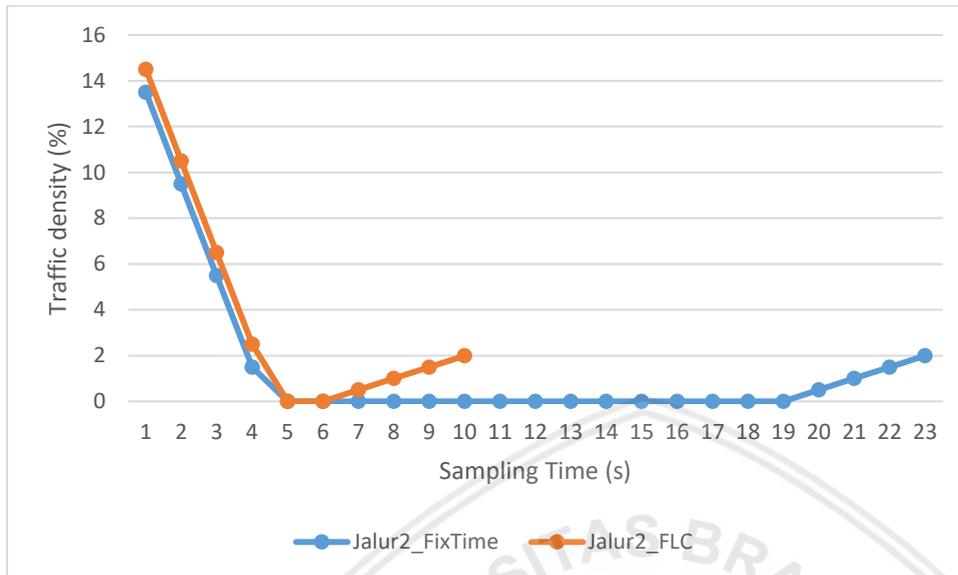
Gambar 5.20 Traffic density Jalur 2 (Light, Light, Light, Medium)

Dari gambar 5.20 dapat kita lihat perbedaan jumlah siklus pewaktuan selama pengujian. *Traffic light* dengan sistem *fixed-time* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 2,5 kali sedangkan *traffic light* dengan sistem pewaktuan *fuzzy logic control* mengalami siklus pewaktuan sebanyak 8 kali. Masih dari gambar 5.20 dapat kita analisis penurunan nilai *traffic density* yang mampu ditekan oleh sistem pewaktuan dengan *fuzzy logic control*. Penurunan nilai *traffic density* dapat dihitung sebagai berikut

$$\% \text{Penurunan nilai Traffic density} = \frac{\max \text{ traffic density fixed time} - \max \text{ traffic density FLC}}{\max \text{ traffic density fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan nilai Traffic density} = \frac{41 - 19}{41} \times 100\% = 53,65\%$$

Analisis penurunan waktu tunggu perpindahan pewaktuan dapat dilihat pada gambar grafik 5.21



Gambar 5.21 Optimasi waktu tunggu jalur 2 (*Light, Light, Light, Medium*)

Dari gambar 5.21 dapat disimpulkan ada pemborosan waktu 15 detik pada sistem pewaktuan *fixed-time*. pemborosan terjadi ketika *traffic density* di jalur tersebut telah mengalami kekosongan. Berbeda dengan sistem pewaktuan menggunakan *fuzzy logic control* yang mampu memberi pewaktuan yang sesuai sehingga kondisi *traffic density* bernilai 0 lebih dipersingkat menjadi 2 detik dan sesegera mungkin pewaktuan lampu hijau diberikan untuk jalur selanjutnya. Optimasi pengurangan waktu tunggu di jalur dua dapat dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{\text{waktu tunggu fixed time} - \text{waktu tunggu FLC}}{\text{waktu tunggu fix time}} \times 100\%$$

$$\% \text{Penurunan waktu tunggu} = \frac{15 - 2}{15} \times 100\% = \mathbf{86,66\%}$$

6. Hasil perbandingan sistem pewaktuan *fixed-time* dan *fuzzy logic control* pada traffic light 4 jalur

Hasil perbandingan sistem pewaktuan *fixed-time* dan *fuzzy logic control* pada traffic light 4 jalur dilihat dari 3 variabel, antara lain siklus perpindahan pewaktuan, jeda waktu tunggu dan maksimum *traffic density*. hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 5.2

Tabel 5.2 *fixed-time* vs *fuzzy logic control* pada *traffic light* 4 jalur

Skenario	Durasi (detik)	Variabel Pemanding	Metode		Keterangan
			fixed-time	FLC	
MMMM	351	Jumlah Siklus	2,5	5	siklus
		waktu tunggu	5	2	detik
		max density	83	47	%
LMMM	351	Jumlah Siklus	2,5	6	siklus
		waktu tunggu	5	3	detik
		max density	83	44	%
LLMM	351	Jumlah Siklus	2,5	7	siklus
		waktu tunggu	15	3	detik
		max density	41	21	%
LMLM	351	Jumlah Siklus	2,5	6,5	siklus
		waktu tunggu	19	8	detik
		max density	83	39	%
LLLM	351	Jumlah Siklus	2,5	8	siklus
		waktu tunggu	15	2	detik
		max density	41	19	%
L=Light	M=Medium				



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Analisa dan pembahasan yang dilakukan di bab-bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan.

1. Pengambilan data kepadatan kendaraan terhadap jalan (*density*) menggunakan metode *background subtraction* telah mampu mendeteksi obyek kendaraan dan mengukur seberapa luasan area kepadatan terhadap jalan. Tidak dipungkiri adanya kelemahan metode *background subtraction* ketika obyek yang ingin di deteksi memiliki nilai *RGB* yang hampir sama dengan *frame background* sebagai *subtractor* nya
2. Metode pewaktuan lampu hijau dengan metode *fuzzy logic control* telah mampu meurunkan jeda waktu tunggu di setiap jalur. berkurangnya jeda waktu tunggu secara drastis juga mengurangi nilai *density* di setiap jalur. disamping itu berkurangnya jeda waktu tunggu juga mempercepat siklus perpindahan pewaktuang di setiap jalur.

6.2 Saran

Demi mendukung penelitian yang berkelanjutan, maka dikemukakan beberapa saran sebagai bahan acuan penelitian yang lebih lanjut sebagai berikut:

1. Kelemahan metode *background subtraction* dalam mendeteksi obyek adalah ketika *RGB* dari obyek yang akan dideteksi memiliki kesamaan dengan *RGB* dari frame latar. Banyaknya jumlah nilai *RGB* yang sama menjadikan luasan obyek yang dideteksi tidak maksimal sehingga ekstraksi nilai *density* juga tidak maksimal. Untuk itu diperlukan metode *image processing* yang mampu mendeteksi luasan obyek secara keseluruhan sehingga ekstraksi nilai *density* bisa maksimal.
2. Dalam penelitian ini metode pewaktuan lampu hijau mengambil referensi beban dari dua jalur, yaitu jalur n dan $n+1$. sebagai bahan perbandingan untuk penelitian yang lenih lanjut, kami menyarankan untuk mencoba mengambil referensi lebih dari 2 jalur atau referensi dari keseluruhan jalur yang ada di *traffic light*

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, A. Wahab, Yaakop, M., Salam, A. A., & Zaharudin, Z. 2014. Adaptive Fuzzy Logic Traffic Light Management System, International Conference on Engineering Technology and Technopreneuship (ICE2T)
- Ahmad, U. 2005. Pengolahan Citra Digital. Graha Ilmu, Yogyakarta
- Alex, D.S, Wahi, A. 2014. BSFD: background subtraction frame difference algorithm for moving object detection and extraction. Journal of Theoretical and Applied Information Technology
- Annadurai, S. Shanmugalakshmi, R. 2007. Fundamentals of Digital Image Processing. Pearson, India
- Bradski, G. and Kaehler, A. 2008. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media, Inc., Sebastopol.
- <https://getrevising.co.uk/diagrams/traffic-management-in-urban-areas>
- Kulkarni, G.H. & Waingankar, P.G. 2007. Fuzzy Logic Based Traffic Light Controller, Second International Conference on Industrial and Information Systems
- Mehan, S. 2011. Introduction of Trafic Light Controller with Fuzzy Control System, IJECT
- Parthasarathi, V., Surya, M., Akshay, B., Murali, K., Siva & Vasudevan, S. K. 2015. Smart Control of Trafic Signal System using Image Processing, Indian Journal of Science and Technology
- Piccardi, M. 2004. Background Subtraction Techniques: A Review. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, The Hague, Netherlands,
- Saepullah, A., Wahono R.S. 2015. Comparative Analysis of Mamdani, Sugeno And Tsukamoto Method of Fuzzy Inference System for Air Conditioner Energy Saving. Journal of Intelligent Systems
- Schrank, D., Eisele, B., & Lomax, T. 2015. urban mobility report: Powered by inrix traffic data. Technical report

- Soh, A. C., Rhung, L. G. & Sarkan, H. M. 2010. MATLAB Simulation of fuzzy traffic controller for multilane isolated intersection. *Int J Comput Sci Eng (IJCSE)*.
- Solichin, A. Harjoko, A. 2013. Metode Background Subtraction untuk Deteksi Obyek Pejalan Kaki pada Lingkungan Statis, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) 2013
- Tahmid, T. Hossain, E. 2017. Density Based Smart Traffic Control System Using Canny Edge Detection Algorithm for Congregating Traffic Information. *International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT) 2017*. Khulna, Bangladesh
- Undang – Undang No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Departemen Perhubungan
- UU no. 22/2009 tentang Lalu lintas dan Angkutan Jalan.
- Yulianto, B. 2003. Application of fuzzy logic to traffic signal control under mixed traffic conditions, Transport Operations Research Group, University of Newcastle upon Tyne

