



**PENERAPAN LOGIKA *FUZZY* MAMDANI DAN
MANUAL KAPASITAS JALAN INDONESIA
PADA PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS**

SKRIPSI

Oleh

**Lulus Novita Sari
NIM. 081810101030**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**PENERAPAN LOGIKA *FUZZY* MAMDANI DAN
MANUAL KAPASITAS JALAN INDONESIA
PADA PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Lulus Novita Sari
NIM. 081810101030**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

Teruntuk orang-orang yang saya sayangi, yang telah banyak berjasa dalam membimbing dan mengarahkan ke jalan yang benar dalam menjalani kehidupan di dunia ini. Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. kedua orang tua tercinta, Bapak Suyono dan Ibu Jumilah yang telah melahirkan dan membesarkan saya dengan kesabaran, kasih sayang, perhatian yang tak pernah pudar, serta mendoakan yang tiada henti-hentinya;
2. Adikku Bangkit Sanjaya dan semua keluarga besarku yang senantiasa memberiku nasihat dalam setiap langkahku;
3. guru-guru saya sejak SD sampai Perguruan Tinggi yang telah memberikan ilmu dan membimbing saya dengan penuh kesabaran;
4. Almamater Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Lulus Novita Sari

NIM : 081810101030

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "Penerapan Logika *Fuzzy* Mamdani dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Februari 2013

Yang menyatakan,

Lulus Novita Sari
NIM 081810101030

MOTTO

“Sungguh bersama kesukaran pasti ada kemudahan.
Karena itu bila selesai tugas, mulailah dengan yang lain
Dengan sungguh - sungguh.
Hanya kepada Tuhanmu hendaknya kau berharap”
(*Q.S Al Insyirah : 5-8**)

“Saya berusaha, saya berdo’a, saya bimbingan,
saya revisi, saya ujian, dan saya wisuda”
(*Lulus Novita Sari*)

*) Alqur’an dan terjemahan (*Q.S Al Insyirah : 5-8*)

SKRIPSI

PENERAPAN LOGIKA *FUZZY* MAMDANI DAN MANUAL KAPASITAS JALAN INDONESIA PADA PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS

Oleh

Lulus Novita Sari
NIM 081810101030

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ahmad Kamsyakawuni, S.Si, M.Kom.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul ” Logika *Fuzzy* Mamdani dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Ahmad Kamsyakawuni, S.Si, M.Kom
NIP. 197211291998021001
Penguji I,

Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.,
NIP.196610121993031001
Penguji II,

Kosala Dwidja Purnomo, S.Si., M.Si
NIP. 196908281998021001

Yuliani Setia Dewi S.Si., MSi.
NIP. 197407162000032001

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph.D.
NIP 196101081986021001

RINGKASAN

Penerapan Logika *Fuzzy* Mamdani dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas; Lulus Novita Sari, 081810101030; 2013: 66 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) adalah suatu metode yang dirancang untuk memudahkan dalam menyelesaikan permasalahan yang terkait dengan kapasitas jalan Indonesia, termasuk untuk masalah persimpangan bersinyal. Logika *fuzzy* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah. Dalam teori logika *fuzzy* suatu nilai biasa bernilai benar atau salah secara bersama. Namun berapa besar keberadaan dan kesalahan suatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan logika *fuzzy* dan MKJI untuk mengetahui jumlah tundaan yang terjadi sebagai acuan kelayakan suatu persimpangan (study kasus *traffic light* di perempatan Mangli kota Jember).

Penelitian dilakukan dalam tiga tahap. Pertama, pengumpulan data lapang *traffic light* di perempatan Mangli Jember. Kedua, pengolahan data menggunakan teori logika *fuzzy* dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI). Ketiga, membandingkan besarnya tundaan yang dihasilkan logika *fuzzy* dengan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Berdasarkan hasil perbandingan dapat diketahui bahwa kinerja yang dihasilkan dengan menggunakan teori logika *fuzzy* lebih kecil tundaannya dibandingkan dengan tundaan yang dihasilkan metode MKJI.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penerapan Logika *Fuzzy* Mamdani dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia pada Pengaturan Lampu Lalu Lintas”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ahmad Kamsyakawuni, S.Si, M.Kom selaku Dosen Pembimbing Utama dan Drs. Rusli Hidayat, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang tidak pernah mengenal kata lelah dalam mendampingi penulis dan selalu meberikan masukan dan saran guna kesempurnaan skripsi ini serta telah meluangkan waktu, tenaga dan pemikirannya sehingga skripsi ini dapat penulis selesaikan;
2. Kosala Dwidja Purnomo, S.Si., M.Si., dan Yuliani Setia Dewi S.Si., MSi., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik saran demi kesempurnaan skripsi ini;
3. teman-teman mahasiswa Jurusan Matematika, khususnya angkatan 2008 terimakasih untuk kebersamaan serta perjuangannya kita selama kuliah.
4. temen-teman satu kost Fitriyah, Titik, Yuvi, Vira dan Nila yang telah memberi semangat kepada penulis;
5. Azhimi Akbar yang telah memberi motivasi dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tanpa ada rasa putus asa;
6. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Februari 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
HALAMAN RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pengertian Lampu Lalu lintas	4
2.2 Istilah Kondisi dan Karakteristik Lalu lintas	5
2.3 Parameter Pengaturan Sinyal	7
2.4 Simpang Bersinyal	7
2.5 Manual Kapasitas Jalan Indonesia	8
2.6 Logika <i>Fuzzy</i>	14

2.6.1 Pengertian Logika <i>Fuzzy</i>	14
2.6.2 Perkembangan Logika <i>Fuzzy</i>	14
2.6.3 Inferensi <i>Fuzzy</i>	15
2.6.4 Fungsi Keanggotaan.....	16
2.6.5 Istilah Pengaturan Lalu Lintas pada Logika <i>Fuzzy</i>	19
2.6.6 <i>Matlab Toolbox</i> untuk Perhitungan Logika <i>Fuzzy</i>	21
BAB 3 METODE PENELITIAN	24
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	24
3.2 Langkah–langkah Penelitian	25
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Data Geometri Simpang	26
4.2 Data Lalu Lintas	27
4.3 Data <i>Traffic Light</i> Tiap Simpang	30
4.4 Pengolahan Data Menggunakan Metode Manual	
Kapasitas Jalan Indonesia 1997	30
4.5 Pengolahan Data dengan Logika <i>Fuzzy</i>	34
4.5.1 Perhitungan Derajat Keanggotaan.....	42
4.5.2 Perhitungan Durasi Lama Nyala Lampu Hijau dengan	
Logika <i>Fuzzy</i>	58
4.5.3 Perhitungan Kinerja Lengan Simpang Berdasarkan Nilai	
Waktu Hijau yang Diperoleh dari Perhitungan <i>Fuzzy</i>	62
4.6 Perbandingan kinerja Simpang Berdasarkan Perbedaan Perolehan	
Waktu <i>Traffic Light</i> Antara Logika <i>Fuzzy</i> dan MKJI 1997	64
BAB 5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	67

DAFTAR TABEL

2.1	Nilai Konversi Satuan Mobil Penumpang pada Simpang	8
4.1	Kondisi geometri simpang pada perempatan Mangli Jember	26
4.2	Jumlah kendaraan maksimum simpang perempatan Mangli Jember.....	27
4.3	Arus lalu lintas simpang perempatan Mangli Jember (kend/jam)	27
4.4	Arus lalu lintas simpang perempatan Mangli Jember (smp/jam)	28
4.5	Data <i>traffic light</i> simpang perempatan Mangli	29
4.6	Hasil perhitungan tiap lengan simpang perempatan Mangli.....	32
4.7	Himpunan <i>Fuzzy</i> masing-masing variabel	37
4.8	<i>Fuzzy Associate Memory</i> (FAM) untuk kepadatan lalu lintas	38
4.9	Nilai keanggotaan dari JKD atau JKS sesuai fungsi keanggotaannya.....	43
4.10	α -predikat dari tiap kaidah	47
4.11	Pernandingan perhitungan manual dan perhitungan pemodelan	62
4.12	Nilai waktu hijau dengan metode <i>fuzzy</i>	62
4.13	Perhitungan Kapasitas, Derajat Kejenuhan dan Jumlah Antrian	63
4.14	Perhitungan Panjang Antrian dan Tundaan.....	63
4.15	Perbandingan kinerja simpang Metode <i>Fuzzy</i> dan MKJI	64

DAFTAR GAMBAR

2.1	Formulir MKJI untuk perhitungan simpang	7
2.2	Representasi linear naik	16
2.3	Representasi linear turun.....	17
2.4	Representasi kurva segitiga.....	17
2.5	Beberapa metode memperoleh nilai tegas	21
4.1	Simpang perempatan Mangli Jember.....	27
4.2	Sistem <i>Inferensi Fuzzy</i> (FIS) Editor.....	34
4.3	Fungsi keanggotaan jumlah kendaraan jalur yang diatur.....	36
4.4	Fungsi keanggotaan jumlah kendaraan jalur yang diatur.....	37
4.5	Fungsi keanggotaan durasi nyala lampu hijau	38
4.6	<i>Rule Editor</i> Aturan <i>Fuzzy</i>	41
4.7	Hasil komposisi aturan jalur I dan II.....	49
4.8	Hasil komposisi aturan jalur II dan III.....	51
4.9	Hasil komposisi aturan jalur III dan IV	53
4.10	Hasil komposisi aturan jalur IV dan I.....	56
4.11	Hasil implementasi <i>view rules</i> 1	58
4.12	Hasil implementasi <i>view rules</i> 2	59
4.13	Hasil implementasi <i>view rules</i> 3	60
4.14	Hasil implementasi <i>view rules</i> 4	61

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemacetan lalu lintas telah banyak dijumpai di berbagai kota di Indonesia, salah satu contohnya adalah kota Jember. Pertumbuhan kota Jember ditandai dengan perubahan status kota. Jember yang semula hanya berstatus sebagai salah satu distrik dari afdeling Bondowoso, namun sejak tahun 1883 menjadi afdeling tersendiri. Salah satu faktor perubahan kota Jember ialah semakin padatnya jumlah penduduk. Data Badan Pusat Statistik (BPS) Jember mencatat pertumbuhan penduduk di Kabupaten Jember, Jawa Timur, mengalami lonjakan hingga 200.000 jiwa dalam sebelas tahun terakhir dari sebelumnya 2,1 juta jiwa pada tahun 2000 menjadi 2,3 juta jiwa pada tahun 2011. Perkembangan kota Jember juga ditandai dengan adanya rencana Jember dipecah menjadi dua, yaitu Kabupaten dan Kotamadya (Badan Pusat Statistika Kabupaten Jember, 2012).

Jumlah penduduk yang semakin besar di Jember mengakibatkan pula semakin banyaknya pengguna alat transportasi. Pertumbuhan sarana transportasi jauh lebih cepat melebihi pertumbuhan prasarana jalan, sehingga Jember mulai mengalami kemacetan lalu lintas. Melihat pentingnya peranan lampu lalu lintas dalam pengaturan kelancaran lalu lintas, maka diperlukan suatu rekayasa sistem untuk pengendalian lampu lalu lintas

Pengembangan kendali lampu lalu lintas dapat dilakukan dengan memanfaatkan teori logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* adalah pengembangan dari teori himpunan *fuzzy* yang diprakarsai oleh Prof. Lofti Zadeh dari University of California tahun 1965. Logika *fuzzy* hampir mirip dengan penalaran manusia dengan menggunakan konsep kesamaran. Berbeda dengan logika digital biasa dimana logika digital biasa hanya mengenal dua keadaan yaitu: ya dan tidak atau on dan off atau high dan low atau "1" dan "0".

Dalam buku Analisis Desain Sistem *Fuzzy* (Kusumadewi, Sri, 2002) menyebutkan macam-macam masalah yang dapat diselesaikan dengan logika *fuzzy*. Salah satunya adalah pengaturan kelancaran lampu lalu lintas. Suatu metode manual yang dirancang untuk memudahkan menyelesaikan permasalahan terkait kapasitas simpang adalah Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) dengan menggunakan formulir Sistem Informasi Geografis (SIG).

Penelitian sejenis pernah dilakukan oleh Alex Permana pada tahun 2008 di Bandung. Hasil yang diperoleh adalah kinerja yang dihasilkan waktu sinyal metode logika *fuzzy* lebih baik dibandingkan dengan MKJI. Pada tugas akhir ini penulis mencoba membahas pengaturan lampu lalu lintas dengan metode logika *fuzzy* (study kasus *traffic light* di perempatan Mangli kota Jember). Yang hasilnya nanti akan dibandingkan dengan perhitungan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Manual Kapasitas Jalan Indonesia ini dapat diterapkan sebagai sarana dalam perencanaan dan analisa operasional fasilitas lalu lintas.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. bagaimana penerapan logika *fuzzy* dalam pengaturan lampu lalu lintas di perempatan Mangli kota Jember?
- b. bagaimana memanfaatkan *Fuzzy Logic Toolbox* Matlab 7.0 dengan tepat untuk kinerja sistem pengaturan lampu lalu lintas berbasis logika *fuzzy*?
- c. bagaimana hasil tundaan yang diperoleh logika *fuzzy* dengan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah simpang yang diteliti hanya pada perempatan Mangli Jember yang memiliki karakteristik simpang empat bersinyal dengan menggunakan waktu yang tetap.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan logika *fuzzy* dan MKJI untuk mengetahui jumlah tundaan yang terjadi sebagai acuan kelayakan suatu persimpangan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini diharapkan mampu memberi masukan kepada pihak-pihak pengelola mengenai pengembang teknik pengaturan simpang bersinyal dan dapat diterapkan dilapangan sehingga diperoleh sistem pengaturan waktu *traffic light* yang lebih efektif.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Lampu Lalu lintas

Satu metode yang paling penting dan efektif untuk mengatur lalu lintas di persimpangan adalah dengan menggunakan lampu lalu lintas. Menurut Khisty (2003), lampu lalu lintas adalah sebuah alat elektrik (dengan sistem pengatur waktu) yang memberikan hak jalan pada satu arus lalu lintas atau lebih sehingga aliran lalu lintas ini bisa melewati persimpangan dengan aman dan efisien.

Oglesby (1999) menyebutkan bahwa setiap pemasangan lampu lalu lintas bertujuan untuk memenuhi satu atau lebih fungsi-fungsi yang tersebut di bawah ini:

- a. mendapatkan gerakan lalu lintas yang teratur,
- b. meningkatkan kapasitas lalu lintas pada perempatan jalan,
- c. mengurangi frekuensi jenis kecelakaan tertentu,
- d. mengkoordinasikan lalu lintas di bawah kondisi jarak sinyal yang cukup baik, sehingga aliran lalu lintas tetap berjalan menerus pada kecepatan tertentu,
- e. memutuskan arus lalu lintas tinggi agar memungkinkan adanya penyebrangan kendaraan lain atau pejalan kaki,
- f. mengatur penggunaan jalur lalu lintas.

Oglesby (1999) menyebutkan bahwa terdapat hal-hal yang kurang menguntungkan dari lampu lalu lintas, antara lain adalah:

- a. kehilangan waktu yang berlebihan pada pengemudi atau pejalan kaki,
- b. pelanggaran terhadap indikasi sinyal umumnya sama seperti pada pemasangan khusus,
- c. pengalihan lalu lintas pada rute yang kurang menguntungkan.

2.2 Istilah Kondisi dan Karakteristik Lalu lintas

Berikut ini adalah beberapa istilah yang dipakai dalam menentukan kondisi dan karakteristik lalu lintas:

- a. ekivalen mobil penumpang (*emp*) adalah variabel berbagai tipe kendaraan sehubungan dengan keperluan waktu hijau untuk keluar dari antrian apabila dibandingkan dengan sebuah kendaraan ringan (untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan yang sasisnya sama, $emp=1,0$),
- b. satuan mobil penumpang (*smp*) adalah satuan arus lalu-lintas dari berbagai tipe kendaraan kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan faktor *emp*,
- c. pendekat adalah daerah dari suatu lengan persimpangan jalan untuk kendaraan mengantri sebelum keluar melewati garis henti. (bila gerakan lalu-lintas kekiri atau kekanan dipisahkan dengan pulau lalu-lintas, sebuah lengan persimpangan jalan dapat mempunyai dua pendekat).
- d. arus lalu lintas atau *quantity* (*Q*) adalah jumlah unsur lalu-lintas yang melalui titik tak terganggu di hulu, pendekat per satuan waktu,
- e. arus jenuh atau *saturation* (*S*) adalah besarnya keberangkatan antrian didalam suatu pendekat selama kondisi yang ditentukan (*smp/jam hijau*),
- f. derajat kejenuhan atau *degree of saturation* (*DS*) adalah rasio dari arus lalu-lintas terhadap kapasitas untuk suatu pendekat,
- g. rasio arus atau *flow ratio* (*FR*) adalah rasio arus terhadap arus jenuh dari suatu pendekat,
- h. rasio arus simpang atau *intersection flow ratio* (*IFR*) adalah jumlah dari rasio arus kritis tertinggi untuk semua fase sinyal yang berurutan dalam suatu siklus,
- i. kapasitas atau *capacity* (*C*) adalah arus lalu-lintas maksimum yang dapat dipertahankan,

- j. tundaan atau *delay* (D) adalah waktu tempuh tambahan yang diperlukan untuk melalui simpang apabila dibandingkan lintasan tanpa melalui suatu simpang. Tundaan terdiri dari tundaan lalu lintas atau *delay traffic* (DT) dan tundaan geometri *delay geometric* (DG). DT adalah waktu menunggu yang disebabkan interaksi lalu-lintas dengan gerakan lalu-lintas yang bertentangan. DG adalah disebabkan oleh perlambatan dan percepatan kendaraan yang membelok disimpangan atau yang terhenti oleh lampu merah,
- k. panjang antrian atau *queue length* (QL) adalah panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat (m),
- l. antrian atau *number queue* (NQ) adalah jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat (kend; smp),
- m. angka henti atau *number stopping* (NS) adalah jumlah rata-rata berhenti per kendaraan (termasuk berhenti berulang-ulang dalam antrian),
- n. kendaraan Ringan adalah Kendaraan bermotor ber as dua dengan 4 roda dan dengan jarak as 2,0-3,0 m (meliputi: mobil penumpang, oplet, mikrobis, pick-up dan truk kecil sesuai sistim klasifikasi Bina Marga),
- o. kendaraan Berat adalah Kendaraan bermotor dengan lebih dari 4 roda (meliputi bis, truk 2 as, truk 3 as dan truk kombinasi sesuai sistim klasifikasi Bina Marga). Catatan: Lihat Bab 2-5 dan 6-7 untuk definisi khusus dari tipe kendaraan lainnya yang digunakan pada metode perhitungan jalan perkotaan dan luar kota,
- p. sepeda Motor adalah Kendaraan bermotor dengan 2 atau 3 roda (meliputi sepeda motor dan kendaraan roda 3 sesuai sistim klasifikasi Bina Marga).

2.3 Parameter Pengaturan Sinyal

Beberapa parameter yang dipakai dalam pengaturan sinyal yaitu:

- a. fase adalah bagian dari siklus sinyal dengan lampu hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas,
- b. waktu siklus atau *cycle* (c) adalah waktu untuk urutan lengkap dari indikasi sinyal (det),
- c. waktu hijau atau *green* (g) adalah fase untuk kendali lalu-lintas aktuasi kendaraan (det.),
- d. waktu hilang atau *lost time* (LTI) adalah jumlah semua periode antar hijau dalam siklus yang lengkap (det). Waktu hilang dapat juga diperoleh dari beda antara waktu siklus dengan jumlah waktu hijau dalam semua fase yang berurutan.

2.4 Simpang Bersinyal

Simpang bersinyal adalah suatu persimpangan yang terdiri dari beberapa lengan dan dilengkapi dengan pengaturan sinyal lampu lalu lintas (*traffic light*). Berdasarkan MKJI 1997, tujuan penggunaan sinyal lampu lalu lintas (*traffic light*) pada persimpangan antara lain:

- a. menghindari kemacetan simpang akibat adanya konflik arus lalu lintas kendaraan dari masing-masing lengan,
- b. memberi kesempatan kepada kendaraan dan pejalan kaki yang berasal dari jalan kecil untuk memotong ke jalan utama,
- c. untuk mengurangi jumlah kecelakaan lalu lintas akibat tabrakan antara kendaraan-kendaraan dari arah yang bertentangan.

2.5 Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)

Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) adalah suatu metode yang dirancang untuk memudahkan dalam menyelesaikan permasalahan yang terkait dengan kapasitas jalan Indonesia, termasuk untuk masalah persimpangan bersinyal. Sistem perhitungannya persimpangan yang disediakan berupa formulir isian SIG I sampai dengan SIG V.

SIG (sistem informasi geografis) adalah sistem manual dan atau komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengelola, dan menghasilkan informasi baru yang mempunyai rujukan spasial atau geografis. SIG muncul sebagai jawaban atas sejumlah keterbatasan yang dihasilkan dengan teknik manual.



Gambar 2.1 Formulir MKJI untuk perhitungan simpang

Adapun isi dari tiap-tiap SIG sebagai berikut (seperti terlihat pada gambar 2.1)

- a. SIG I, menetapkan jenis fase dan penentuan geometri jalan dengan W_{masuk} dan W_{keluar} ,
- b. SIG II, menghitung data arus lalu lintas,
- c. SIG III, untuk mendapatkan waktu merah dan waktu hilang tiap fase,
- d. SIG IV, dari hasil data-data pada SIG sebelumnya, kita memperoleh nilai kapasitas (C), waktu hijau (g), dan derajat kejenuhan (DS),
- e. SIG V, mengetahui besarnya antrian, *number of stop*, dan tundaan,

Teori simpang bersinyal didasarkan pada prinsip-prinsip utama sebagai berikut:

- a. Geometri

Perhitungan dikerjakan secara terpisah untuk setiap pendekatan. Satu lengan simpang dapat terdiri lebih dari satu pendekatan, yaitu dipisahkan menjadi dua atau lebih sub-pendekatan. Hal ini terjadi jika arus belok kanan dan belok kiri mendapat sinyal waktu hijau yang berbeda fase dengan arus lurus, atau jika dipisahkan secara fisik oleh lalu lintas dalam pendekatan.

b. Arus lalu-lintas

Perhitungan dilakukan per satuan jam untuk satu atau lebih periode, misalnya didasarkan pada kondisi arus lalu-lintas rencana jam puncak pagi, siang dan sore. Arus lalu-lintas (Q) untuk setiap gerakan (belok-kiri Q_{LT} , lurus Q_{ST} dan belok-kanan Q_{RT}) dikonversi dari kendaraan per-jam menjadi satuan mobil penumpang (smp) per-jam dengan menggunakan ekivalen mobil penumpang (emp) untuk masing-masing pendekat terlindung dan terlawan:

Tabel 2.1 Nilai Konversi Satuan Mobil Penumpang pada Simpang

Jenis Kendaraan	Nilai emp untuk tipe pendekat	
	Terlindung	Terlawan
Kendaraan Ringan (LV)	1,0	1,0
Kendaraan Berat (HV)	1,3	1,3
Sepeda Motor (MC)	0,2	0,4

Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

c. Kapasitas

Kapasitas pendekat simpang bersinyal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C = S \times \frac{g}{c} \quad (2.1)$$

dengan:

C = kapasitas (smp/jam).

S = arus Jenuh, yaitu arus berangkat rata-rata dari antrian dalam pendekat selama sinyal hijau (smp/jam hijau = smp per-jam hijau).

g = waktu hijau (det).

c = waktu siklus, yaitu selang waktu untuk urutan perubahan sinyal yang lengkap (yaitu antara dua awal hijau yang berurutan pada fase yang sama).

Oleh karena itu perlu diketahui atau ditentukan waktu sinyal dari simpang agar dapat menghitung kapasitas dan ukuran perilaku lalu-lintas lainnya.

d. Penentuan waktu sinyal.

Penentuan waktu sinyal untuk keadaan dengan kendali waktu tetap dilakukan berdasarkan metode Webster (1966) untuk meminimumkan tundaan total pada suatu simpang. Pertama-tama ditentukan waktu siklus (c), selanjutnya waktu hijau (g_i) pada masing-masing fase (i).

1) Waktu siklus

$$C = \frac{(1,5 \times LTI + 5)}{1 - \sum FR_{crit}} \quad (2.2a)$$

dengan:

C = waktu siklus sinyal (detik).

LTI = jumlah waktu hilang per siklus (detik).

FR = arus dibagi dengan arus jenuh ($\frac{Q}{S}$).

FR_{crit} = nilai FR tertinggi dari semua pendekatan yang berangkat pada suatu fase sinyal.

$\sum(FR_{crit})$ = rasio arus simpang (jumlah FR_{crit} dari semua fase pada siklus tersebut).

Jika waktu siklus tersebut lebih kecil dari nilai ini maka ada risiko serius akan terjadinya lewat jenuh pada simpang tersebut. Waktu siklus yang terlalu panjang akan menyebabkan meningkatnya tundaan rata-rata.

2) Waktu hijau untuk masing-masing fase menggunakan rumus:

$$g_i = \frac{(c - LTI) \times FR_{crit}}{FR_{crit}} \quad (2.2b)$$

dengan:

g_i = tampilan waktu hijau pada fase i (detik)

e. Kapasitas dan derajat kejenuhan

Kapasitas pendekat diperoleh dengan perkalian arus jenuh dengan rasio hijau ($\frac{g}{c}$) pada masing-masing pendekat.

Derajat kejenuhan diperoleh sebagai:

$$DS = \frac{Q}{C} = \frac{(Q \times c)}{(S \times g)} \quad (2.3)$$

f. Perilaku lalu lintas

Berbagai ukuran perilaku lalu lintas dapat ditentukan berdasarkan pada arus lalu lintas (Q), derajat kejenuhan (DS) dan waktu sinyal (c dan g) sebagaimana diuraikan di bawah ini.

1) Rata-rata antrian

Jumlah rata-rata antrian smp pada awal sinyal hijau (NQ) dihitung sebagai jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ₁) ditambah jumlah smp yang datang selama fase merah (NQ₂).

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \quad (2.4)$$

dengan:

$$NQ_1 = 0,25 \times c \times \left[(ds - 1) \sqrt{(DS - 1)^2 \frac{8 \times (DS - 0,5)}{c}} \right] \quad (2.4a)$$

jika DS > 0,5; selain dari itu NQ₁ = 0

$$NQ_2 = c \times \frac{1-GR}{1-GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \quad (2.4b)$$

dengan:

NQ₁ = jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya.

NQ₂ = jumlah smp yang datang selama fase merah.

DS = derajat kejenuhan

GR = rasio hijau

c = waktu siklus (det)

C = kapasitas (smp/jam)

Q = arus lalu-lintas pada pendekat tersebut (smp/det)

2) Panjang Antrian

Panjang antrian (QL) diperoleh dengan mengalikan NQ_{max} dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp (20 m²) kemudian bagilah dengan lebar masuknya.

$$QL = \frac{NQ_{max} \times 20}{W_{masuk}} \quad (2.5)$$

3) Angka henti

Angka henti (NS), yaitu jumlah berhenti rata-rata per-kendaraan (termasuk berhenti terulang dalam antrian) sebelum melewati suatu simpang, dihitung sebagai:

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \quad (2.6)$$

dengan c adalah waktu siklus (det) dan Q arus lalu-lintas (smp/jam) dari pendekat yang ditinjau.

4) Tundaan

Suatu ukuran daya guna yang kritis pada fasilitas arus terganggu adalah tundaan (*delay*). Tundaan adalah suatu ukuran yang umum yang dapat diinterpretasikan dengan jumlah rata-rata. Waktu tunda henti rata-rata (*average stopped time delay*) adalah ukuran keefektifan yang prinsipil digunakan dalam mengevaluasi tingkat pelayanan pada persimpangan bersinyal (*signalized intersection*). Waktu tunda henti (*stopped time delay*) adalah waktu yang dihabiskan oleh sebuah kendaraan untuk berhenti dalam suatu antrian saat menunggu untuk memasuki suatu persimpangan.

Rata-rata waktu tunda henti (*average stopped time delay*) adalah total waktu tunda henti yang dialami semua kendaraan pada suatu jalan atau kelompok lajur selama suatu periode waktu yang ditentukan, dibagi dengan volume total kendaraan yang memasuki persimpangan pada jalan atau kelompok lajur selama periode waktu yang sama dinyatakan dalam per kendaraan.

Tundaan lalu-lintas rata-rata pada suatu pendekat j dapat ditentukan dari rumus berikut:

$$DT_j = c \times \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1-GR \times DS)} + \frac{NQ_1 \times 3600}{c} \quad (2.7)$$

dengan:

DT_j = tundaan lalu-lintas rata-rata pada pendekat j (det/smp)

GR = rasio hijau ($\frac{g}{c}$)

DS = derajat kejenuhan

C = kapasitas (smp/jam)

NQ₁ = jumlah smp yang tertinggal dari fase hijau sebelumnya

Tundaan geometri pada suatu pendekat ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$DG = (1 - NS) \times P_T \times 6 + (NS \times 4) \quad (2.8)$$

dengan:

DG = tundaan geometri rata-rata untuk pendekat j (det/smp)

NS = angka henti

P_T = rasio kendaraan berbelok

Tundaan rata-rata seluruh simpang adalah dengan menjumlah tundaan lalu lintas rata-rata dengan tundaan geometri rata-rata yaitu:

$$D = DT + DG \quad (2.9)$$

Sehingga total tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (D_I) dengan membagi jumlah nilai tundaan dengan arus total sengan rumus sebagai berikut:

$$D_I = \frac{\sum Q \times D}{Q_{TOR}} \quad (2.10)$$

2.6 Logika *Fuzzy*

2.6.1 Pengertian Logika *Fuzzy*

Fuzzy secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar-samar. Suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Dalam *fuzzy* dikenal derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1 (satu). Berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 dan 0 (ya dan tidak).

Logika *fuzzy* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah. Dalam teori logika *fuzzy* suatu nilai biasa bernilai benar atau salah secara bersama. Namun berapa besar keberadaan dan kesalahan suatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Logika *fuzzy* memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1. Berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua nilai 1 atau 0. Logika *fuzzy* digunakan untuk mengartikan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (*linguistic*), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat, dan sangat cepat (Setiadji. 2009).

Logika *fuzzy* menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Tidak seperti logika *klasik*, suatu nilai hanya mempunyai dua kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak.

Derajat keanggotaan 0 (nol) artinya nilai bukan merupakan anggota himpunan dan 1 (satu) berarti nilai tersebut adalah anggota himpunan. Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* kedalam suatu ruang *output*.

2.6.2 Perkembangan Logika *Fuzzy*

Teori himpunan logika samar dikembangkan oleh Prof. Lofti Zadeh pada tahun 1965. Zadeh berpendapat bahwa logika benar dan salah dalam logika konvensional tidak dapat mengatasi masalah gradasi yang berada pada dunia nyata. Untuk mengatasi masalah gradasi yang tidak terhingga tersebut, Zadeh mengembangkan sebuah himpunan *fuzzy*.

Tidak seperti logika boolean, logika *fuzzy* mempunyai nilai yang kontinyu. Samar dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama (Kusumadewi, 2004).

Ada beberapa alasan mengapa orang menggunakan logika *fuzzy* (Kusumadewi, Sri, 2002), antara lain:

- a. konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti. konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti,
- b. logika *fuzzy* sangat fleksibel,
- c. logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat,
- d. logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi non linier yang sangat kompleks,
- e. logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan,
- f. logika *fuzzy* dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional,
- g. logika *fuzzy* didasarkan pada bahasa alami.

2.6.3 Inferensi *Fuzzy*

Salah satu metode inferensi *fuzzy* yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang terkait dengan lalu lintas adalah metode Mamdani. Metode ini sering dikenal sebagai metode Max-Min diperkenalkan oleh Embrahim Mamdani pada tahun 1975. Proses untuk mendapatkan output dilakukan dalam empat tahap, yaitu:

- a. Pembentukan himpunan *fuzzy*

Pada metode Mamdani, baik variabel input maupun variable output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*,

- b. Aplikasi fungsi implikasi (aturan)

Pada metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min,

- c. Komposisi aturan

Apabila sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Terdapat tiga jenis metode yang digunakan dalam melakukan inferensi system *fuzzy*, yaitu : max, additive dan probalistik OR,

d. Penegasan (*defuzzifikasi*)

Input dari proses ini adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi- komposisi aturan *fuzzy*, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai output. Pada penulisan tugas akhir ini metode *defuzzifikasi* yang dipakai pada komposisi aturan Mamdani adalah *Centroid of Area (Composite Moment)*. Ada beberapa metode *defuzzifikasi* tapi mungkin salah satu yang paling populer digunakan adalah teknik centroid. Dia menemukan titik di mana sebuah garis vertikal akan mengiris set *agregat* menjadi dua massa yang sama (Cox,1999).

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan mengambil titik pusat (Z_{COA}) daerah *fuzzy*.

$$Z_{COA} = \frac{\int z \mu_A(z) dz}{\int \mu_A(z) dz} \quad (2.11)$$

Dengan $\mu_A(z)$ adalah fungsi keanggotaan gabungan (*aggregated*).

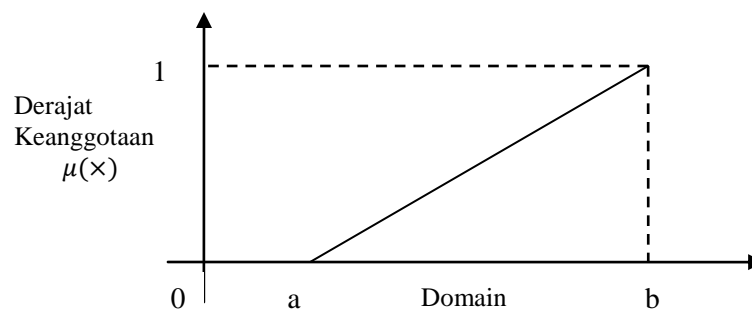
2.6.4 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Apabila U menyatakan himpunan universal dan A adalah himpunan fungsi *fuzzy* dalam U , maka A dapat dinyatakan sebagai pasangan terurut (Kusumadewi, Sri, 2002).

Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan:

a. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas. Ada 2 keadaan himpunan fuzzy yang linear. Pertama, kenaikan himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan nol (0) bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih tinggi (Kusumadewi S, 2002). Seperti terlihat pada gambar 2.2.

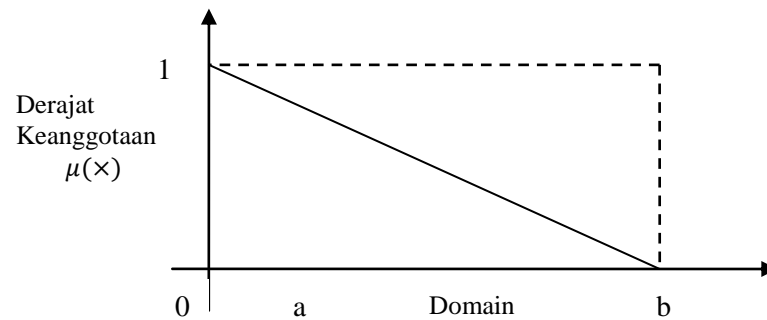


Gambar 2.2 Representasi linear naik

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$$

Kedua, merupakan kebalikan dari yang pertama. Garis lurus dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah. Seperti terlihat pada gambar 2.3.



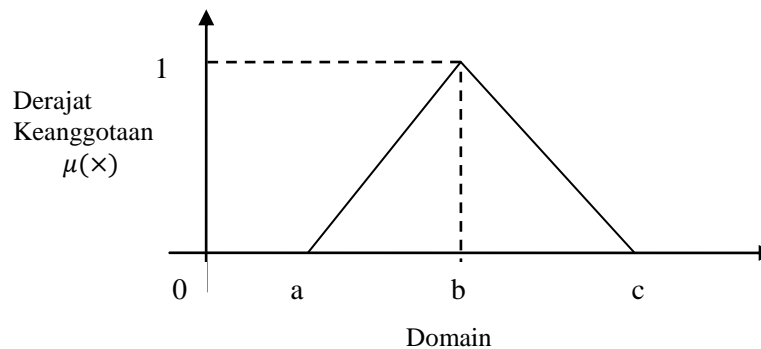
Gambar 2.3 Representasi linear turun

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & x \geq b \\ (b - x)/(b - a) & a < x < b \\ 1 & x \leq a \end{cases}$$

b. Representasi kurva segitiga

Kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara 2 garis (linear).
Seperti terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Representasi kurva segitiga

Fungsi Keanggotaan:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0 & x \geq c \text{ atau } x \leq a \\ (x - a)/(b - a) & a \leq x \leq b \\ (b - x)/(c - b) & b \leq x \leq c \end{cases}$$

2.6.5 Istilah Pengaturan Lalu Lintas pada Logika *Fuzzy*

Berikut ini adalah beberapa istilah yang sering digunakan dalam pengendalian lampu lalu lintas, antara lain:

a. Sebaran banyaknya kendaraan di jalan raya

Adapun sebaran banyaknya kendaraan di jalan raya adalah :

- 1) Tidak Padat (TP),
- 2) Normal (N),
- 3) Padat (P),
- 4) Sangat Padat (SP).

b. Lama lampu lalu lintas menyala

Adapun lama lampu lalu lintas menyala adalah :

- 1) Cepat (C),
- 2) Sedang (S)
- 3) Agak Lama (AL),
- 4) Lama (L).

Istilah-istilah diatas dapat menimbulkan kemenduaan (ambigu) dalam pengertiannya. Logika *Fuzzy* dapat mengubah kemenduaan tersebut ke dalam model matematis sehingga dapat diproses lebih lanjut untuk dapat diterapkan dalam sistem kendali. Menggunakan teori himpunan *fuzzy*, logika bahasa dapat diwakili oleh sebuah daerah yang mempunyai jangkauan tertentu yang menunjukkan derajat keanggotaannya. Untuk permasalahan disini, sebut saja derajat keanggotaan itu adalah $\mu(x)$ untuk x adalah jumlah kendaraan.

Sistem pengendalian *fuzzy* yang dirancang mempunyai dua masukan (*input*) dan satu keluaran (*output*). Masukan adalah jumlah kendaraan pada suatu jalur yang sedang diatur dan jumlah kendaraan pada jalur lain, dan keluaran berupa lama nyala lampu hijau pada jalur yang diatur.

Penggunaan dua masukan dimaksudkan supaya sistem tidak hanya memperhatikan sebaran kendaraan pada jalur yang sedang diatur saja, tetapi juga memperhitungkan kondisi jalur yang sedang menunggu. Pencuplikan dilakukan pada setiap putaran (melalui keempat sensor yang dipasang pada semua jalur). Satu putaran dianggap selesai apabila semua jalur telah mendapat pelayanan lampu. Masukan berupa himpunan kepadatan kendaraan oleh logika *fuzzy* diubah menjadi fungsi keanggotaan masukan dan fungsi keanggotaan keluaran (lama lampu hijau). Bentuk fungsi keanggotaan dapat diatur sesuai dengan distribusi data kendaraan.

Menerapkan logika *fuzzy* dalam sistem pengendalian, membutuhkan tiga langkah, yaitu:

a. *fuzzifikasi (fuzzyfication)*

Fuzzifikasi adalah proses mengubah masukan eksak berupa jumlah kendaraan menjadi masukan *fuzzy* berupa derajat keanggotaan $\mu(x)$. Setelah *fuzzifikasi* adalah evaluasi kaidah. Kaidah-kaidah yang akan digunakan untuk mengatur lalu lintas ditulis secara subyektif dalam *Fuzzy Associate Memory (FAM)*, yang memuat hubungan antara kedua masukan yang menghasilkan keluaran tertentu.

b. evaluasi kaidah,

Fuzzy rules untuk jumlah kendaraan dan lama lampu hijau menyala. if masukan='tidak padat' then hasil:='cepat' else if masukan='cukup padat' then hasil:='sedang' else hasil:='lama'.

c. *defuzifikasi (defuzzyfication)*,

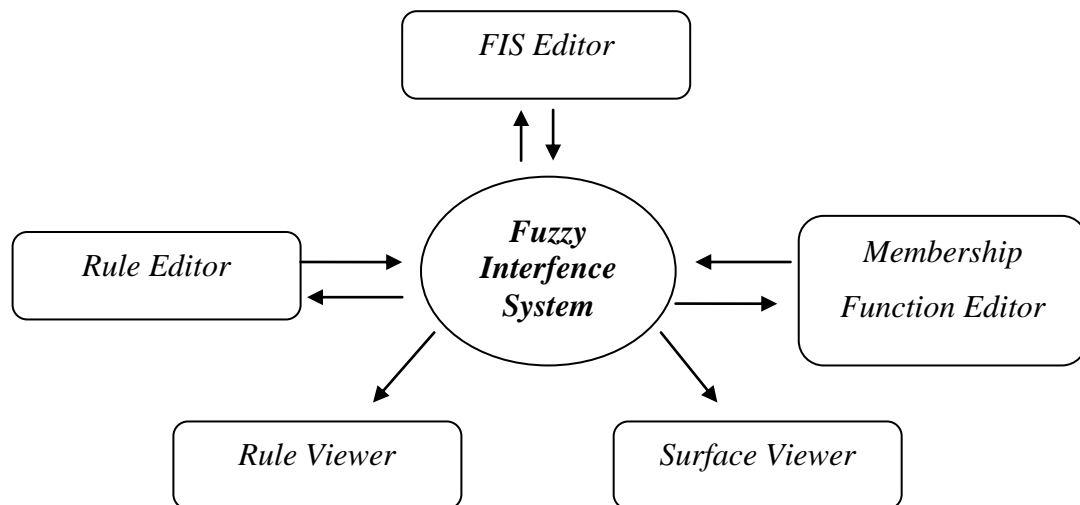
Defuzifikasi proses ini bertujuan untuk mengubah keluaran *fuzzy* menjadi keluaran eksak (lama nyala lampu hijau) menggunakan grafik fungsi keanggotaan keluaran. Karena keluaran *fuzzy* biasanya tidak satu untuk menghitung keluaran eksaknya digunakan metode pusat gravitasi (*center of gravity/COG*).

2.6.6 Matlab toolbox untuk Perhitungan Logika Fuzzy

Fuzzy Logic Toolbox memberikan fasilitas *Graphical User Interface* (GUI) untuk mempermudah dalam membangun suatu sistem *fuzzy*. Ada 5 GUI *tools* yang dapat digunakan untuk membangun, mengedit, dan mengobservasi sistem penalaran *fuzzy*, yaitu :

- a. *fuzzy inference system (fis) editor*,
- b. *membership function editor*,
- c. *rule editor*,
- d. *rule viewer*,
- e. *surface viewer*.

Pada (a-c) kita dapat membaca dan memodifikasi *fis* data, sedangkan pada (d-e) kita hanya bias membaca saja tanpa dapat memodifikasinya.



Gambar 2.5 Beberapa metode memperoleh nilai tegas

(Sumber: Analisa Desain Sistem *Fuzzy* Menggunakan Toolbox Matlab, Sri, Kusumadewi, 2002)

Keterangan :

a. *Fuzzy Interference System (FIS) Editor*

FIS Editor digunakan sebagai langkah awal untuk membuat suatu penalaran *fuzzy* yang baru. Untuk memulainya kita cukup menuliskan “*fuzzy*” pada *command line*,

b. *Membership Function Editor*

Editor ini berfungsi untuk mengedit fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk tiap-tiap variabel input dan output. Editor ini dapat dipanggil dengan cara memilih menu *View- Edit membership functions*,

c. *Rule Editor*

Rule Editor merupakan bagian yang digunakan baik untuk mengedit maupun menampilkan aturan yang akan atau telah dibuat. Editor ini dapat dipanggil dengan cara memilih menu *view-edit rule* atau menekan tombol *ctrl+3* atau menekan 2 kali ikon diagram sistem,

d. *Rule Viewer*

Viewer ini digunakan untuk melihat alur penalaran *fuzzy* pada sistem meliputi pemetaan input yang diberikan ke tiap-tiap variabel input, aplikasi operator dan fungsi implikasi, komposisi (agregasi) aturan, sampai pada penentuan output tegas metode *defuzzifikasi*,

e. *Surface Viewer*

Viewer ini digunakan untuk melihat gambar pemetaan antara variabel-variabel input dan variabel-variabel output. *Viewer* ini dipanggil dengan cara memilih menu *view-view surface* atau dengan menekan tombol *ctrl+6*.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Data arus lalu lintas pada penelitian ini akan dilaksanakan di *traffic light* yang bertempat di perempatan mangli Jember. Dilakukan pada hari kerja pada jam sibuk yaitu pukul 06.30, siang jam 12.00 dan sore jam 16.00 .

3.2 Langkah-Langkah Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. kajian pustaka yang terkait tentang logika *fuzzy* dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI),
- b. pengumpulan data lapang *traffic light* di perempatan Mangli Jember,
 - 1) menghitung lama menyala lampu merah, kuning dan hijau,
 - 2) melakukan perekaman terhadap setiap kendaraan yang lewat didepan alat perekam dengan mengikuti antrian terakhir, dimulai dari awal lampu merah menyala dan dilakukan selama 1 menit,
 - 3) melakukan pendataan jenis kendaraan dan jumlah masing-masing jenis kendaraan tersebut yang melewati jalur, dengan mengamati hasil rekaman.
peralatan yang diperlukan antara lain :
 - a) formulir penelitian jumlah kendaraan yang keluar dari simpang untuk prosedur survei Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI),
 - b) *stopwatch*,
 - c) kamera digital,
 - d) meteran gulungan, untuk mendapatkan data geometrik jalan,
 - e) *ballpoint*,
 - f) *calculator* sebagai alat penghitung.
- c. mengulangi langkah 1,2,3 untuk setiap jalur lainnya,

- d. pengolahan data menggunakan teori logika *fuzzy* dan Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI),
 - 1) menghitung data arus lalu lintas yang telah dicatat pada formulir Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI),
 - 2) menghitung waktu *traffic light* dengan menggunakan *fuzzy logic toolbox* serta mensimulasikannya dengan menggunakan *matlab toolbox*.
- e. validasi hasil
 - Membandingkan besarnya tundaan yang dihasilkan logika *fuzzy* dengan metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

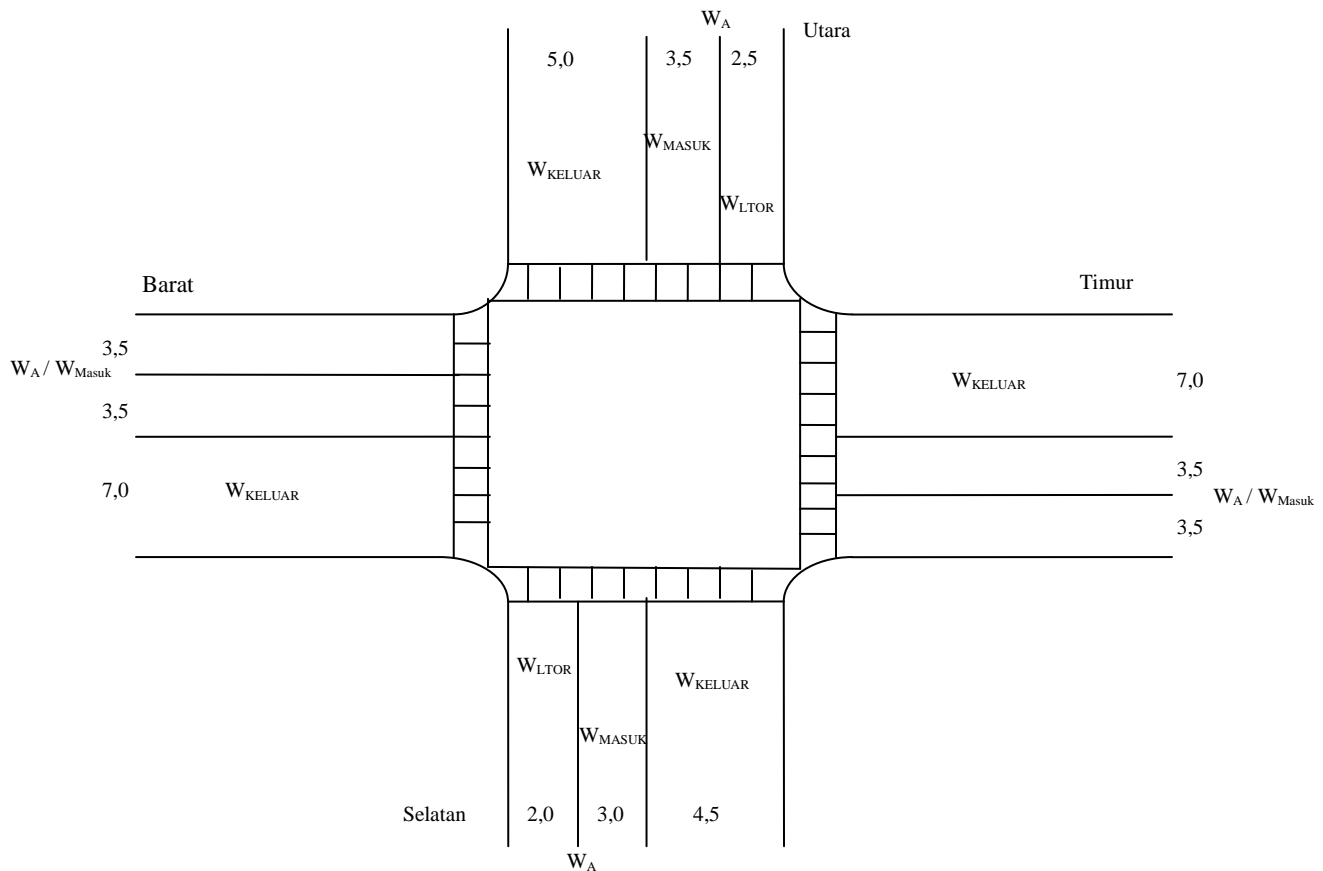
Setelah menyelesaikan tahap-tahap penelitian pada bab sebelumnya, selanjutnya adalah analisis data simpang kemudian dilanjutkan dengan perhitungan waktu *traffic light* dengan menggunakan dua metode yakni logika *fuzzy* dan MKJI 1997. Tahap analisa data dan perhitungan akan dilakukan terhadap simpang yang telah ditentukan dari data lalu lintas pada perempatan Mangli Jember. Adapun data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

4.1 Data Geometrik Simpang

Data geometrik simpang merupakan data yang memuat kondisi geometrik jalan pada simpang yang diamati. Data geometrik ini diperoleh dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan. Survei dilakukan pada saat kondisi jalan masih sepi dari kendaraan untuk menghindari gangguan arus lalu lintas. Data geometrik simpang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kondisi geometrik simpang pada perempatan Mangli Jember

Pendekat	Utara	Timur	Selatan	Barat
Belok kiri jalan terus	ada	tidak	ada	tidak
Lebar pendekat (m)	6,0	7,0	5,0	7,0
Lebar pendekat masuk (m)	3,5	7,0	3,0	7,0
Lebar pendekat LTOR (m)	2,5	-	2,0	-
Lebar pendekat keluar (m)	5,0	7,0	4,5	7,0



Gambar 4.1 Simpang perempatan Mangli Jember

Adapun setiap lengan persimpangan diberi kode pendekat Utara, Selatan, Timur dan Barat dengan keterangan sebagai berikut:

- Utara adalah lengan persimpangan disebelah utara yakni jalan Otista,
- Selatan adalah lengan persimpangan sebelah selatan yakni jalan Udang Windu,
- Timur adalah lengan persimpangan disebelah timur yakni jalan Hayam Wuruk
- Barat adalah lengan persimpangan disebelah barat yakni jalan Brawijaya

4.2 Data Lalu Lintas

Kegiatan pengumpulan data lalu lintas dilaksanakan hari senin, rabu, dan jum'at tanggal 17, 19 dan 21 Desember 2012. Untuk jam puncak pagi diperkirakan antara jam 6.30 s/d 07.30 WIB, untuk jam puncak siang antara jam 12.00 s/d 13.00, dan jam puncak sore antara jam 16.00 s/d 17.00 WIB.

Parameter-parameter persimpangan yang dihitung secara manual adalah total arus lalu lintas (Q), ekivalen mobil penumpang (smp/jam), arus jenuh (S), kapasitas (C), derajat kejenuhan (DS) dan parameter-parameter yang didapat langsung dari survei dilapangan seperti: waktu siklus (detik), kondisi geometri seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 4.2 Jumlah kendaraan maksimum simpang perempatan Mangli Jember

Lengan Persimpangan	Hari/Tanggal	Waktu (jam)	Jumlah Kendaraan Bermotor (per jam)
Utara	Senin, 17 Desember 2012	12.00 s/d 13.00	867
Selatan	Senin, 17 Desember 2012	12.00 s/d 13.00	1086
Timur	Senin, 17 Desember 2012	12.00 s/d 13.00	2065
Barat	Senin, 17 Desember 2012	12.00 s/d 13.00	2570

Data-data pada tabel diatas akan menjadi acuan selanjutnya untuk menganalisa kapasitas dan menentukan panjang antrian maksimal persimpangan. Data diatas diambil karena merupakan data maksimum dimana terjadi arus lalu lintas yang padat, sehingga dapat mewakili data lainnya. Berikut akan diperlihatkan data arus lalu lintas pada tiap lengan persimpangan (lihat tabel 4.3).

Tabel 4.3 Arus lalu lintas simpang perempatan Mangli disetiap lengan (kend/jam)

Tipe Kend.	Jumlah Arus Lalu Lintas											
	Lengan Utara			Lengan Selatan			Lengan Timur			Lengan Barat		
	ST	RT	LTOR	ST	RT	LTOR	ST	RT	LTOR	ST	RT	LTOR
LV	28	99	21	30	120	70	400	111	210	549	255	116
HV	4	3	6	8	28	18	17	11	9	12	27	4
MC	156	430	120	80	520	212	845	165	297	988	432	187

Total arus lalu lintas pada siang hari tanggal 17 Desember 2012 pada pendekat utara untuk gerakan lurus pada simpang perempatan Mangli adalah sebagai berikut:

$$\begin{array}{r}
 \text{Lurus : LV} = 28 \text{ kend/jam} \\
 \text{HV} = 4 \text{ kend/jam} \\
 \text{MC} = 156 \text{ kend/jam} \\
 \hline
 \text{Total} = 188 \text{ kend/jam} \quad +
 \end{array}$$

Sehingga jumlah kendaraan seluruhnya adalah 188 kend/jam. Selanjutnya perlu diketahui jumlah kendaraan dalam satuan smp/jam dengan mengekivalenkan ke mobil penumpang, yaitu:

$$\begin{array}{r}
 \text{Lurus : LV} = 28 \times 1,0 = 28 \text{ smp/jam} \\
 \text{HV} = 4 \times 1,3 = 5 \text{ smp/jam} \\
 \text{MC} = 156 \times 0,2 = 31 \text{ smp/jam} \\
 \hline
 \text{Total} = 64 \text{ smp/jam} \quad +
 \end{array}$$

Berdasarkan konversi diatas, maka disajikan table 4.4 nilai smp untuk seluruh jenis pendekat dan gerakan lalu lintas, yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.4 Arus lalu lintas simpang perempatan Mangli disetiap lengan (smp/jam)

Tipe Kend.	Jumlah Arus Lalu Lintas											
	Lengan Utara			Lengan Selatan			Lengan Timur			Lengan Barat		
	ST	RT	LTOR	ST	RT	LTOR	ST	RT	LTOR	ST	RT	LTOR
LV	28	99	21	30	120	70	400	111	210	549	255	116
HV	5	4	8	10	36	23	22	14	12	16	35	5
MC	31	86	24	16	104	42	338	66	119	395	173	75

4.3 Data *Traffic Light* Tiap Simpang

Berikut akan ditunjukkan data *traffic light* disetiap lengan persimpangan perempatan Mangli Jember.

Tabel 4.5 Data *traffic light* simpang perempatan Mangli

Pendekat	Waktu nyala (detik)		
	Hijau	Kuning	Merah
Utara	15	3	70
Selatan	15	3	60
Timur	30	3	70
Barat	45	3	75

4.4 Pengolahan Data Menggunakan Metode Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Setelah diperoleh data arus lalu lintas dalam satuan smp/jam, selanjutnya adalah mengolah data dengan menggunakan metode MKJI 1997. Berikut adalah salah satu contoh perhitungannya pada lengan persimpangan sebelah timur.

- Berdasarkan hasil survei langsung di lapangan diperoleh W_e (lebar efektif) = 7,0 m.
- Kapasitas pendekat (C) diperoleh dengan perkalian arus jenuh dengan rasio hijau (g/c) seperti pada persamaan (2.1)

$$\begin{aligned}
 C &= S \times \frac{g}{c} \\
 &= 3948 \times \frac{14}{31} \\
 &= 1783
 \end{aligned}$$

- c. Derajat kejenuhan diperoleh dengan rumus jumlah arus dibagi dengan kapasitas. Seperti yang sudah dijelaskan pada persamaan (2.3)

$$\begin{aligned} DS &= \frac{Q}{c} \\ &= \frac{1031}{1783} \\ &= 0,578 \end{aligned}$$

- d. Jumlah rata-rata antrian (smp) pada awal sinyal hijau yaitu NQ dihitung sebagai jumlah kendaraan (smp) yang tersisa dari fase hijau sebelumnya (NQ_1) ditambah jumlah kendaraan (smp) yang akan datang selama fase merah (NQ_2). Seperti yang sudah dijelaskan pada persamaan (2.4)

$$NQ = NQ_1 + NQ_2$$

dengan:

$$\begin{aligned} NQ_1 &= 0,25 \times c \times \left[(ds - 1) \sqrt{(DS - 1)^2 \frac{8 \times (DS - 0,5)}{c}} \right] \\ &= 0,25 \times 1783 \times \left[(0,578 - 1) \sqrt{(0,578 - 1)^2 \frac{8 \times (0,578 - 0,5)}{1783}} \right] \\ &= 0,2 \end{aligned}$$

jika $DS > 0,5$; selain dari itu $NQ_1 = 0$

$$\begin{aligned} NQ_2 &= c \times \frac{1 - GR}{1 - GR \times DS} \times \frac{Q}{3600} \\ &= 31 \times \frac{1 - 0,45}{1 - 0,45 \times 0,578} \times \frac{1031}{3600} \\ &= 6,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } NQ &= NQ_1 + NQ_2 \\ &= 0,2 + 6,6 \\ &= 6,8 \end{aligned}$$

e. Panjang antrian

Panjang antrian (QL) diperoleh dengan mengalikan NQ_{max} dengan luas rata-rata yang dipergunakan per smp (20 m^2) kemudian bagilah dengan lebar masuknya. Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.5)

$$QL = \frac{NQ_{max} \times 20}{W_{masuk}}$$

$$= \frac{9,98 \times 20}{7,0}$$

$$QL = 28,50$$

f. Jumlah kendaraan terhenti (NS) diperoleh dengan cara jumlah rata-rata antrian (NQ) dibagi dengan waktu siklus seperti pada persamaan (2.6)

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600$$

$$= 0,9 \times \frac{6,8}{1031 \times 31} \times 3600$$

$$NS = 0,69$$

g. Tundaan lalu lintas rata-rata (DT) dihitung dengan menggunakan persamaan (2.7)

$$DT = c \times \frac{0,5 \times (1 - GR)^2}{(1 - GR \times DS)} + \frac{NQ_1 \times 3600}{c}$$

$$= c \times \frac{0,5 \times (1 - 0,45)^2}{(1 - 0,45 \times 0,578)} + \frac{0,2 \times 3600}{1783}$$

$$DT = 6,68$$

Tundaan geometri rata-rata (DG) dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8)

$$DG = (1 - NS) \times P_T \times 6 + (NS \times 4)$$

$$= (1 - 0,69) \times 0,39 \times 6 + (0,69 \times 4)$$

$$= 3,48$$

Tundaan rata-rata seluruh simpang adalah dengan menjumlah tundaan lalu lintas rata-rata dengan tundaan geometri rata-rata yaitu:

$$\begin{aligned} D &= DT + DG \\ &= 6,68 + 3,48 \\ &= 10,16 \end{aligned}$$

Sehingga total tundaan rata-rata untuk seluruh simpang adalah dengan menggunakan persamaan (2.10)

$$\begin{aligned} D_I &= \frac{\sum Q \times D}{Q_{TOT}} \\ &= \frac{\sum 73126}{3276} \\ &= 22,32 \end{aligned}$$

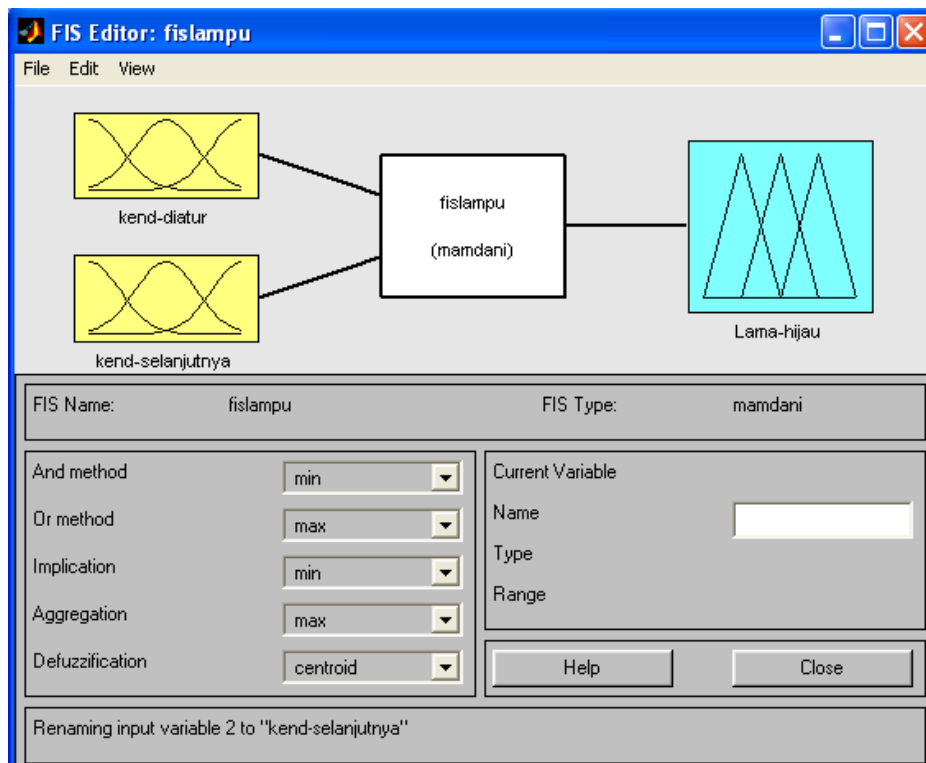
Semua hasil perhitungan tiap lengan simpang dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan tiap lengan simpang perempatan Mangli

Lengan	Utara	Selatan	Timur	Barat
Lebar efektif W_e (m)	3,5	3,0	7	7
Waktu hijau (detik)	8	8	14	14
Kapasitas pendekat (C)	351	455	1783	1783
Derajat kejenuhan (DS)	0,576	0,996	0,578	0,727
NQ_1	0,2	10,1	0,2	0,8
NQ_2	2,3	3,9	6,6	9,1
NQ	2,5	14,0	6,8	10,0
Panjang antrian (m)	20,20	72,72	28,50	40,28
Jumlah kendaraan terhenti smp/jam (N_{sv})	259	1466	708	1040
Tundaan lalu lintas rata-rata (DT)	11,24	91,63	6,68	8,62
Tundaan geometri rata-rata (DG)	4,00	1,14	3,48	3,68
Tundaan rata-rata ($D=DT+DG$)	15,24	92,77	10,16	12,30
Tundaan total smp/jam ($D \times Q$)	4665	42025	10478	15958

4.5 Pengolahan Data dengan Logika Fuzzy

Perhitungan waktu sinyal *traffic light* menggunakan logika *fuzzy* yakni dengan memanfaatkan software Matlab 7.0. Sistem *Inferensi Fuzzy* (FIS) akan digunakan dalam program komputer ini dengan dua input kendaraan diatur, kendaraan selanjutnya dan satu output durasi lama hijau.



Gambar 4.2 Sistem *Inferensi Fuzzy* (FIS) Editor

Langkah-langkah dalam membangun algoritma lampu lalu lintas berbasis logika *fuzzy* adalah sebagai berikut:

a. Pembentukan himpunan *fuzzy*

Langkah awal dalam membangun algoritma lampu lalu lintas berbasis logika *fuzzy* adalah dengan membuat himpunan *fuzzy* pada masing-masing variable. Pada jumlah sebaran kendaraan dibagi menurut kepadatan yaitu: Tidak Padat (TP), Normal (N), Padat (P), dan Sangat Padat (SP).

Sedangkan untuk durasi nyala lampu (sebagai output) adalah cepat (C), Sedang (S), Agak Lama (AL), dan Lama (L). (Seperti terlihat pada tabel 4.7).

Tabel 4.7 Himpunan *fuzzy* masing-masing variabel

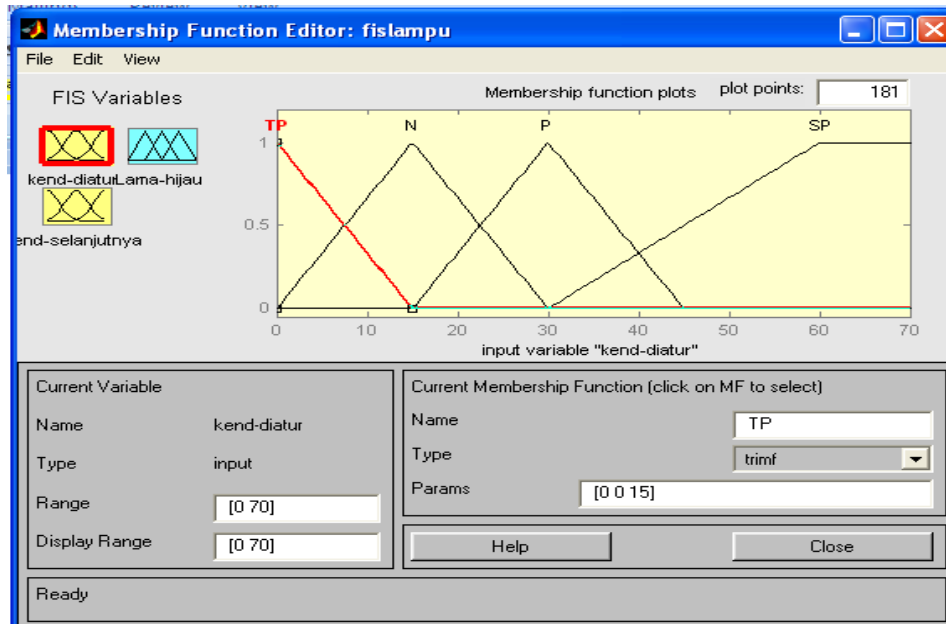
Fungsi	Variabel	Himpunan <i>Fuzzy</i>	Domain
Input	Jumlah kendaraan pada jalur yang diatur (JKD)	Tidak padat (TP)	[0,15]
		Normal (N)	[0,30]
		Padat (P)	[15,45]
		Sangat padat (SP)	[30,60]
	Jumlah kendaraan pada jalur Selanjutnya (JKS)	Tidak padat (TP)	[0,15]
		Normal (N)	[0,30]
		Padat (P)	[15,45]
		Sangat padat (SP)	[30,60]
Output	Durasi nyala lampu hijau pada jalur yang diatur (DL)	Cepat (C)	[0,10]
		Sedang (S)	[0,20]
		Agak lama (AL)	[10,30]
		Lama (L)	[20,50]

b. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan $\mu(x)$) yang memiliki interval antara 0 sampai 1.

$\mu(x): a \rightarrow [0,1]$ dimana a adalah himpunan universal. Digunakan fungsi kurva segitiga dan kurva bentuk bahu untuk merepresentasikannya. Bentuk pendekatan inilah yang sesuai untuk merepresentasikan himpunan *fuzzy* di atas dengan lebih akurat, Sumbu y adalah derajat keanggotaan dari tiap variable *fuzzy*. Sumbu x adalah menunjukkan semesta pembicaraan.

- Jumlah kendaraan jalur yang diatur (JKD):



Gambar 4.3 Fungsi keanggotaan jumlah kendaraan jalur yang diatur

Berikut adalah fungsi keanggotaan jumlah kendaraan jalur yang diatur:

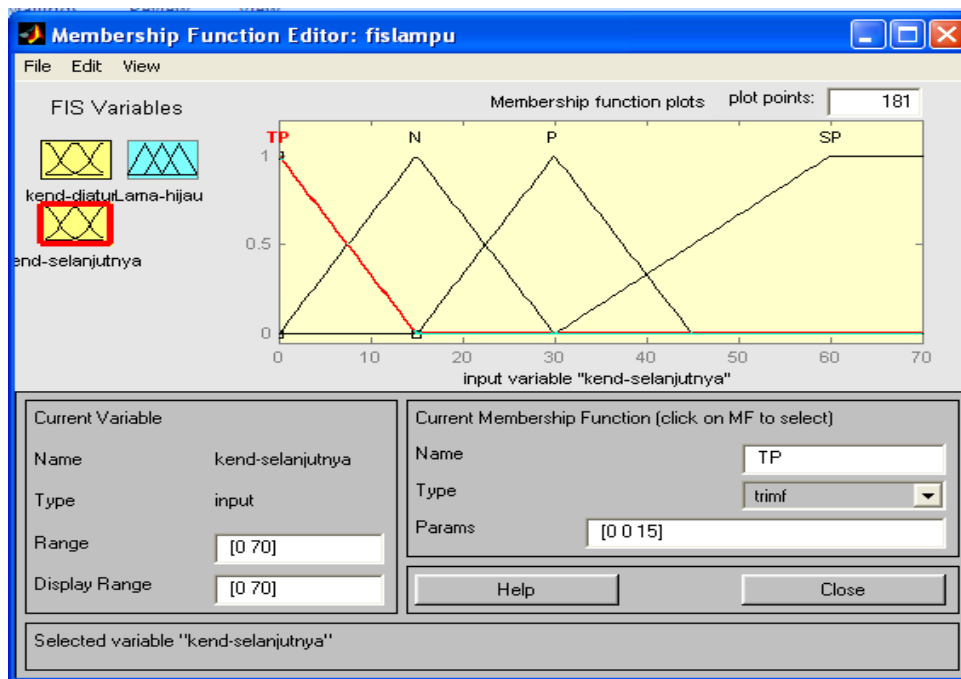
$$\mu_{TP} = \begin{cases} 0 & JKD \geq 15 \\ (15 - JKD)/15 & 0 \leq JKD \leq 15 \end{cases}$$

$$\mu_N = \begin{cases} 0 & JKD < 0 \text{ atau } JKD \geq 30 \\ (JKD - 0)/15 & 0 \leq JKD \leq 15 \\ (30 - JKD)/15 & 15 < JKD < 30 \end{cases}$$

$$\mu_P = \begin{cases} 0 & JKD < 15 \text{ atau } JKD \geq 45 \\ (JKD - 15)/15 & 15 \leq JKD \leq 30 \\ (45 - JKD)/15 & 30 < JKD < 45 \end{cases}$$

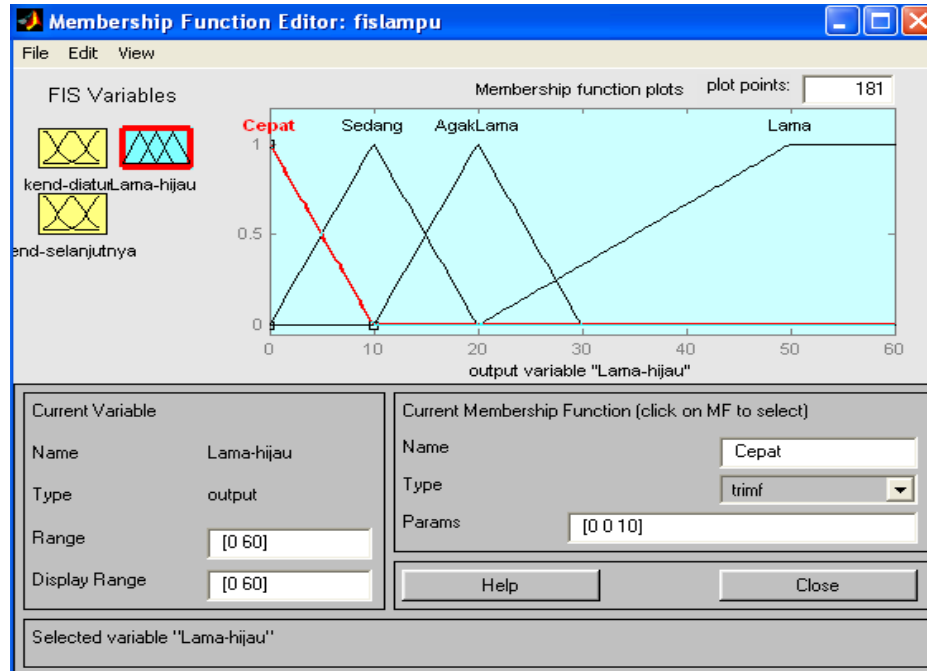
$$\mu_{SP} = \begin{cases} 0 & JKD \leq 30 \\ (JKD - 30)/30 & 30 < JKD < 60 \\ 1 & JKD \geq 60 \end{cases}$$

Editor diatas berfungsi untuk mengedit fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk tiap-tiap variabel input dan output. Pada gambar diatas menampilkan variabel jumlah kendaraan yang diatur, begitu juga dengan variabel jumlah kendaraan yang menunggu sama dengan tampilan pada variabel jumlah kendaraan yang diatur. Terdapat lima himpunan pada variabel ini yaitu TP, N, P, SP.



Gambar 4.4 Fungsi keanggotaan jumlah kendaraan jalur selanjutnya

➤ Durasi Lampu (DL):



Gambar 4.5 Fungsi keanggotaan durasi nyala lampu hijau

Berikut adalah fungsi keanggotaan durasi nyala lampu hijau:

$$\mu_C = \begin{cases} 0 & DL \geq 10 \text{ atau } DL < 0 \\ (10 - DL)/10 & 0 \leq DL < 10 \end{cases}$$

$$\mu_S = \begin{cases} 0 & DL < 0 \text{ atau } DL \geq 20 \\ (DL - 0)/10 & 0 \leq DL \leq 10 \\ (20 - DL)/10 & 10 < DL < 20 \end{cases}$$

$$\mu_{AL} = \begin{cases} 0 & DL < 10 \text{ atau } DL \geq 30 \\ (DL - 10)/10 & 10 \leq DL \leq 20 \\ (30 - DL)/10 & 20 < DL < 30 \end{cases}$$

$$\mu_L = \begin{cases} 0 & DL \leq 20 \text{ atau } DL \geq 50 \\ (DL - 20)/30 & 20 < DL < 50 \\ 1 & DL \geq 50 \end{cases}$$

c. Basis Kaidah *Fuzzy*

Basis kaidah *fuzzy* merupakan himpunan implikasi yang berlaku sebagai aturan dalam sistem. Basis kaidah ditunjukkan dengan adanya sekumpulan pernyataan linguistik atau disebut proposisi *fuzzy*. Proposisi atau aturan *fuzzy* ditentukan terlebih dahulu agar sistem kontrol *fuzzy* sesuai dengan keadaan. Sampai saat ini belum ada aturan yang mengikat dalam penentuan basis kaidah ini. Sehingga penentuan berdasar pada pengetahuan pakar atau pengalaman operator.

Akan diberikan table FAM (*Fuzzy Associative Memory*) untuk membentuk kaidah atau *rule* yang akan digunakan. Bentuk dari *rule* adalah IF (anteseden 1) AND (anteseden 2) THEN (konsekuen).

Tabel 4.8 *Fuzzy Associate Memory* (FAM) untuk kepadatan lalu lintas

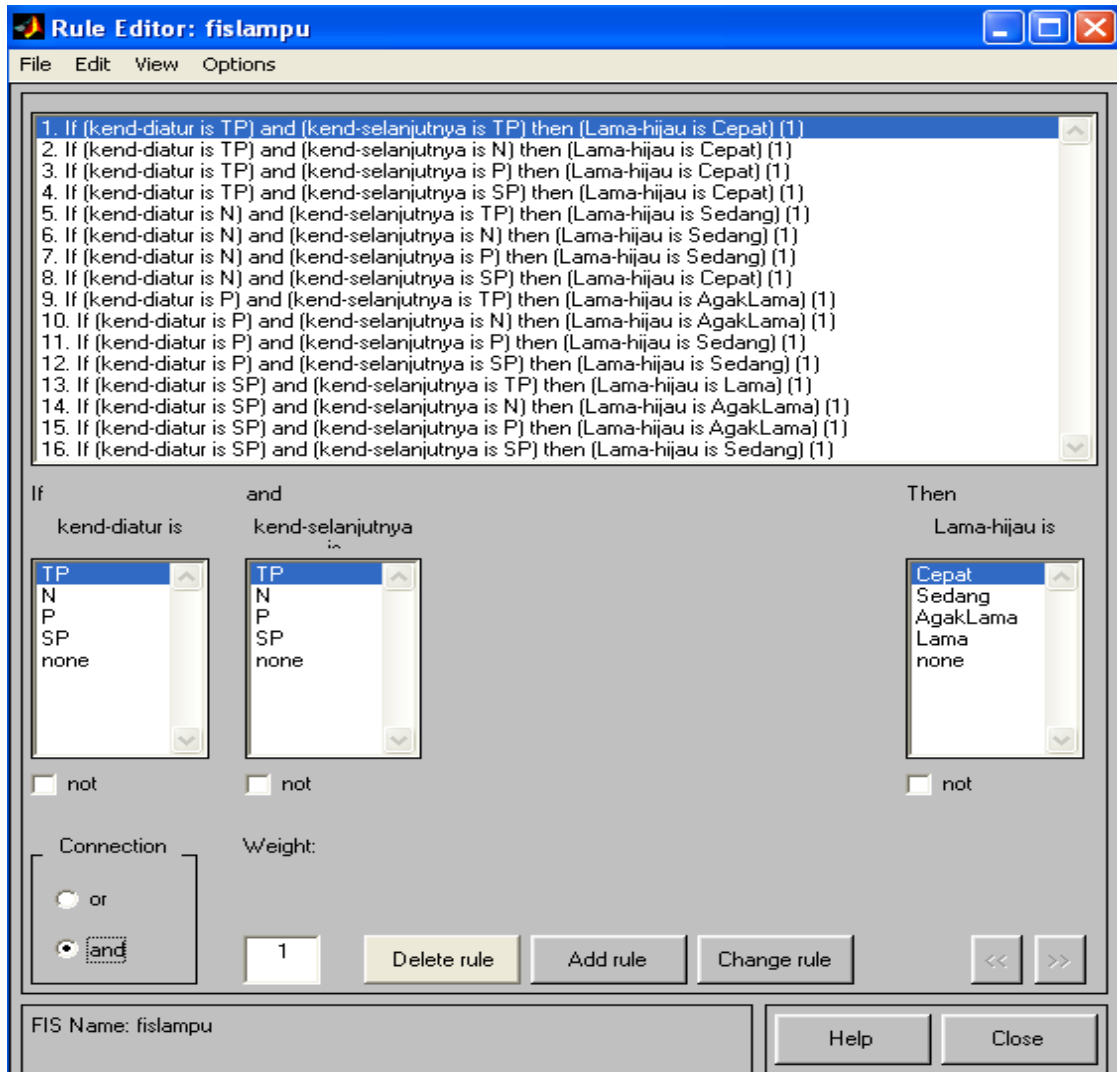
Input-1 Input-2	TP	N	P	SP
TP	C	C	C	C
N	S	S	S	C
P	AL	AL	S	S
SP	L	AL	AL	S

Dari table diatas dapat dibuat enam belas *rule* atau aturan *fuzzy* yang nanti akan digunakan dalam proses *inferensi*, sebagai berikut:

- [R1] IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Tidak Padat THEN durasi lampu hijau Cepat,
- [R2] IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Normal THEN durasi lampu hijau Cepat,
- [R3] IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Padat THEN durasi lampu hijau Cepat,

- [R4] IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Cepat, dan seterusnya.
- [R5] IF jumlah kendaraan jalur diatur Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Tidak Padat THEN durasi lampu hijau Sedang,
- [R6] IF jumlah kendaraan jalur diatur Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Normal THEN durasi lampu hijau Sedang,
- [R7] IF jumlah kendaraan jalur diatur Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Padat THEN durasi lampu hijau Sedang,
- [R8] IF jumlah kendaraan jalur diatur Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Cepat,
- [R9] IF jumlah kendaraan jalur diatur Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Tidak Padat THEN durasi lampu hijau Agak Lama,
- [R10] IF jumlah kendaraan jalur diatur Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Normal THEN durasi lampu hijau Agak Lama,
- [R11] IF jumlah kendaraan jalur diatur Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Padat THEN durasi lampu hijau Sedang,
- [R12] IF jumlah kendaraan jalur diatur Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Sedang,
- [R13] IF jumlah kendaraan jalur diatur Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Tidak Padat THEN durasi lampu hijau Lama,
- [R14] IF jumlah kendaraan jalur diatur Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Normal THEN durasi lampu hijau Agak Lama,
- [R15] IF jumlah kendaraan jalur diatur Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Padat THEN durasi lampu hijau Agak Lama,
- [R16] IF jumlah kendaraan jalur diatur Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Sedang.

Aturan-aturan yang telah ditentukan diatas dimasukkan ke dalam *rule editor* pada program *toolbox* matlab seperti terlihat pada gambar 4.6 dibawah ini.



Gambar 4.6 Rule Editor Aturan Fuzzy

4.5.1 Perhitungan Derajat Keanggotaan

Tahap-tahap penyelesaian masalah setelah terbentuknya himpunan *fuzzy* diantaranya adalah *fuzzifikasi*, *Evaluasi kaidah*, *Komposisi* serta *Defuzzifikasi*. Setelah melalui proses tersebut barulah akan didapat suatu output *crisp* sebagai solusi output. Pada suatu waktu ada kondisi di *traffic light* perempatan mangli adalah:

- a. Dari arah timur (Jalur I) : 46 unit kendaraan
- b. Dari arah selatan (Jalur II) : 28 unit kendaraan
- c. Dari arah barat (Jalur III) : 60 unit kendaraan
- d. Dari arah utara (Jalur IV) : 20 unit kendaraan

Berikut adalah tahap-tahapan penyelesaian masalah setelah terbentuknya himpunan *fuzzy*:

a. *Fuzzifikasi*

Merupakan rangkaian proses perubahan input *crisp* berupa jumlah kendaraan menjadi input *fuzzy* berupa derajat keanggotaan dalam suatu himpunan *fuzzy*. Pada proses ini akan dicari derajat keanggotaan variabel input yang sudah terbagi dalam beberapa himpunan *fuzzy*. Berikut adalah cara mencari keanggotan tiap himpunan *fuzzy*.

Jalur I:

$$\begin{aligned}\mu_{TP} &= [46] = 0 \\ \mu_N &= [46] = 0 \\ \mu_P &= [46] = 0 \\ \mu_{SP} &= [46] = \frac{(46-30)}{30} = 0,53\end{aligned}$$

Jalur II:

$$\begin{aligned}\mu_{TP} &= [28] = 0 \\ \mu_N &= [28] = \frac{(30-28)}{15} = 0,13 \\ \mu_P &= [28] = \frac{(28-15)}{15} = 0,86 \\ \mu_{SP} &= [28] = 0\end{aligned}$$

Jalur III:

$$\mu_{TP} = [60] = 0$$

$$\mu_N = [60] = 0$$

$$\mu_P = [60] = 0$$

$$\mu_{SP} = [60] = 1$$

Jalur IV:

$$\mu_{TP} = [20] = 0$$

$$\mu_N = [20] = \frac{(30-20)}{15} = 0,66$$

$$\mu_P = [20] = \frac{(20-15)}{15} = 0,33$$

$$\mu_{SP} = [20] = 0$$

Suatu masukan *crisp* tidak hanya menjadi satu anggota himpunan *fuzzy*, tetapi bisa termasuk dalam dua himpunan *fuzzy* sekaligus, yang membedakan adalah derajat keanggotaannya. Seperti pada jalur II, 28 buah kendaraan termasuk dalam kategori Normal (N) sebesar 0,13 namun disebut pula Padat (P) dengan tingkat keanggotaan 0,86. Lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut:

Tabel 4.9 Nilai keanggotaan dari JKD atau JKS sesuai fungsi keanggotaannya

Input-1	TP	N	P	SP
Input-2				
20	0	0,66	0,33	0
28	0	0,13	0,86	0
46	0	0	0	0,53
60	0	0	0	1

b. Evaluasi Kaidah

Merupakan proses pengecekan tiap aturan pada basis kaidah. Perhitungan α -predikat dilakukan dengan mengaplikasikan fungsi implikasi untuk setiap aturan. Karena menggunakan inferensi Mamdani, maka fungsi implikasi yang dipergunakan adalah fungsi MIN. Berikut adalah contoh perhitungan nilai min dari jalur I (JKD) dan jalur II (JKS):

[R1] IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya

Tidak Padat THEN durasi lampu hijau Cepat,

$$\alpha\text{-predikat1} = \min(\mu_{\text{Tidak Padat}}(\text{JKD}); \mu_{\text{Tidak Padat}}(\text{JKS}))$$

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

$$\mu_{\text{Cepat}}(\text{DL}) = 0$$

[R2] IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya

Normal THEN durasi lampu hijau Cepat,

$$\alpha\text{-predikat2} = \min(\mu_{\text{Tidak Padat}}(\text{JKD}); \mu_{\text{Normal}}(\text{JKS}))$$

$$= \min(0; 0,13) = 0$$

$$\mu_{\text{Cepat}}(\text{DL}) = 0$$

[R3] IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya

Padat THEN durasi lampu hijau Cepat,

$$\alpha\text{-predikat3} = \min(\mu_{\text{Tidak Padat}}(\text{JKD}); \mu_{\text{Padat}}(\text{JKS}))$$

$$= \min(0; 0,86) = 0$$

$$\mu_{\text{Cepat}}(\text{DL}) = 0$$

[R4] IF jumlah kendaraan jalur diatur Tidak Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya

Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Cepat,

$$\alpha\text{-predikat4} = \min(\mu_{\text{Tidak Padat}}(\text{JKD}); \mu_{\text{Sangat Padat}}(\text{JKS}))$$

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

$$\mu_{\text{Cepat}}(\text{DL}) = 0$$

[R5] IF jumlah kendaraan jalur diatur Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya

Tidak Padat THEN durasi lampu hijau Sedang,

$$\alpha\text{-predikat5} = \min(\mu_{\text{Normal}}(\text{JKD}); \mu_{\text{Tidak Padat}}(\text{JKS}))$$

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

$$\mu_{Sedang}(DL) = 0$$

[R6] IF jumlah kendaraan jalur diatur Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Normal THEN durasi lampu hijau Sedang,

$$\alpha\text{-predikat6} = \min(\mu_{Normal}(JKD); \mu_{Normal}(JKS))$$

$$= \min(0; 0,13) = 0$$

$$\mu_{Sedang}(DL) = 0$$

[R7] IF jumlah kendaraan jalur diatur Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Padat THEN durasi lampu hijau Sedang,

$$\alpha\text{-predikat7} = \min(\mu_{Normal}(JKD); \mu_{Padat}(JKS))$$

$$= \min(0; 0,86) = 0$$

$$\mu_{Sedang}(DL) = 0$$

[R8] IF jumlah kendaraan jalur diatur Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Cepat,

$$\alpha\text{-predikat8} = \min(\mu_{Normal}(JKD); \mu_{Sangat\ Padat}(JKS))$$

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

$$\mu_{Cepat}(DL) = 0$$

[R9] IF jumlah kendaraan jalur diatur Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Tidak Padat THEN durasi lampu hijau Agak Lama,

$$\alpha\text{-predikat9} = \min(\mu_{Padat}(JKD); \mu_{Tidak\ Padat}(JKS))$$

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

$$\mu_{Agak\ Lama}(DL) = 0$$

[R10] IF jumlah kendaraan jalur diatur Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Normal THEN durasi lampu hijau Agak Lama,

$$\alpha\text{-predikat10} = \min(\mu\text{Padat}(JKD); \mu\text{Normal}(JKS))$$

$$= \min(0; 0,13) = 0$$

$$\mu\text{Agak Lama}(DL) = 0$$

[R11] IF jumlah kendaraan jalur diatur Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Padat
THEN durasi lampu hijau Sedang,

$$\alpha\text{-predikat11} = \min(\mu\text{Padat}(JKD); \mu\text{Padat}(JKS))$$

$$= \min(0; 0,86) = 0$$

$$\mu\text{Sedang}(DL) = 0$$

[R12] IF jumlah kendaraan jalur diatur Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya
Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Sedang,

$$\alpha\text{-predikat12} = \min(\mu\text{Padat}(JKD); \mu\text{Sangat Padat}(JKS))$$

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

$$\mu\text{Sedang}(DL) = 0$$

[R13] IF jumlah kendaraan jalur diatur Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur
selanjutnya Tidak Padat THEN durasi lampu hijau Lama,

$$\alpha\text{-predikat13} = \min(\mu\text{Sangat Padat}(JKD); \mu\text{Tidak Padat}(JKS))$$

$$= \min(0,53; 0) = 0$$

$$\mu\text{Lama}(DL) = 0$$

[R14] IF jumlah kendaraan jalur diatur Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur
selanjutnya Normal THEN durasi lampu hijau Agak Lama,

$$\alpha\text{-predikat14} = \min(\mu\text{Sangat Padat}(JKD); \mu\text{Normal}(JKS))$$

$$= \min(0,53; 0,13) = 0$$

$$\mu\text{Agak Lama}(DL) = 0,13$$

[R15] IF jumlah kendaraan jalur diatur Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Padat THEN durasi lampu hijau Agak Lama,

$$\alpha\text{-predikat15} = \min(\mu_{\text{Sangat Padat}}(\text{JKD}); \mu_{\text{Padat}}(\text{JKS}))$$

$$= \min(0,53; 0,86) = 0$$

$$\mu_{\text{Agak Lama}}(\text{DL}) = 0,53$$

[R16] IF jumlah kendaraan jalur diatur Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Sedang.

$$\alpha\text{-predikat16} = \min(\mu_{\text{Sangat Padat}}(\text{JKD}); \mu_{\text{Sangat Padat}}(\text{JKS}))$$

$$= \min(0,53; 0) = 0$$

$$\mu_{\text{Sedang}}(\text{DL}) = 0$$

Hasil α -predikat dari tiap kaidah untuk semua jalur dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.10 α -predikat dari tiap kaidah

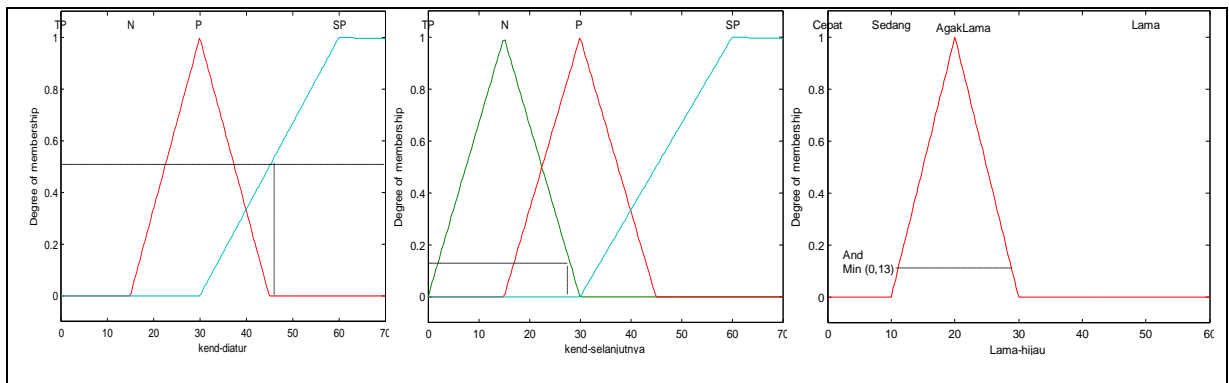
Input	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	α_9	α_{10}	α_{11}	α_{12}	α_{13}	α_{14}	α_{15}	α_{16}
Jalur I&II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0,53	0
Jalur II&III	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0	0	0	0,86	0	0	0	0
Jalur III&IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,66	0,33	0
Jalur IV&I	0	0	0	0	0	0	0	0,53	0	0	0	0,33	0	0	0	0

c. Komposisi aturan

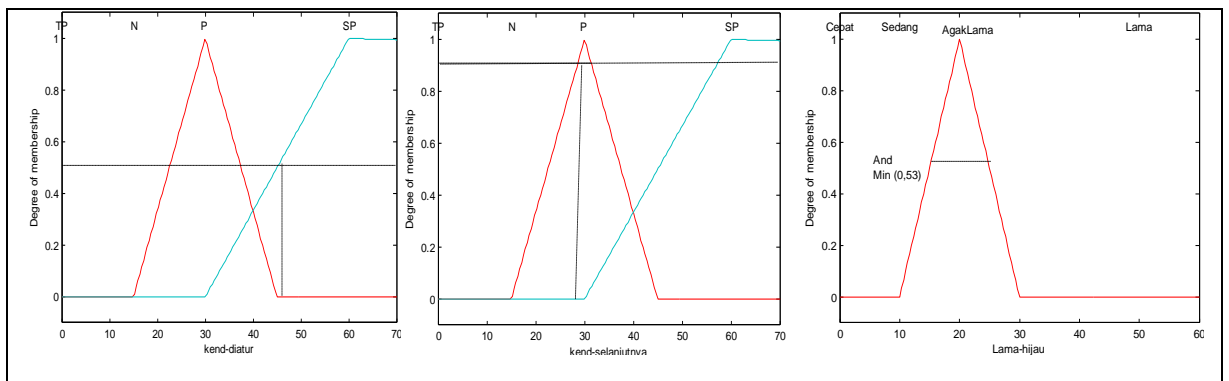
Setelah dilakukan perhitungan aplikasi fungsi implikasi dari setiap aturan, selanjutnya digunakan fungsi MAX untuk melakukan komposisi antara semua aturan, hasilnya seperti pada gambar (4.7).

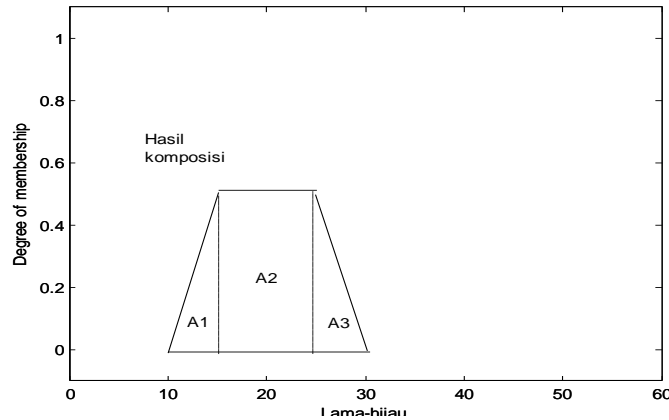
1) Komposisi untuk jalur I (JKD) dan jalur II (JKS)

Untuk rule [R14] IF jumlah kendaraan jalur diatur = 46 Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya = 28 Normal THEN durasi lampu hijau Agak Lama dengan nilai min 0,13. Hasil komposisinya dapat dilihat di bawah ini:



Untuk rule [R15] IF jumlah kendaraan jalur diatur = 46 Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya = 28 Padat THEN durasi lampu hijau Agak Lama dengan nilai min 0,13. Hasil komposisinya dapat dilihat di bawah ini:





Gambar 4.7 Hasil komposisi aturan jalur I dan II

Dengan demikian fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi aturan (seperti gambar 4.7) dapat dinyatakan menggunakan persamaan (4.1).

$$\mu_{AL} = \begin{cases} 0 & DL < 10 \text{ atau } DL \geq 30 \\ (DL - 15)/10 & 10 \leq DL \leq 15,3 \\ 0,53 & 15,3 \leq DL \leq 24,7 \\ (30 - DL)/10 & 24,7 < DL < 30 \end{cases} \quad (4.1)$$

Perhitungan hasil *defuzzifikasi* dilakukan dengan menggunakan metode centroid, yaitu dengan menggunakan persamaan (2.11) dan fungsi keanggotaanya menggunakan persamaan (4.1).

Menghitung moment

$$M1 = \int_{10}^{15,3} \left[\frac{z-10}{10} \right] z \, dz$$

$$= \int_{10}^{15,3} (0,1z^2 - 1z) \, dz = (0,033z^3 - 0,5z^2) \Big|_{10}^{15,3}$$

$$= 19,007$$

$$M2 = \int_{15,3}^{24,7} (0,53)z \, dz$$

$$= 99,64$$

$$M3 = \int_{24,7}^{30} \left[\frac{30-z}{10} \right] z \, dz$$

$$= \int_{24,7}^{30} (-0,1z^2 + 3z) dz = (0,033z^3 + 1,5z^2) \Big|_{24,7}^{30} = 37,17$$

Menghitung Luas

$$A1 = \frac{(15,3-10) \times 0,53}{2} = 1,40$$

$$A2 = (24,7 - 14,3) \times 0,53 = 4,98$$

$$A3 = \frac{(30-24,7) \times 0,53}{2} = 1,40$$

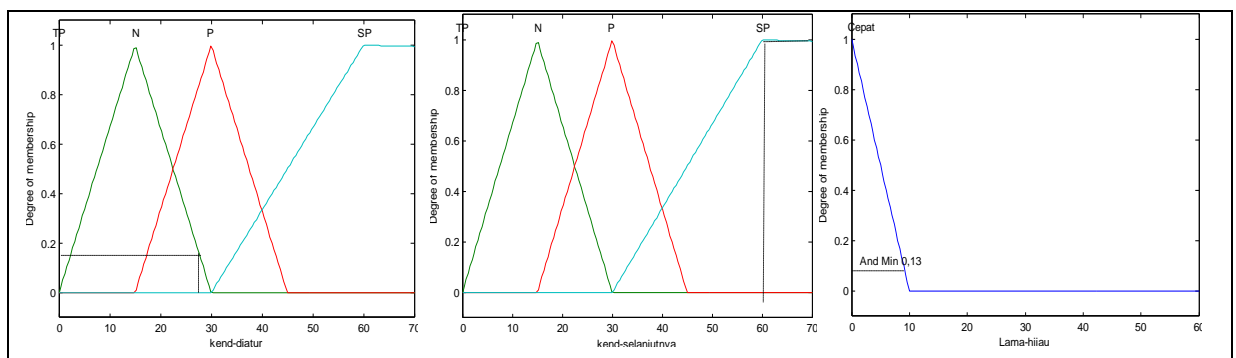
Menghitung titik pusat pada z

$$z = \frac{19,007+99,64+37,17}{1,40+4,98+1,40} = \frac{155,82}{14,42} = 20,02$$

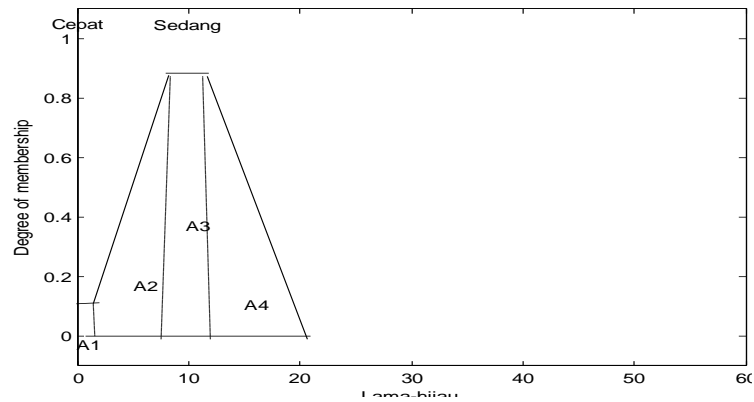
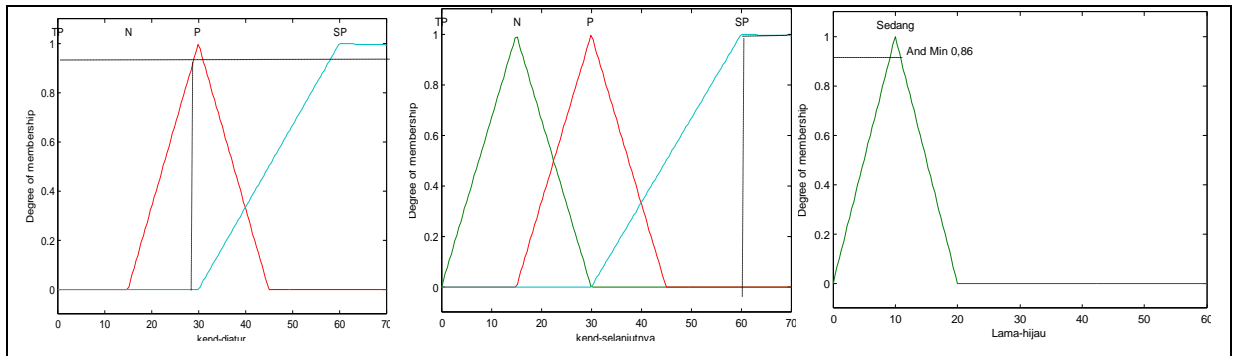
Jadi keluaran waktu hijau untuk lengan Timur adalah 20,02 detik. Terdapat selisih waktu 0,2 detik dengan hasil waktu sinyal metode *fuzzy* karena tingkat ketelitiannya berbeda.

2) Komposisi untuk jalur II (JKD) dan jalur III (JKS)

Untuk rule [R8] IF jumlah kendaraan jalur diatur = 28 Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya = 60 Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Cepat, dengan nilai min 0,13. Hasil komposisinya dapat dilihat di bawah ini:



Untuk Rule [R12] IF jumlah kendaraan jalur diatur = 28 Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya = 60 Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Sedang, dengan nilai min 0,86. Hasil komposisinya dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 4.8 Hasil komposisi aturan jalur II dan III

Dengan demikian fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi aturan (seperti gambar 4.8) dapat dinyatakan menggunakan persamaan (4.2).

$$\mu_{C \text{ dan } S} = \begin{cases} 0,13 & DL \leq 1,3 \\ (DL - 0)/10 & 1,3 \leq DL \leq 8,6 \\ 0,86 & 8,6 \leq DL \leq 11,4 \\ (20 - DL)/10 & 11,4 < DL < 20 \end{cases} \quad (4.2)$$

Perhitungan hasil *defuzzifikasi* dilakukan dengan menggunakan metode centroid, yaitu dengan menggunakan persamaan (2.11) dan fungsi keanggotaanya menggunakan persamaan (4.2).

Menghitung moment

$$\begin{aligned} M1 &= \int_0^{1,3} (0,13)z \, dz \\ &= 0,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= \int_{1,3}^{8,6} \left[\frac{z-0}{10} \right] z \, dz \\ &= \int_{1,3}^{8,6} (0,1z^2) dz = (0,033z^3)_{1,3}^{8,6} \\ &= 21,12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M3 &= \int_{8,6}^{11,4} (0,86)z \, dz \\ &= 24,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M4 &= \int_{11,4}^{20} \left[\frac{20-z}{10} \right] z \, dz \\ &= \int_{11,4}^{20} (-0,1z^2 + 2z) dz = (0,033z^3 + 1z^2)_{11,4}^{20} \\ &= 52,7 \end{aligned}$$

Menghitung Luas

$$A1 = 8,6 \times 0,13 = 1,1$$

$$A2 = (0,13 + 0,86) \times \frac{(8,6-0)}{2} = 4,2$$

$$A3 = (11,4 - 8,6) \times 0,86 = 2,4$$

$$A4 = \frac{(20-11,4) \times 0,86}{2} = 3,4$$

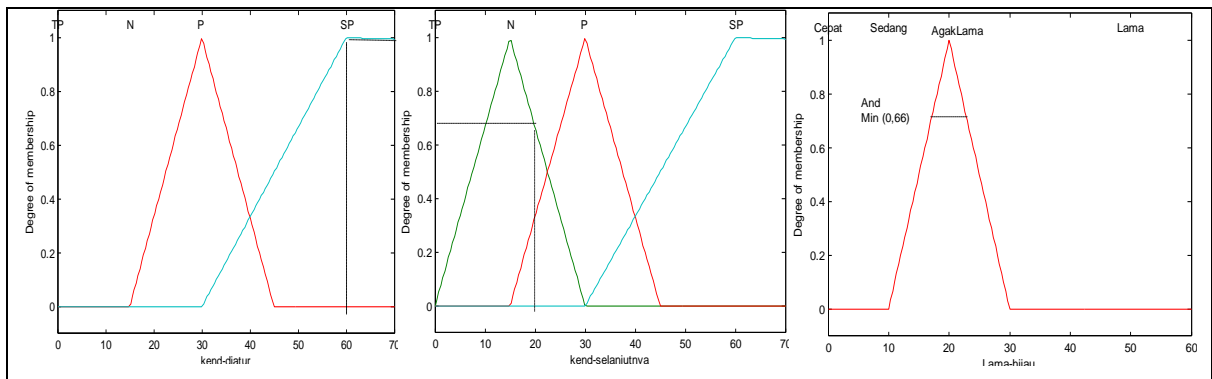
Menghitung titik pusat pada z

$$z = \frac{0,1+21,12+24,08+52,7}{1,1+4,2+2,4+3,4} = \frac{98,05}{11,1} = 8,83$$

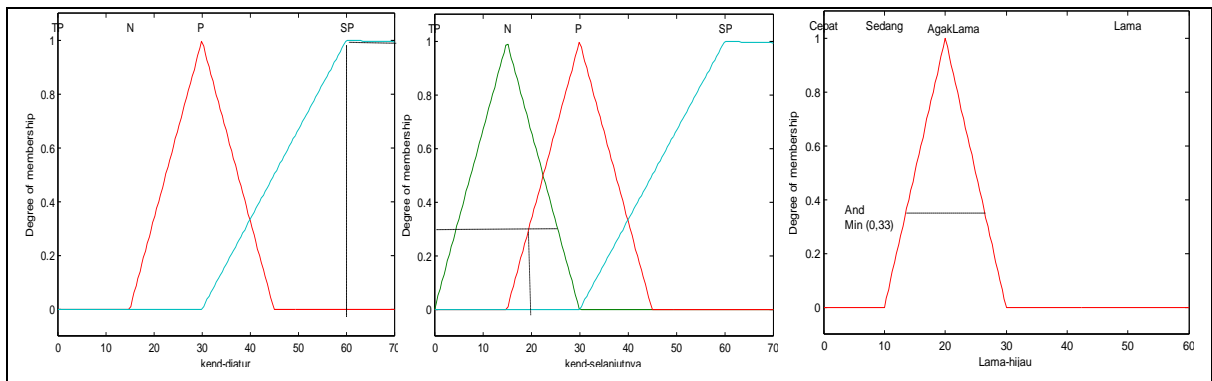
Jadi keluaran waktu hijau untuk lengan Timur adalah 8,83 detik. Terdapat selisih waktu 1,0 detik dengan hasil waktu sinyal metode *fuzzy* karena tingkat ketelitiannya berbeda.

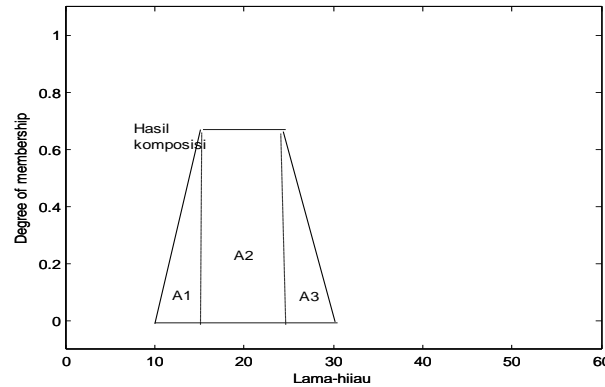
3) Komposisi untuk jalur III (JKD) dan jalur IV (JKS)

Untuk rule [R14] IF jumlah kendaraan jalur diatur = 60 Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya = 20 Normal THEN durasi lampu hijau Agak Lama dengan nilai min 0,66. Hasil komposisinya dapat dilihat di bawah ini:



Untuk rule [R15] IF jumlah kendaraan jalur diatur = 60 Sangat Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya = 20 Padat THEN durasi lampu hijau Agak Lama dengan nilai min 0,33. Hasil komposisinya dapat dilihat di bawah ini:





Gambar 4.9 Hasil komposisi aturan jalur III dan IV

Dengan demikian fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi aturan (seperti gambar 4.9) dapat dinyatakan menggunakan persamaan (4.3).

$$\mu_{AL} = \begin{cases} 0 & DL < 10 \text{ atau } DL \geq 30 \\ (DL - 10)/10 & 10 \leq DL \leq 16,6 \\ 0,66 & 16,6 \leq DL \leq 23,4 \\ (30 - DL)/10 & 23,4 < DL < 30 \end{cases} \quad (4.3)$$

Perhitungan hasil *defuzzifikasi* dilakukan dengan menggunakan metode *centroid*, yaitu dengan menggunakan persamaan (2.11) dan fungsi keanggotaanya menggunakan persamaan (4.3).

Menghitung moment

$$M1 = \int_{10}^{16,6} \left[\frac{z-10}{10} \right] z \, dz$$

$$= \int_{10}^{16,6} (0,1z^2 - 1z) \, dz = (0,033z^3 - 0,5z^2) \Big|_{10}^{16,6}$$

$$= 31,36$$

$$M2 = \int_{16,6}^{23,4} (0,66)z \, dz$$

$$= 89,76$$

$$M3 = \int_{23,4}^{30} \left[\frac{30-z}{10} \right] z \, dz$$

$$= \int_{23,4}^{30} (-0,1z^2 + 3z) \, dz = (0,033z^3 + 1,5z^2) \Big|_{23,4}^{30}$$

$$= 55,75$$

Menghitung Luas

$$A1 = \frac{(16,6-10) \times 0,66}{2} = 2,17$$

$$A2 = (23,4 - 16,6) \times 0,66 = 4,48$$

$$A3 = \frac{(30-23,4) \times 0,66}{2} = 2,17$$

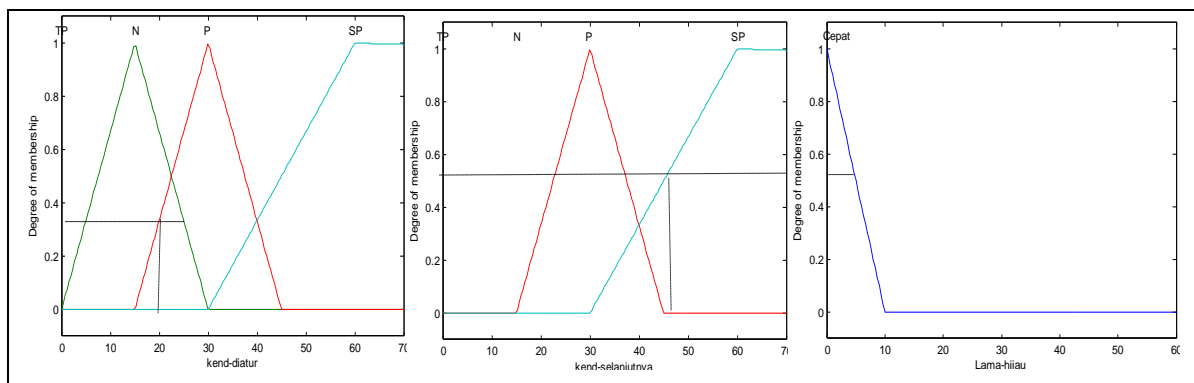
Menghitung titik pusat pada z

$$z = \frac{31,36 + 89,76 + 55,75}{2,17 + 4,48 + 2,17} = \frac{176,88}{8,8} = 20,05$$

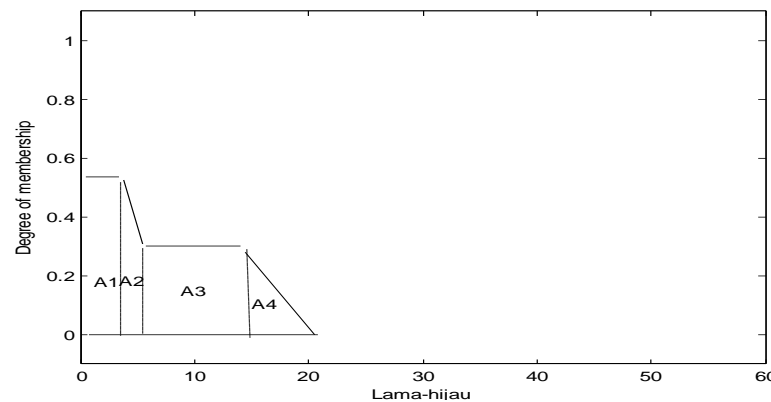
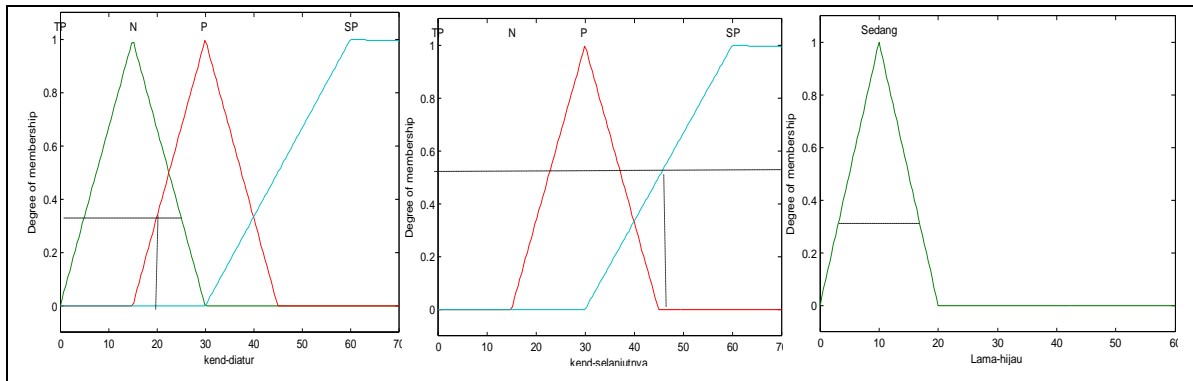
Jadi keluaran waktu hijau untuk lengan Timur adalah 20,05 detik. Terdapat selisih waktu 0,5 detik dengan hasil waktu sinyal metode *fuzzy* karena tingkat ketelitiannya berbeda.

4). Komposisi untuk jalur IV (JKD) dan jalur I (JKS)

Untuk rule [R8] IF jumlah kendaraan jalur diatur = 20 Normal AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya = 46 Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Cepat, dengan nilai min 0,53. Hasil komposisinya dapat dilihat di bawah ini:



Untuk Rule [R12] IF jumlah kendaraan jalur diatur = 20 Padat AND jumlah kendaraan jalur selanjutnya = 46 Sangat Padat THEN durasi lampu hijau Sedang, dengan nilai min 0,33. Hasil komposisinya dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 4.10 Hasil komposisi aturan jalur IV dan I

Dengan demikian fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi aturan (seperti gambar 4.10) dapat dinyatakan menggunakan persamaan (4.4).

$$\mu_{C \text{ dan } S} = \begin{cases} 0,53 & DL \leq 4,7 \\ (DL - 0)/10 & 4,7 \leq DL \leq 5,3 \\ 0,33 & 5,3 \leq DL \leq 16,7 \\ (20 - DL)/10 & 16,7 < DL < 20 \end{cases} \quad (4.4)$$

Perhitungan hasil *defuzzifikasi* dilakukan dengan menggunakan metode centroid, yaitu dengan menggunakan persamaan (2.11) dan fungsi keanggotaanya menggunakan persamaan (4.4).

Menghitung moment

$$\begin{aligned} M1 &= \int_0^{4,7} (0,53)z \, dz \\ &= 5,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= \int_{4,7}^{5,3} \left[\frac{z-0}{10} \right] z \, dz \\ &= \int_{4,7}^{5,3} (0,1z^2) \, dz = (0,033z^3)_{4,7}^{5,3} \\ &= 1,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M3 &= \int_{5,3}^{16,7} (0,33)z \, dz \\ &= 41,38 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M4 &= \int_{16,7}^{20} \left[\frac{20-z}{10} \right] z \, dz \\ &= \int_{16,7}^{20} (-0,1z^2 + 2z) \, dz = (0,033z^3 + 1z^2)_{16,7}^{20} \\ &= 9,69 \end{aligned}$$

Menghitung Luas

$$A1 = 4,7 \times 0,53 = 2,49$$

$$A2 = (0,53 + 0,33) \times \frac{(5,3-4,7)}{2} = 0,25$$

$$A3 = (16,7 - 5,3) \times 0,33 = 3,76$$

$$A4 = \frac{(20-16,7) \times 0,33}{2} = 0,5$$

Menghitung titik pusat pada z

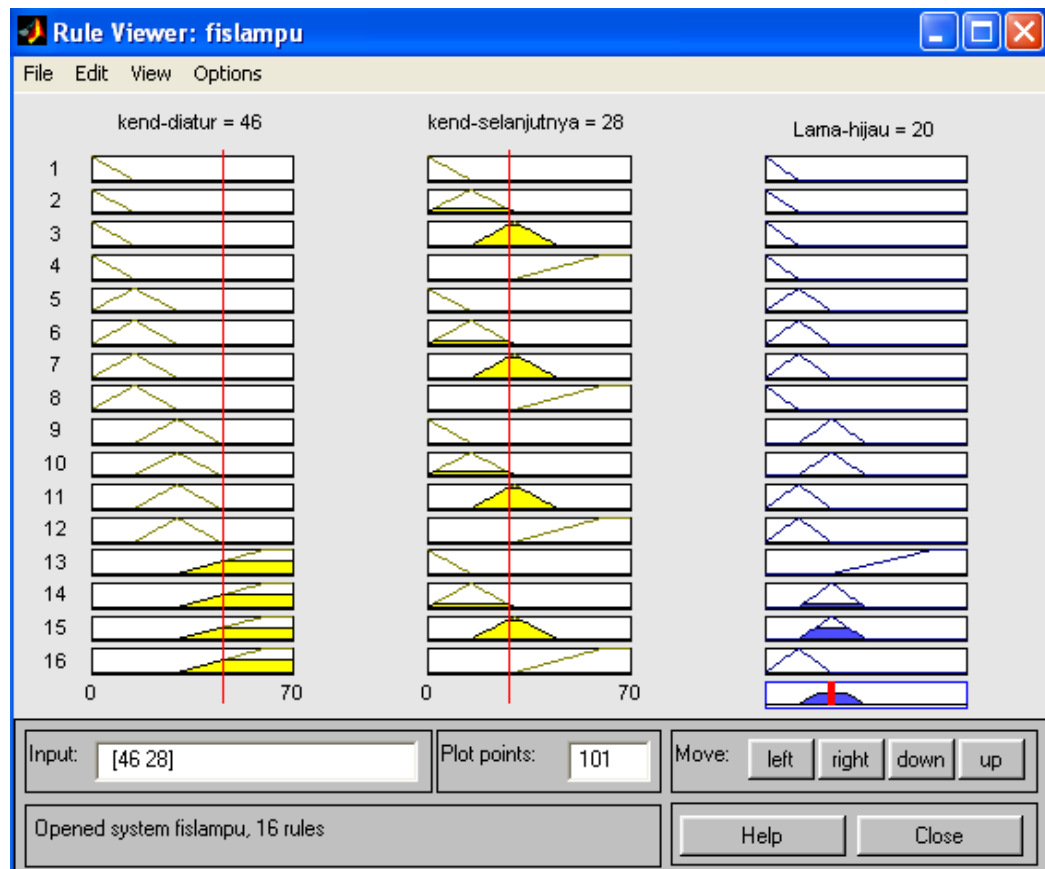
$$z = \frac{5,85+1,5 +41,38+9,69}{2,49 +0,25+3,76+0,5} = \frac{58,42}{7} = 8,34$$

Jadi keluaran waktu hijau untuk lengan Timur adalah 8,34 detik. Terdapat selisih waktu 0,32 detik dengan hasil waktu sinyal metode *fuzzy* karena tingkat ketelitiannya berbeda.

4.5.2 Perhitungan Durasi Lama Nyala Lampu Hijau dengan Logika Fuzzy

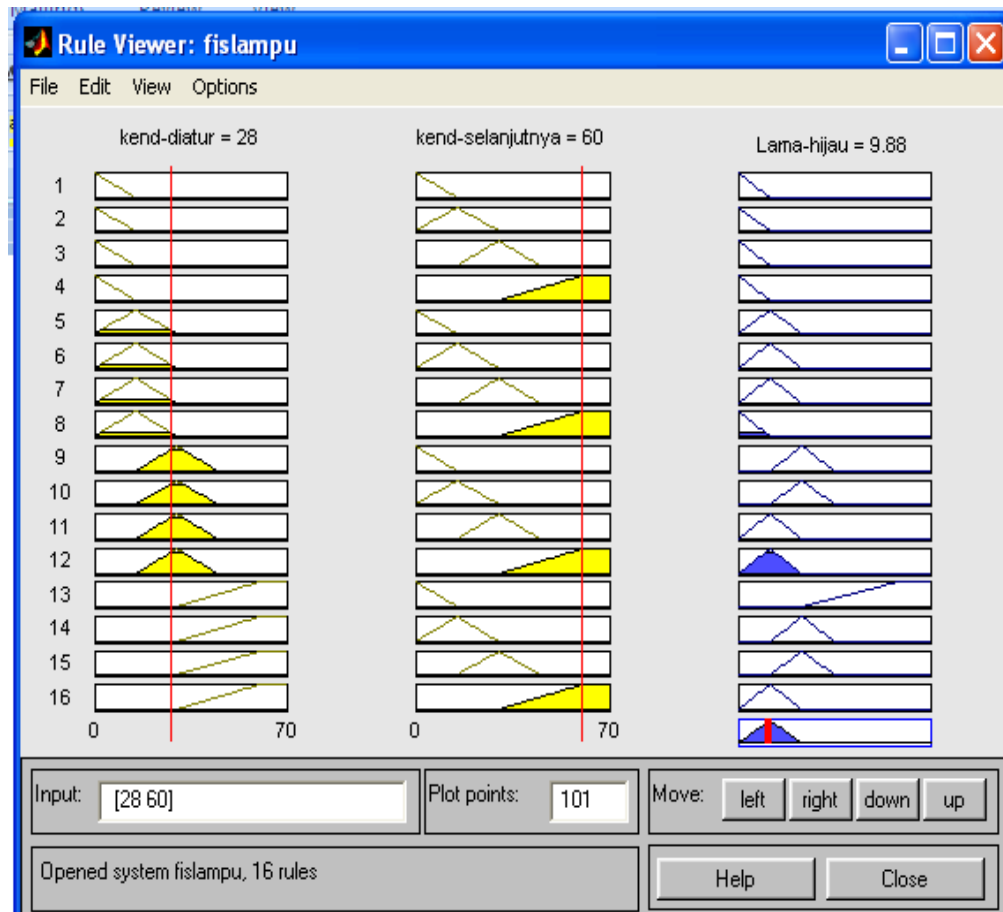
Berikut adalah hasil perhitungan lama nyala lampu hijau dengan menggunakan metode fuzzy. Rule Viewer digunakan untuk mengedit maupun untuk menampilkan aturan dari pengaturan lampu lalu lintas yang akan dibuat maupun yang telah dibuat. Data perancangan pengaturan lampu lalu lintas terdapat 16 aturan fuzzy yang diinputkan ke dalam rule editor.

- a. Input1: JKD= 46 kendaraan
- Input2: JKS= 28 kendaraan
- Output1: DL= 20 detik



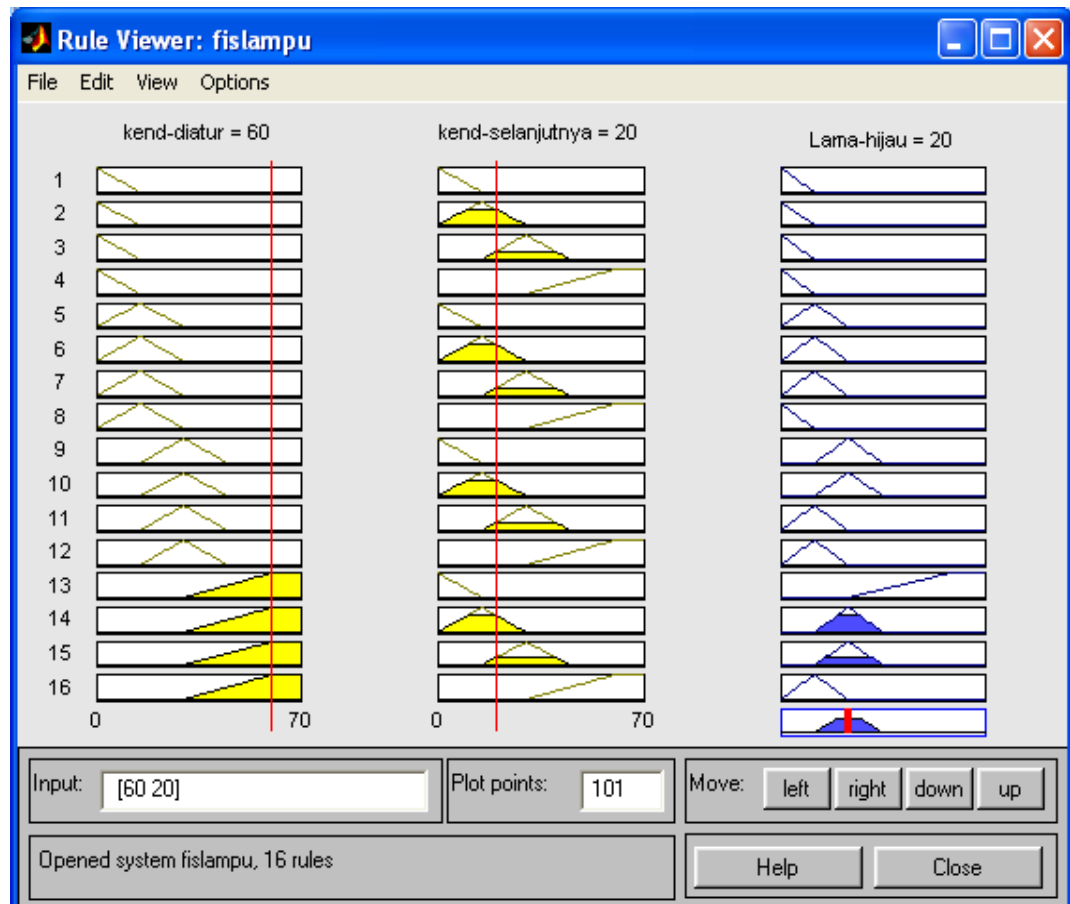
Gambar 4.11 Hasil implementasi view rules 1

- b. Input1: JKD= 28 kendaraan
 Input2: JKS= 60 kendaraan
 Output1: DL= 9,88 detik



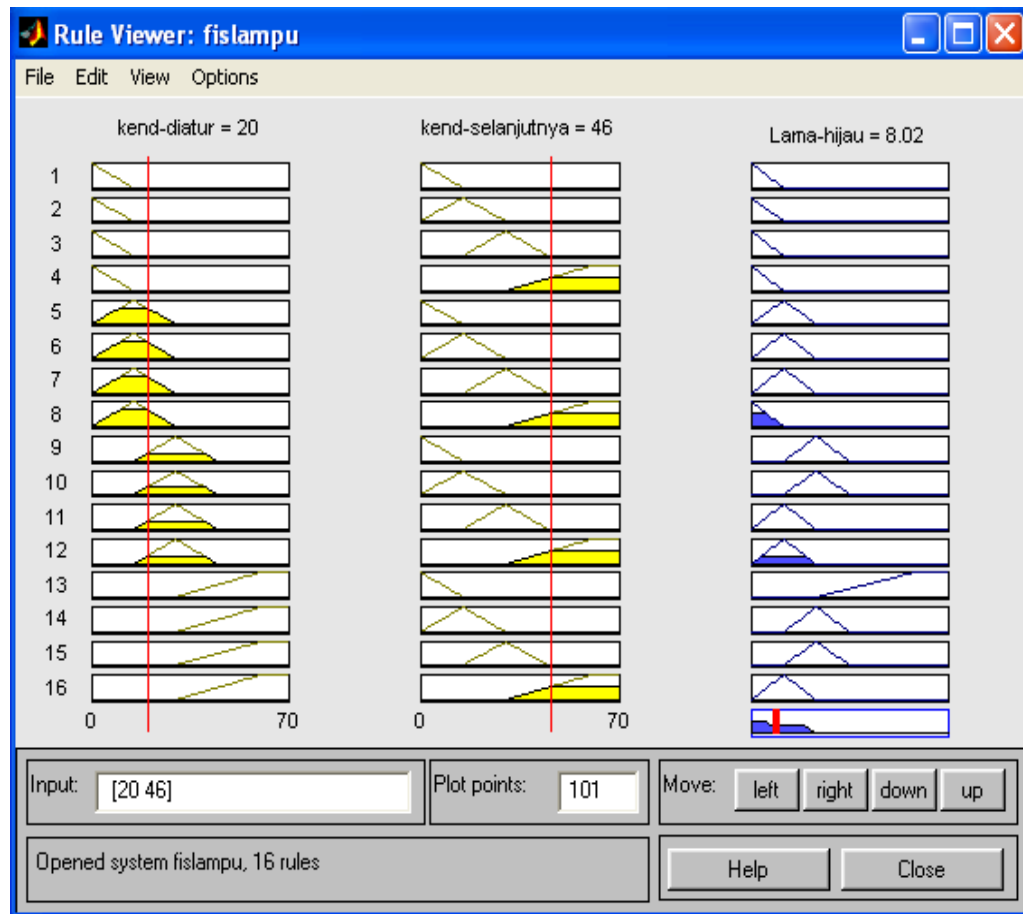
Gambar 4.12 Hasil implementasi *view rules 2*

- c. Input1: JKD= 60 kendaraan
 Input2: JKS= 20 kendaraan
 Output1: DL= 20 detik



Gambar 4.13 Hasil implementasi *view rules 3*

- d. Input1: JKD= 20 kendaraan
 Input2: JKS= 46 kendaraan
 Output1: DL= 8,02 detik



Gambar 4.14 Hasil implementasi *view rules 4*

Empat gambar tersebut diatas dapat dianalisa bahwa variabel lampu akan berubah sesuai dengan jumlah kendaraan yang diatur dan jumlah kendaraan selanjutnya. Jika makin besar variabel JKD maka makin banyak pula durasi lampu dan makin banyak JKS maka durasi lampu hijau makin kecil. Ini membuktikan bahwa lama lampu hijau sesuai dengan jalur yang diatur.

Berikut tabel perbandingan perolehan waktu hijau untuk lengan lain dengan menggunakan cara perhitungan metode *fuzzy* secara manual dan cara matlab *toolbox*. Ditunjukkan pada table 4.11

Tabel 4.11 Perbandingan Perhitungan Manual dan perhitungan matlab *toolbox*

Tipe Pendekat	Input Kendaraan		Manual	matlab <i>toolbox</i>	Hasil
	I	II			
Utara	20	46	8,34	8,02	Cepat
Selatan	28	60	8,83	9,88	Cepat
Timur	46	28	20,02	20	Agak Lama
Barat	60	20	20,05	20	Agak Lama

4.5.3 Perhitungan Kinerja Lengan Simping Berdasarkan Nilai Waktu Hijau yang Diperoleh Dari Perhitungan *Fuzzy*.

Setelah diperoleh nilai waktu hijau dari lengan simping dengan menggunakan metode *fuzzy*, maka tahap selanjutnya adalah menentukan kinerja lengan simping berdasarkan perolehan waktu hijau tersebut. Perhitungan menggunakan rumus MKJI. Perhitungan masing-masing lengan simping adalah sebagai berikut:

- Hasil perhitungan waktu hijau dengan menggunakan metode *fuzzy*

Tabel 4.12 Nilai waktu hijau dengan metode *fuzzy*

Pendekat	Waktu hijau (detik)
Utara	8
Selatan	10
Timur	20
Barat	20
Total waktu hijau	58

b. Hasil Perhitungan Kapasitas, Derajat Kejenuhan dan Jumlah Antrian

Tabel 4.13 Perhitungan Kapasitas, Derajat Kejenuhan dan Jumlah Antrian

Arah	Arus lalu lintas (Q)	Kapasitas (C)	Derajat Kejenuhan	NQ ₁	NQ ₂	NQ
Utara	306	531	0,576	0,2	2,3	2,5
Selatan	453	569	0,796	1,4	3,6	5,0
Timur	1031	2547	0,405	-0,2	4,1	4,1
Barat	1297	2547	0,509	0,0	5,9	5,9

c. Perhitungan Panjang Antrian dan Tundaan

Tabel 4.14 Perhitungan Kapasitas, Derajat Kejenuhan dan Jumlah Antrian

Arah	Arus lalu lintas (Q)	NQ _{max}	Wmasuk	QL	DT	DG	DT+DG	Dtot= DxQ
Utara	306	3,53	3,5	20,20	11,24	4,00	15,24	4665
Selatan	453	10,90	3	40,28	18,54	3,81	22,35	10126
Timur	1031	7,63	7	18,04	2,42	3,03	5,45	5615
Barat	1297	11,62	7	25,32	2,93	3,16	6,10	7907
$\sum Q$	3276						$\sum D_{tot}$	28313

Maka, tundaan simpang rata-rata dengan menggunakan metode *fuzzy* adalah dengan menggunakan persamaan 2.10

$$\begin{aligned}
 D_I &= \frac{\sum Q \times D}{Q_{TOT}} \\
 &= \frac{\sum 28313}{3276} \\
 &= 8,64
 \end{aligned}$$

4.6 Perbandingan kinerja Simpang Berdasarkan Perbedaan Perolehan Waktu Traffic Light Antara Logika *Fuzzy* Dan MKJI 1997

Kinerja suatu persimpangan dapat ditinjau dari beberapa parameter antara lain perilaku lalu lintas meliputi jumlah antrian, kendaraan terhenti, dan besarnya tundaan. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, berikut akan dibandingkan kinerja simpang dengan metode *fuzzy* dan MKJI berdasarkan perolehan waktu *traffic light* yang diperoleh. Perbandingan dibuat dengan kesamaan kondisi geometrik simpang dan arus lalu lintas yang ada. Perbedaan dari metode *Fuzzy* dan MKJI untuk study kasus ini adalah bahwa untuk mengerjakan metode *fuzzy* harus menghitung Jumlah kendaraan dengan MKJI terlebih dahulu. Perbandingan kedua metode ini dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Perbandingan kinerja simpang metode *fuzzy* dan MKJI

No	Perbandingan	Logika <i>Fuzzy</i>				Metode MKJI			
		Utara	Selatan	Timur	Barat	Utara	Selatan	Timur	Barat
1	Arus Lalu lintas	306	453	1031	1297	306	453	1031	1297
2	Waktu Hijau	8	10	20	20	8	8	14	14
3	Kapasitas Simpang	531	455	1783	1783	531	569	2547	2547
4	Panjang antrian	20,20	72,69	21,80	33,19	20,20	72,72	28,50	40,28
5	Tundaan simpang	8,64				22,32			

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa perhitungan untuk memperoleh waktu sinyal *traffic light* dapat dilakukan dengan memanfaatkan *Fuzzy Logic Toolbox* yang terdapat pada program komputer Matlab, dan kinerja yang dihasilkan dengan menggunakan teori logika *fuzzy* lebih kecil tundaannya dibandingkan dengan tundaan yang dihasilkan metode MKJI. Tundaan Simpang dengan MKJI adalah 22,32 detik sedangkan dengan metode *fuzzy* 8,64 detik.

5.2 Saran

Pengaturan simpang menggunakan teori logika *fuzzy* dapat dihasilkan kinerja yang menghasilkan tundaan lebih kecil, sehingga mengurangi panjang antrian untuk tiap lengan simpang. Kajian dan penelitian terkait metode ini seharusnya dilakukan, sehingga pemecahan masalah lalu lintas dan transportasi dapat diterapkan di lapangan.

Beberapa kajian yang sebaiknya dilakukan adalah mengenai:

1. Antecedent yang digunakan sebagai input waktu sinyal metode *fuzzy*,
2. Fungsi Keanggotaan, sehingga dapat diketahui fungsi keanggotaan yang jauh lebih baik untuk digunakan dalam waktu sinyal metode *fuzzy*,
3. Batasan-batasan yang terkait dengan pengaturan simpang sebagai masukan fungsi keanggotaan dalam waktu sinyal metode *fuzzy*.

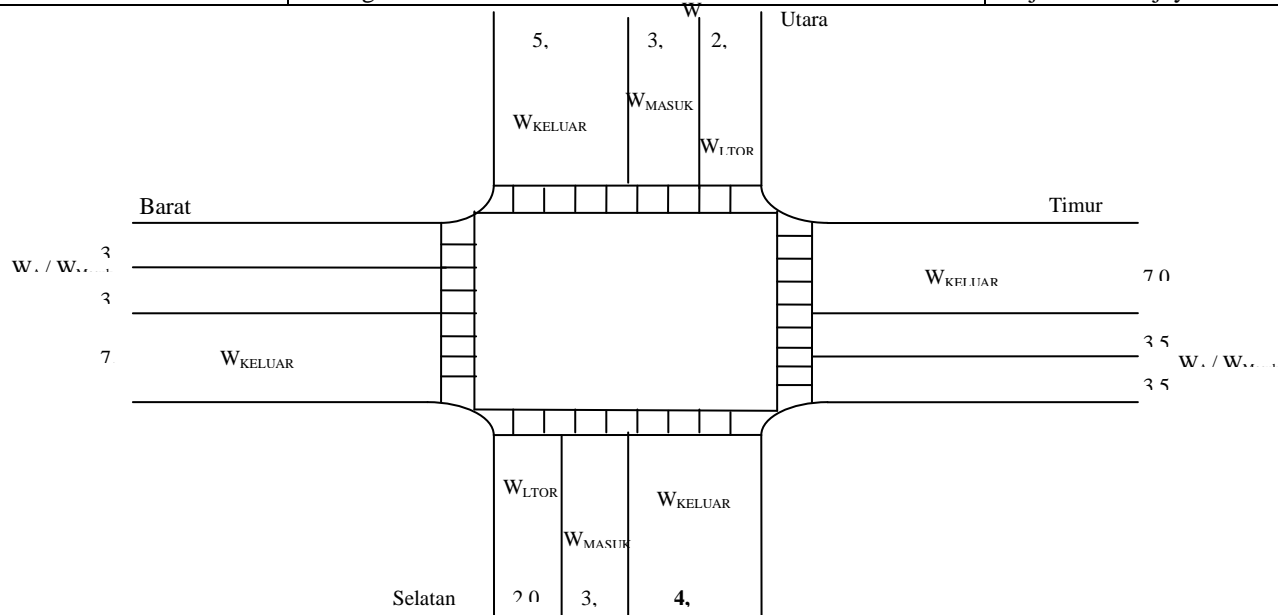
Tiga hal diatas sangat penting dikaji secara kontinu karena dalam pengaplikasiannya teori logika *fuzzy* membutuhkan operator yang dapat menetapkan aturan-aturan yang kualitatif dalam bentuk kalimat-kalimat *fuzzy*

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga. 1997, *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI)*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.
- Badan Pusat Statistika Kabupaten Jember. [Http://Jemberkab.bps.go.id](http://Jemberkab.bps.go.id)
[1 Desember 2012]
- Kusumadewi, Sri. 2002. *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusumadewi, Sri dan Purnomo . 2004. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Oglesby, Clarkson H. 1993. *Teknik Jalan Raya*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- Permana, Alex. 2008. *Analisis Simpang Bersinyal Menggunakan Logika Fuzzy*. Program Studi Sarjana Teknik Sipil. Institut Teknologi Bandung.
- Setiadji. 2009. *Himpunan dan Logika Samar serta Aplikasinya. Edisi pertama*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Suryani, Ermy. 2008. *Penerapan Logika Fuzzy pada Lampu Lalu Lintas Untuk Mengurangi Kemacetan*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Malang.
- Zadeh. 1995. *Artificial Intelligence Fuzzy Logic Matlab*. Berkeley CA.

LAMPIRAN A. Perhitungan Manual Kapasitas Jalan Indonesia

Simpang Bersinyal Formulir SIG-I : -Geometri -Pengaturan lalu lintas -Lingkungan	Tanggal : 17 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Ditangani Oleh : Lulus Novita	Keterangan jalan: U jalan Otista S jalan Udang Windu T jalan Hayam Wuruk B jalan Brawijaya
----------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------



W Kondisi Lapangan

Kode pendekat	Tipe lingkungan	Hambatan samping Tinggi/rendah	Median Ya/Tidak	Belok kiri langsung Ya/Tidak	Jarak ke kendaraan parkir	Lebar pendekat (m)			
						Pendekat W_A	Masuk W_{masuk}	Belok kiri langsung W_{LTOR}	Keluar W_{keluar}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
U	RES	R		Y		6,0	3,5	2,5	5,0
S	RES	R		Y		5,0	3,0	2,0	4,5
T	COM	R		T		7,0	7,0		7,0
B	COM	R		T		7,0	7,0		7,0

Formulir SIG-II

Simpang Bersinyal Formulir SIG-II : Arus lalu lintas					Tanggal : 17 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Jam 12.00 – 13.00						Ditangani Oleh : Lulus Novita						
Kode pen dekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor															
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor			Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		Emp terlindung=1.0 Emp terlawan=1.0			Emp terlindung=1.3 Emp terlawan=1.3			Emp terlindung=0,2 Emp terlawan=0,4			Total MV			PLT	PRT	Kend/ jam	
		Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	PLT	PRT	Kend/ jam	
U	LTOR	21	21	21	6	8	8	120	24	48	147	53	77	0,17	0,61	3	0,009
	ST	28	28	28	4	5	5	156	31	62	188	64	96			3	
	RT	99	99	99	3	4	4	430	86	172	532	189	275			2	
	Total	148	148	148	13	17	17	706	141	282	867	306	447			8	
S	LTOR	70	70	70	18	23	23	212	42	85	300	136	178	0,28	0,62	5	0,013
	ST	30	30	30	8	10	10	80	16	32	118	56	72			2	
	RT	120	120	120	28	36	36	520	104	208	668	260	364			7	
	Total	220	220	220	54	70	70	812	162	325	1086	453	615			14	
B	LTOR	210	210	210	9	12	12	297	59	119	516	281	341	0,25	0,14	8	0,011
	ST	400	400	400	17	22	22	845	169	338	1262	591	760			4	
	RT	111	111	111	11	14	14	165	33	66	287	158	191			10	
	Total	721	721	721	37	48	48	1307	261	523	2065	1031	1292			22	
T	LTOR	116	116	116	4	5	5	187	37	75	307	159	196	0,12	0,28	6	0,012
	ST	549	549	549	12	16	16	988	198	395	1549	762	960			11	
	RT	255	255	255	27	35	35	432	86	173	714	377	463			13	
	Total	920	920	920	43	56	56	1607	321	643	2570	1297	1619			30	

Simpang Bersinyal Formulir SIG-II : Arus lalu lintas	Tanggal : 17 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Jam 16.00 – 17.00	Ditangani Oleh : Lulus Novita
------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

Kode pen dekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor																
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor			Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV	
		Emp terlindung=1.0 Emp terlawan=1.0			Emp terlindung=1.3 Emp terlawan=1.3			Emp terlindung=0,2 Emp terlawan=0,4			Total MV			PLT	PRT	Kend/ jam		
		Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	PLT	PRT	Kend/ jam		
U	LTOR	19	19	19	7	9	9	120	24	48	146	52	76	0,17	0,62	3	0,008	
	ST	32	32	32	3	4	4	148	30	59	183	66	95					1
	RT	100	100	100	1	1	1	433	87	173	534	188	275					3
	Total	151	151	151	11	14	14	701	140	280	863	306	446					7
S	LTOR	72	72	72	18	23	23	198	40	79	288	135	175	0,27	0,59	3	0,011	
	ST	51	51	51	5	7	7	90	18	36	146	76	94					3
	RT	89	89	89	28	36	36	509	102	204	626	227	329					6
	Total	212	212	212	51	66	66	797	159	319	1060	438	597					12
B	LTOR	199	199	199	9	12	12	301	60	120	509	271	331	0,25	0,17	8	0,010	
	ST	371	371	371	16	21	21	822	164	329	1209	556	721					4
	RT	142	142	142	11	14	14	189	38	76	342	194	232					8
	Total	712	712	712	36	47	47	1312	262	525	2060	1021	1284					20
T	LTOR	125	125	125	8	10	10	188	38	75	321	173	211	0,13	0,27	8	0,011	
	ST	550	550	550	12	16	16	979	196	392	1541	761	957					9
	RT	231	231	231	21	27	27	450	90	180	702	348	438					12
	Total	906	906	906	41	53	53	1617	323	647	2564	1283	1606					29

Simpang Bersinyal Formulir SIG-II : Arus lalu lintas	Tanggal : 17 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Jam 06.30 – 07.30	Ditangani Oleh : Lulus Novita
------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

Kode pen dekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor															
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor			Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		Emp terlindung=1.0 Emp terlawan=1.0			Emp terlindung=1.3 Emp terlawan=1.3			Emp terlindung=0,2 Emp terlawan=0,4			Total MV			PLT	PRT	Kend/ jam	
		Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	PLT	PRT	Kend/ jam	
U	LTOR	27	27	27	4	5	5	117	23	47	148	56	79	0,17		1	
	ST	18	18	18	5	7	7	145	29	58	168	54	83		0,63	2	
	RT	102	102	102	2	3	3	435	87	174	539	192	279			4	
	Total	147	147	147	11	14	14	697	139	279	855	301	440			7	0,008
S	LTOR	66	66	66	19	25	25	201	40	80	286	131	171	0,27		3	
	ST	28	28	28	6	8	8	85	17	34	119	53	70		0,61	3	
	RT	98	98	98	25	33	33	517	103	207	640	234	337			4	
	Total	192	192	192	50	65	65	803	161	321	1045	418	578			10	0,010
B	LTOR	211	211	211	11	14	14	288	58	115	510	283	341	0,25		7	
	ST	386	386	386	15	20	20	832	166	333	1233	572	738		0,15	4	
	RT	125	125	125	14	18	18	169	34	68	308	177	211			10	
	Total	722	722	722	40	52	52	1289	258	516	2051	1032	1290			21	0,010
T	LTOR	110	110	110	3	4	4	189	38	76	302	152	190	0,12		5	
	ST	540	540	540	9	12	12	976	195	390	1525	747	942		0,28	9	
	RT	243	243	243	21	27	27	445	89	178	709	359	448			11	
	Total	893	893	893	33	43	43	1610	322	644	2536	1258	1580			25	0,010

Simpang Bersinyal Formulir SIG-II : Arus lalu lintas	Tanggal : 19 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Jam 06.30 – 07.30	Ditangani Oleh : Lulus Novita
------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

Kode pen dekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor															
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor			Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		Emp terlindung=1.0 Emp terlawan=1.0			Emp terlindung=1.3 Emp terlawan=1.3			Emp terlindung=0,2 Emp terlawan=0,4			Total MV			PLT	PRT	Kend/ jam	
		Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	PLT	PRT	Kend/ jam	
U	LTOR	24	24	24	9	12	12	118	47	47	151	59	83	0,18		3	
	ST	17	17	17	4	5	5	139	56	56	160	50	78		0,63	2	
	RT	103	103	103	5	7	7	418	167	167	526	193	277			1	
	Total	144	144	144	18	23	23	675	270	270	837	302	437			6	0,007
S	LTOR	71	71	71	12	16	16	204	82	82	287	1286	1286	0,27		4	
	ST	28	28	28	19	25	25	91	36	36	138	7119	8919		0,61	1	
	RT	124	124	124	20	26	26	510	204	204	654	2520	3640			5	
	Total	223	223	223	51	66	66	805	322	322	1079	45045	61045			10	0,009
B	LTOR	220	220	220	11	14	14	283	113	113	514	291	348	0,26		3	
	ST	381	381	381	7	9	9	836	334	334	1224	557	725		0,15	4	
	RT	93	93	93	5	7	7	159	64	64	257	131	163			6	
	Total	694	694	694	23	30	30	1278	511	511	1995	980	1235			13	0,007
T	LTOR	122	122	122	8	10	10	219	44	88	349	176	220	0,14		1	
	ST	540	540	540	15	20	20	950	190	380	1505	750	940		0,28	11	
	RT	250	250	250	14	18	18	440	88	176	704	356	444			9	
	Total	912	912	912	37	48	48	1609	322	644	2558	1282	1604			21	0,008

Simpang Bersinyal Formulir SIG-II : Arus lalu lintas					Tanggal : 19 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Jam 12.00 – 13.00						Ditangani Oleh : Lulus Novita						
Kode pen dekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor															
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor			Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		Emp terlindung=1.0 Emp terlawan=1.0			Emp terlindung=1.3 Emp terlawan=1.3			Emp terlindung=0,2 Emp terlawan=0,4			Total MV			PLT	PRT	Kend/ jam	
		Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	PLT	PRT	Kend/ jam	
U	LTOR	25	24	24	24	10	10	119	24	48	152	59	83	0,18		3	
	ST	23	13	13	12	3	3	146	29	56	171	55	84		0,62	3	
	RT	97	90	90	103	1	1	428	86	167	526	184	270			2	
	Total	145	143	143	144	14	14	693	139	270	849	298	437			8	0,009
S	LTOR	71	71	71	17	22	22	211	42	84	299	138	128	0,28		5	
	ST	32	32	32	11	14	14	83	17	33	126	63	19		0,61	2	
	RT	118	118	118	25	33	33	515	103	206	658	254	367			7	
	Total	221	221	221	53	69	69	809	162	324	1083	450	45			14	0,013
B	LTOR	221	220	220	220	220	220	285	57	114	517	292	349	0,26		8	
	ST	380	380	380	381	388	388	849	170	340	1243	568	738		0,13	4	
	RT	100	90	90	90	93	93	152	30	61	262	143	174			10	
	Total	701	694	694	694	694	694	1286	257	514	2022	1004	1261			22	0,011
T	LTOR	118	118	118	3	4	4	194	39	78	315	161	200	0,12		6	
	ST	537	537	537	18	23	23	993	199	397	1548	759	958		0,28	11	
	RT	260	260	260	21	27	27	430	86	172	711	373	459			13	
	Total	915	915	915	42	55	55	1617	323	647	2569	1293	1616			30	0,012

Simpang Bersinyal Formulir SIG-II : Arus lalu lintas	Tanggal : 19 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Jam 16.00 – 17.00	Ditangani Oleh : Lulus Novita
------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

Kode pen dekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor															
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor			Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		Emp terlindung=1.0 Emp terlawan=1.0			Emp terlindung=1.3 Emp terlawan=1.3			Emp terlindung=0,2 Emp terlawan=0,4			Total MV			PLT	PRT	Kend/jam	
		Kend/jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/jam	Ter lindung	Ter lawan	PLT	PRT	Kend/jam	
U	LTOR	11	24	24	624	8	8	120	24	48	137	43	67	0,16		1	
	ST	17	17	17	417	5	5	145	29	58	166	51	80		0,64	3	
	RT	113	103	103	603	8	8	418	84	167	537	204	288			2	
	Total	141	144	144	1644	21	21	683	137	278	840	298	435			6	0,007
S	LTOR	68	68	68	18	23	23	201	40	80	287	1386	1286	0,27		4	
	ST	29	29	29	16	21	21	90	18	36	135	6819	8619		0,60	2	
	RT	124	124	124	22	29	29	495	99	198	641	2520	3640			6	
	Total	221	221	221	56	73	73	786	157	314	1063	45045	60845			12	0,011
B	LTOR	220	220	220	1220	1220	1220	279	56	112	510	290	346	0,25		8	
	ST	378	388	388	981	1381	1381	840	168	336	1227	558	726		0,13	4	
	RT	98	98	98	893	103	103	159	32	64	265	140	172			8	
	Total	696	696	696	2694	3694	3694	1278	256	511	2002	988	1244			20	0,010
T	LTOR	119	119	119	7	9	9	202	40	81	328	169	209	0,13		6	
	ST	545	545	545	16	21	21	970	194	388	1531	760	954		0,28	11	
	RT	250	250	250	18	23	23	440	88	176	708	361	449			10	
	Total	914	914	914	41	53	53	1612	322	645	2567	1290	1612			27	0,012

Simpang Bersinyal Formulir SIG-II : Arus lalu lintas	Tanggal : 21 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Jam 06.30 – 07.30	Ditangani Oleh : Lulus Novita
------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

Kode pen dekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor															
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor			Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		Emp terlindung=1.0 Emp terlawan=1.0			Emp terlindung=1.3 Emp terlawan=1.3			Emp terlindung=0,2 Emp terlawan=0,4			Total MV			PLT	PRT	Kend/ jam	
		Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	PLT	PRT	Kend/ jam	
U	LTOR	30	30	30	28	10	10	100	20	40	138	60	80	0,16		2	
	ST	21	21	21	17	9	9	149	30	66	177	60	90		0,62	2	
	RT	108	108	108	103	5	5	401	80	167	513	193	274			5	
	Total	159	159	159	149	25	25	650	130	260	828	314	444			9	0,011
S	LTOR	67	67	67	10	13	13	201	23	40	80	278	1286	1286	0,27		9
	ST	28	28	28	14	18	18	99	21	20	40	141	6619	8619		0,59	3
	RT	100	100	100	20	26	26	489	29	98	196	609	2640	3640			3
	Total	195	195	195	44	57	53	789	73	158	316	1028	41045	56845			15
B	LTOR	230	230	230	220	220	210	228	46	91	469	290	336	0,24		4	
	ST	380	380	380	381	381	381	780	156	312	1177	558	714		0,17	8	
	RT	102	102	102	99	93	93	220	44	88	331	158	202			6	
	Total	712	712	712	694	698	698	1228	246	491	1977	1006	1251			18	0,009
T	LTOR	126	126	126	12	16	16	218	44	87	356	185	229	0,14		3	
	ST	560	560	560	15	20	20	943	189	377	1518	768	957		0,27	9	
	RT	220	220	220	21	27	27	440	88	176	681	335	423			17	
	Total	906	906	906	48	62	62	1601	320	640	2555	1289	1609			29	0,011

Simpang Bersinyal Formulir SIG-II : Arus lalu lintas	Tanggal : 21 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Jam 12.00 – 13.00	Ditangani Oleh : Lulus Novita
------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

Kode pen dekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor															
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor			Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		Emp terlindung=1.0 Emp terlawan=1.0			Emp terlindung=1.3 Emp terlawan=1.3			Emp terlindung=0,2 Emp terlawan=0,4			Total MV			PLT	PRT	Kend/ jam	
		Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	PLT	PRT	Kend/ jam	
U	LTOR	18	30	30	824	10	10	120	24	48	146	52	76	0,17		5	
	ST	22	17	17	717	9	9	149	30	66	178	61	91		0,62	2	
	RT	116	108	108	1303	17	17	403	81	167	532	214	294			3	
	Total	156	159	159	2844	36	36	672	134	270	856	327	461			10	0,012
S	LTOR	66	67	67	11	14	13	213	42	85	289	1286	1286	0,27		4	
	ST	28	28	28	19	25	25	101	20	40	147	7319	9819		0,59	7	
	RT	120	100	100	18	23	29	489	98	196	627	2640	3690			5	
	Total	214	195	195	48	62	73	808	160	320	1063	43045	59045			16	0,015
B	LTOR	230	230	230	9220	1220	1220	300	60	120	539	302	362	0,26		9	
	ST	370	380	380	2381	2681	2681	789	158	316	1179	554	712		0,16	3	
	RT	99	102	982	993	193	193	217	43	87	325	154	198			6	
	Total	699	712	694	3694	4694	4694	1306	261	522	2043	1010	1271			18	0,009
T	LTOR	129	126	126	7	9	9	220	44	88	356	182	226	0,14		2	
	ST	560	560	560	15	20	20	938	188	375	1513	767	955		0,27	10	
	RT	230	220	220	24	31	31	442	88	177	696	350	438			7	
	Total	919	906	906	46	60	60	1600	320	640	2565	1299	1619			19	0,007

Simpang Bersinyal Formulir SIG-II : Arus lalu lintas					Tanggal : 21 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Jam 16.00 – 17.00						Ditangani Oleh : Lulus Novita						
Kode pen dekat	Arah	Arus Lalu Lintas Kendaraan Bermotor															
		Kendaraan Ringan (LV)			Kendaraan Berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan Bermotor			Rasio Berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		Emp terlindung=1.0 Emp terlawan=1.0			Emp terlindung=1.3 Emp terlawan=1.3			Emp terlindung=0,2 Emp terlawan=0,4			Total MV			PLT	PRT	Kend/ jam	
		Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	Kend/ jam	Ter lindung	Ter lawan	PLT	PRT	Kend/ jam	
U	LTOR	38	30	30	324	4	4	99	20	407	140	62	82	0,16		1	
	ST	17	17	17	717	9	9	139	28	56	163	54	82		0,65	2	
	RT	90	108	108	1103	1	1	470	94	188	561	185	279			2	
	Total	145	159	159	1144	14	14	708	142	280	864	301	443			5	0,006
S	LTOR	80	67	67	10	13	13	124	39	78	284	1386	1286	0,28		7	
	ST	30	28	28	12	16	16	101	20	40	142	6619	8619		0,59	3	
	RT	98	100	100	19	25	25	489	98	195	605	2640	3640			4	
	Total	208	195	195	41	53	33	783	156	313	1031	41845	57045			14	0,014
B	LTOR	229	230	230	1220	1420	1420	223	45	89	463	288	333	0,23		4	
	ST	378	380	380	1681	2381	2381	796	159	318	1190	558	717		0,17	3	
	RT	101	102	982	193	193	193	220	44	88	333	161	205			7	
	Total	708	712	694	3694	5694	5694	1239	248	496	1986	1007	1254			14	0,007
T	LTOR	122	126	126	17	22	22	208	42	83	347	186	227	0,14		2	
	ST	556	560	560	20	26	26	944	189	378	1520	771	960		0,27	9	
	RT	240	220	220	12	16	16	432	86	173	684	342	428			13	
	Total	918	906	906	49	64	64	1584	317	634	2551	1299	1615			24	0,009

Formulir SIG-III

Simpang Bersinyal Formulir SIG-III: -Waktu antar hijau -Waktu hilang		Tanggal : 17 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Ditangani Oleh : Lulus Novita					
Lalu lintas berangkat		Lalu lintas datang					
Pendekatan	Kecepatan V_E m/detik	Pendekatan Kecepatan V_A m/detik	U 10	S 10	B 10	T 10	Waktu merah semua (det)
U	10	Jarak berangkat—datang (m) Waktu Jarak berangkat—datang (det)			20,5+5-4 2,1+0,5-0,4		2,2
S	10	Jarak berangkat—datang (m) Waktu Jarak berangkat—datang (det)				12,5+5-4 1,3+0,5-0,4	1,4
T	10	Jarak berangkat—datang (m) Waktu Jarak berangkat—datang (det)		8,5+5-5,5 0,9+0,5-0,6			0,8
B	10	Jarak berangkat—datang (m) Waktu Jarak berangkat—datang (det)	9+5-5,5 0,9+0,5-0,6				0,8
		Penentuan Waktu Merah Fase 1 → Fase 2 Fase 2 → Fase 3 Fase 3 → Fase 4 Fase 4 → Fase 1 Waktu Kuning Total (3 deV Fase) Waktu Hilang Total (LTI)=Merah semua total + waktu kuning (det/siklus)					2,2 0,8 6 9

Formulir SIG-IV:

Simpang Bersinyal Formulir SIG-IV: Penentuan waktu sinyal dan kapasitas	Tanggal : 17 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Ditangani Oleh : Lulus Novita
-------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Kode pen dekat	Hijau dalam fase	Tipe Pen dekat	Rasio Kendaraan berbelok			Arus RT smp/jam		Lebar efektif	Arus jenuh smp/jam hijau								Arus Lalu lintas smp/jam	Rasio arus FR	Rasio fase PR=FRcrit	Waktu hijau det	Kapasitas smp/jam	Derajat kejenuhan
									Faktot-faktor penyesuaian						Nilai disesuai kan smp/jam							
			Semua tipe pendekat				Hanya tipe p															
			Ukuran kota	Hamabatan Samping	Kelandaian	Par kir	Belokkanan		Belok kiri	S	Q	Q/S	IFR	G	C	Q/C						
P _{LTOR}	P _{LT}	P _{RT}	Q _{RT}	Q _{RT0}	We	S ₀	Fcs	Fsf	Fg	Fp	Fr _t	Fl _t	S	Q	Q/S	IFR	G	C	Q/C			
U	1	O	0,17		0,61	189	275	3,5	2100	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	2058	306	0,15	0,36	8	531	0,57
S	1	O	0,28		0,62	269	364	3	1800	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1764	453	0,26		8	455	0,99
T	2	O		0,25	0,14	158	191	7	4200	1,00	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	3948	1031	0,26	0,64	14	1783	0,57
B	2	O		0,12	0,28	377	463	7	4200	1,00	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	3948	1297	0,33		14	1783	0,72
Waktu hilang total L LTI (det)						Waktu siklus pra penyesuaian c (det) 31												IFR	0,41			
						Waktu siklus disesuaikan c (det) 31												∑Frcrit				

Formulir SIG-V

Simpang Bersinyal Formulir SIG-V: -Panjang Antrian -Jumlah Kendaraan Terhenti -Tundaan	Tanggal : 15 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Ditangani Oleh : Lulus Novita
----------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Kode pen dekat	Arus lalu lintas smp/jam Q	Kapasitas Smp/jam C	Derajat kejenuhan DS=Q/C	Rasio hijau GR=g/c	Jumlah kendaraan antri (smp)				Panjang antrian (m) QL	Rasio kend Stop/smp NS	Jumlah kend terhenti Smp/jam N _{SV}	Tundaan			
					N ₁	N ₂	Total= NQ ₁ +NQ ₂ =NQ	NQ _{MAX}				Lalu lintas rata2 Det/smp DT	Geometri k rata2 Det/smp DG	Rata2 Det/smp D=DT+DG	Total smp.det DxQ
U	306	531	0,57	0,26	0,2	2,3	2,5	3,53	20,20	0,85	259	11,24	4,00	15,24	4665
S	453	455	0,99	0,26	10,1	3,9	14,0	10,91	72,72	3,24	1466	91,63	1,14	92,77	42025
T	1031	1783	0,57	0,45	0,2	6,6	6,8	9,98	28,50	0,69	708	6,68	3,48	10,16	10478
B	1297	1783	0,72	0,45	0,8	9,1	10,0	14,10	40,28	0,80	1040	8,62	3,68	12,30	15958
ltor	189								Total	3473				Total	73126
	3276								Kendaraan terhenti rata-rata stop/smp	1,06				Tundaan rata-rata stop/smp	22,32

LAMPIRAN B. Perhitungan Tundaan dari Hasil yang Didapat dari Durasi Nyala Lampu Logika Fuzzy

Formulir SIG-IV:

Simpang Bersinyal Formulir SIG-IV: Penentuan waktu sinyal dan kapasitas	Tanggal : 15 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Ditangani Oleh : Lulus Novita
-------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Kode pendekatan	Hijau dalam fase	Tipe Pendekat	Rasio Kendaraan berbelok			Arus RT smp/jam		Lebar efektif	Arus jenuh smp/jam hijau								Arus Lalu lintas smp/jam	Rasio arus FR	Rasio fase PR=FRcrit	Waktu hijau det	Kapasitas smp/jam	Derajat kejenuhan	
									Faktor-faktor penyesuaian						Nilai disesuikan smp/jam								
			Semua tipe pendekat				Hanya tipe p		Ukuran kota	Hamabatan Samping	Kelandaian	Par kir	Belokkanan	Belok kiri									
			P_{LTOR}	P_{LT}	P_{RT}	Q_{RT}	Q_{RTO}								We	S_o							F_{cs}
U	1	O	0,17		0,61	189	275	3,5	2100	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	2058	306	0,15	0,36	8	531	0,57	
S	1	O	0,28		0,62	269	364	3	1800	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1764	453	0,26		10	569	0,79	
T	2	O		0,25	0,14	158	191	7	4200	1,00	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	3948	1031	0,26	0,64	20	2547	0,40	
B	2	O		0,12	0,28	377	463	7	4200	1,00	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	3948	1297	0,33		20	2547	0,50	
Waktu hilang total L LTI (det)			Waktu siklus pra penyesuaian c (det) 31												IFR			0,41					
			Waktu siklus disesuaikan c (det) 31												$\sum F_{rcrit}$								

Formulir SIG-V

Simpang Bersinyal Formulir SIG-V: -Panjang Antrian -Jumlah Kendaraan Terhenti -Tundaan	Tanggal : 15 Desember Kota : Jember Simpang : Perempatan Mangli Jember Ukuran kota : 2 juta Ditangani Oleh : Lulus Novita
----------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Kode pen dekat	Arus lalu lintas smp/jam Q	Kapasitas Smp/jam C	Derajat kejenuhan DS=Q/C	Rasio hijau GR=g/c	Jumlah kendaraan antri (smp)				Panjang antrian (m) QL	Rasio kend Stop/smp NS	Jumlah kend terhenti Smp/jam N _{SV}	Tundaan			
					N ₁	N ₂	Total= NQ ₁ +NQ ₂ =NQ	NQ _{MAX}				Lalu lintas rata2 Det/smp DT	Geometri k rata2 Det/smp DG	Rata2 Det/smp D=DT+DG	Total smp.det DxQ
U	306	531	0,57	0,26	0,2	2,3	2,5	3,53	20,20	0,85	259	11,24	4,00	15,24	4665
S	453	569	0,79	0,32	1,4	3,6	5,0	6,04	40,28	1,15	520	18,54	3,81	22,35	10126
T	1031	2547	0,40	0,65	-0,2	4,3	4,1	6,32	18,04	0,42	429	2,42	3,03	5,45	5615
B	1297	2547	0,50	0,65	0,0	5,9	5,9	8,86	25,32	0,48	619	2,93	3,16	6,10	7907
ltor	189								Total	1826				Total	28313
	3276								Kendaraan terhenti rata-rata stop/smp	0,56				Tundaan rata-rata stop/smp	8,64

LAMPIRAN C. DEFINISI UMUM DAN ISTILAH LAMPU LALU LINTAS

Notasi, istilah dan definisi dari kondisi dan karakteristik yang bersifat umum diberikan dibawah ini. Definisi yang lebih khusus diuraikan pada Bab 2 untuk masing-masing fasilitas lalu lintas.

Notasi	Istilah	Definisi
UM	Kendaraan Tak Bermotor	Kendaraan dengan roda yang digerakkan oleh orang atau hewan (meliputi : sepeda, becak, kereta kuda, dan kereta dorong sesuai sistim klasifikasi Bina Marga). Catatan: Dalam manual ini kendaraan tak bermotor tidak dianggap sebagai bagian dari arus lalu lintas tetapi sebagai unsur hambatan samping
emp	Ekivalensi Mobil Penumpang	Faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kend. ringan lainnya sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalu-lintas (untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan lainnya, emp = 1.0).
smp	Satuan Mobil Penumpang	Satuan arus lalu lintas, dimana arus dari berbagai tipe kendaraan telah diubah menjadi kendaraan ringan (termasuk mobil penumpang) dengan menggunakan emp.
Q	Arus Lalu-Lintas	Jumlah kendaraan bermotor yang melewati suatu titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kend/jam (Q),smp/jam (Qsmp) atau LHRT (Lalu-lintas Harian Rata-Rata Tahunan).
k	Faktor Lhrt	Faktor untuk mengubah arus yang dinyatakan dalam LHRT (Lalu-lintas Harian Rata-rata Tahunan) menjadi arus lalu-lintas jam sibuk. $Q_{DH} = LHRT \times k$
V	Kecepatan Perjalanan (Kecepatan Tempuh)	Kecepatan kendaraan (biasanya km/jam atau m/det)

TT	Waktu Tempuh (Waktu Perjalanan)	Waktu total yang diperlukan untuk melewati suatu panjang jalan tertentu, termasuk waktu-berhenti dan tundaan pada simpang. Catatan: Waktu tempuh tidak termasuk berhenti untuk istirahat, perbaikan kendaraan.
P_{sv}	Rasio Kendaraan Terhenti	Rasio dari arus lalu-lintas yang terpaksa berhenti sebelum melewati garis henti dari sinyal.
	Pendekat	Daerah dari lengan persimpangan jalan untuk kendaraan mengantri sebelum keluar melewati garis-henti.(Jika gerakan belok kiri atau belok kanan dipisahkan dengan pulau lalu lintas, sebuah lengan persimpangan jalan dapat mempunyai dua pendekat atau lebih).
Type 0	Arus Berangkat Terlawan	Keberangkatan dengan konflik antara gerak belok kanan dan gerak lurus/belok kiri dari bagian pendekat dengan lampu hijau pada fase yang sama.
LT	Belok Kiri	Indeks untuk lalu-lintas yang belok kiri.
LTOR	Belok Kiri Langsung	Indeks untuk lalu-lintas belok kiri yang diijinkan lewat pada saat sinyal merah.
ST	Lurus	Indeks untuk lalu-lintas yang lurus.
RT	Belok Kanan	Indeks untuk lalu-lintas yang belok kekanan.
T	Pembelokan	Indeks untuk lalu-lintas yang berbelok.
P_{RT}	Rasio Belok Kanan	Rasio untuk lalu-lintas yang belok kekanan.
Q_0	Arus Melawan	Arus lalu-lintas dalam pendekat yang berlawanan, yang berangkat dalam fase hijau yang sama.
Q_{RT0}	Arus Melawan, Belok Kanan	Arus dari lalu-lintas belok kanan dari pendekat yang berlawanan (kend./jam; smp/jam).
S	Arus Jenuh	Besarnya keberangkatan antrian didalam suatu pendekat selama kondisi yang ditentukan (smp/jam hijau).
S_0	Arus Jenuh Dasar	Besarnya keberangkatan antrian di dalam pendekat selama kondisi ideal (smp/jam hijau).
FR	Rasio Arus	Rasio arus terhadap arus jenuh (Q/S) dari suatu pendekat.

IFR	Rasio Arus Simpang	Jumlah dari rasio arus kritis (= tertinggi) untuk semua fase sinyal yang berurutan dalam suatu siklus
PR	RASIO FASE	Rasio untuk kritis dibagi dengan rasio arus simpang(sbg contoh: untuk fase i : $PR = FR_i/IFR$)
QL	Panjang Antrian	Panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat (m).
NQ	Antrian	Jumlah kendaraan yang antri dalam suatu pendekat (kend; smp).
NS	Angka Henti	Jumlah rata-rata berhenti per kendaraan (termasuk berhenti berulang-ulang dalam antrian)
W_A	Lebar Pendekat	Lebar bagian pendekat yang diperkeras, diukur dibagian tersempit disebelah hulu (m).
W_{masuk}	Lebar Masuk	Lebar bagian pendekat yang diperkeras, diukur pada garis henti (m).
W_{keluar}	Lebar Keluar	Lebar bagian pendekat yang diperkeras, yang digunakan oleh lalu lintas berangkat setelah melewati persimpangan jalan (m).
W_e	Lebar Efektif	Lebar dari bagian pendekat yang diperkeras, yang digunakan dalam perhitungan kapasitas (yaitu dengan pertimbangan terhadap W_A , W_{MASUK} dan W_{KELUAR} dan gerakan lalu-lintas membelok; m).
COM	Komersial	Lahan niaga (sbg. contoh : toko, restoran, kantor,) dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
RES	Permukiman	Lahan tempat tinggal dengan jalan masuk langsung bagi pejalan kaki dan kendaraan.
SF	Hambatan Samping	Dampak terhadap perilaku lalu-lintas akibat kegiatan sisi jalan seperti pejalan kaki, penghentian angkot dan kendaraan lainnya, kendaraan masuk dan keluar sisi jalan dan kendaraan lambat.
i	FASE	Bagian dari siklus-sinyal dengan lampu-hijau disediakan bagi kombinasi tertentu dari gerakan lalu lintas (i = indeks untuk nomor fase).

c	WAKTU SIKLUS	Waktu untuk urutan lengkap dari indikasi sinyal (sbg.contoh, diantara dua saat permulaan hijau yang berurutan di dalam pendekat yang sama; det.)
g	WAKTU HIJAU	fase untuk kendali lalu-lintas aktuasi kendaraan (det.).
Gr	Rasio Hijau	dalam suatu pendekat ($GR = g/c$)
All Red	Waktu Merah Semua	Waktu di mana sinyal merah menyala bersamaan dalam pendekat-pendekat yang dilayani oleh dua fase sinyal yang berturutan (det.)
Amber	Waktu Kuning	Waktu di mana lampu kuning dinyalakan setelah hijau dalam sebuah pendekat (det.).
Ig	Antar Hijau	Periode kuning+merah semua antara dua fase sinyal yang berurutan (det.).
Lti	Waktu Hilang	Jumlah semua periode antar hijau dalam siklus yang lengkap (det). Waktu hilang dapat juga diperoleh dari beda antara waktu siklus dengan jumlah waktu hijau dalam semua fase yang berurutan