

DESAIN LAMPU LALU LINTAS ADAPTIF DENGAN KENDALI LOGIKA FUZZY

Erwan Eko Prasetyo¹⁾, Oyas Wahyunggoro²⁾

¹⁾Aeronautika, Sekolah Tinggi Teknologi Kedirgantaraan Yogyakarta
erwanek@gmail.com

²⁾ Teknik Elektro, UGM Yogyakarta
oyas@ugm.ac.id

Abstrak

Kinerja lampu lalu lintas sebagai pengatur arus lalu lintas kendaraan di persimpangan perlu ditingkatkan, seiring semakin meningkatnya kepadatan jalan di persimpangan. Sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif perlu dikembangkan untuk mengurangi jumlah antrian kendaraan dan waktu tunggu.

Penelitian ini mengusulkan sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif dengan tiga tahap penentu keputusan. Tahap pertama untuk menentukan urutan fase hijau berdasarkan jumlah antrian terbanyak. Tahap kedua untuk menentukan durasi sinyal hijau berdasarkan jumlah antrian kendaraan dan laju aliran kendaraan datang. Durasi sinyal hijau ditentukan menggunakan kendali logika fuzzy dengan 18 aturan. Tahap ketiga untuk menentukan keputusan apakah akan melanjutkan atau menghentikan fase hijau berdasarkan batas waktu tunggu maksimal atau batas jumlah antrian minimal. Sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif pada penelitian ini terdiri atas detector, next phase module, green phase module, terminate module, switch module dan traffic lights.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan dapat bekerja secara adaptif, dapat mengurangi jumlah antrian kendaraan sebesar 60,76 % dan waktu tunggu sebesar 71,23 % terhadap sistem waktu tetap, dapat mengurangi jumlah antrian kendaraan sebesar 44,81 % dan waktu tunggu sebesar 3,63 % terhadap sistem adaptif satu penentu keputusan, dan dapat mengurangi jumlah antrian kendaraan sebesar 40,79 % dan waktu tunggu sebesar 41,11 % terhadap sistem adaptif dua penentu keputusan.

Kata kunci : desain, lampu lalu lintas, adaptif, kendali logika fuzzy

Pendahuluan

Kemacetan lalu lintas merupakan masalah penting yang harus diselesaikan. Jumlah kendaraan yang semakin meningkat menjadi salah satu penyebab kemacetan lalu lintas. Kemacetan lalu lintas menjadi masalah serius di kota-kota besar di Indonesia. Kemacetan lalu lintas di jalan raya bisa menimbulkan kerugian, kriminalitas, polusi udara, *stress*, dan pemborosan bahan bakar [1]. Kemacetan lalu lintas sering dijumpai di area jalan yang mendekati persimpangan. Keadaan ini biasanya dapat dilihat di sebuah persimpangan dengan banyak antrian kendaraan yang hendak melewati sebuah persimpangan. Kemacetan dapat meningkat jika jumlah kendaraan yang datang menuju persimpangan lebih besar daripada jumlah kendaraan yang meninggalkan persimpangan. Fenomena arus lalu lintas di persimpangan juga tidak menentu. Suatu saat arus lalu lintas di salah satu sisi terlihat lebih padat daripada sisi yang lainnya dan suatu saat arus lalu lintas di salah satu sisi terlihat lengang. Oleh karena itu, pengendalian sistem lampu lalu lintas mempunyai peran penting dalam memberikan kualitas arus lalu lintas yang baik [2].

Arus lalu lintas di persimpangan jalan di kota-kota besar sudah banyak menggunakan lampu lalu lintas untuk mengaturnya. Penggunaan lampu lalu lintas di persimpangan jalan dilakukan untuk mengendalikan arus lalu lintas agar tidak terjadi kemacetan. Saat ini lampu lalu lintas yang

digunakan khususnya di Indonesia, sebagian besar masih menggunakan pengaturan waktu dengan durasi yang tetap di tiap-tiap ruasnya. Penentuan waktu tersebut menggunakan metode statistik berdasarkan pada penelitian dan pengamatan arus lalu lintas yang terjadi di persimpangan. Di Indonesia, perhitungan durasi waktu lampu lalu lintas berpedoman pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI 1997) [3].

Sistem pengendali lampu lalu lintas telah dikembangkan dari sistem pengendali konvensional atau waktu tetap ke sistem pengendali adaptif. Beberapa sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif yang telah dikembangkan antara lain menggunakan metode *Markovian Decision Control* [4,5], menggunakan metode algoritma genetik [6,7], menggunakan metode adaptif *neuro fuzzy* [8], menggunakan metode pengendalian satu penentu keputusan dengan kendali logika *fuzzy* [9,10], menggunakan metode pengendali dua penentu keputusan dengan kendali logika *fuzzy* [11,12] dan menggunakan metode kendali logika *fuzzy* yang dikombinasikan dengan variasi arah [13].

Sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif akan mempertimbangkan keadaan lalu lintas di sekitar persimpangan, sehingga dapat menyesuaikan keadaan lalu lintas yang selalu berubah-ubah. Berdasarkan sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif pada penelitian sebelumnya, sistem pengendali dengan dua tahap penentu keputusan dapat memberikan kinerja yang lebih baik, karena dapat memberikan prioritas pada ruas jalan yang mempunyai antrian paling banyak. Akan tetapi keadaan seperti ini dapat mengakibatkan waktu tunggu di ruas lain menjadi semakin lama apabila jumlah antrian kendaraannya hanya sedikit.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif untuk mengatur lampu lalu lintas pada persimpangan berdasarkan keadaan lalu lintas di sekitarnya. Sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif dikembangkan dengan tiga tahap penentu keputusan menggunakan kendali logika *fuzzy* untuk mengurangi jumlah antrian dan waktu tunggu kendaraan di sebuah persimpangan. Pada penelitian ini kinerja sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif diamati berdasarkan jumlah antrian kendaraan dan waktu tunggu antrian kendaraan di sebuah persimpangan.

Tinjauan Pustaka dan Pengembangan Metode

A. Pengendali Lampu Lalu Lintas Waktu Tetap

Sistem pengendalian lampu lalu lintas di sebagian besar kota di Indonesia masih menggunakan sistem pengendalian waktu tetap. Lampu lalu lintas diatur agar bekerja berdasarkan waktu tetap tanpa memperhatikan naik turunnya arus lalu lintas [8]. Waktu tetap ini ditentukan berdasarkan perhitungan statistik yang dihitung berdasarkan pengamatan kondisi lalu lintas. Di Indonesia, pedoman perhitungan ini mengacu pada Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997. Dalam sistem pengendalian lampu lalu lintas waktu tetap, perhitungan waktu siklus dihitung menggunakan Persamaan (1) dan waktu hijau dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$c_{ua} = \frac{(1,5 \times LTI + 5)}{(1 - IFR)} \quad (1)$$

$$g_i = (c_{ua} - LTI) \times PR_i \quad (2)$$

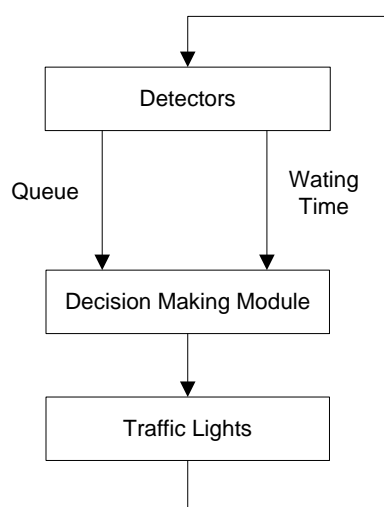
Dengan c_{ua} adalah waktu siklus (detik), g_i adalah waktu hijau dalam fase- i (detik), LTI adalah total waktu hilang per siklus (detik), IFR adalah perbandingan arus simpang dan PR_i adalah perbandingan fase.

B. Pengendali Lampu Lalu Lintas Adaptif

Pengendali lampu lalu lintas adaptif merupakan pengendali lampu lalu lintas yang dapat menyesuaikan keadaan lalu lintas di sekitarnya.

1. Pengendali Satu Tahap Penentu Keputusan

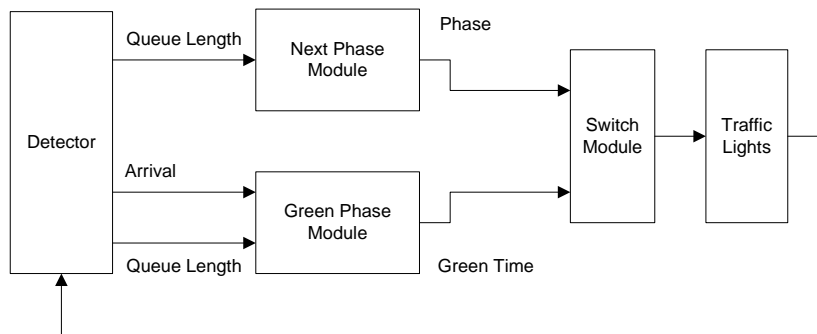
Pengendali satu tahap adalah pengendali lampu lalu lintas adaptif yang keputusannya ditentukan oleh satu tahap penentu keputusan. Dalam sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif, keluaran sistem yang berupa durasi lampu hijau ditentukan oleh sistem berdasarkan kondisi masukannya. Pada sistem adaptif yang dibangun menggunakan kendali logika *fuzzy*, pengambilan keputusan ini ditentukan berdasarkan aturan-aturan yang telah ditentukan. Sistem pengendali satu tahap umumnya menggunakan satu sistem inferensi *fuzzy* untuk menentukan durasi sinyal lampu hijau, sedangkan urutan fase ditetapkan secara berurutan. Struktur pengendali satu tahap ditunjukkan pada Gambar 1 [9,10].



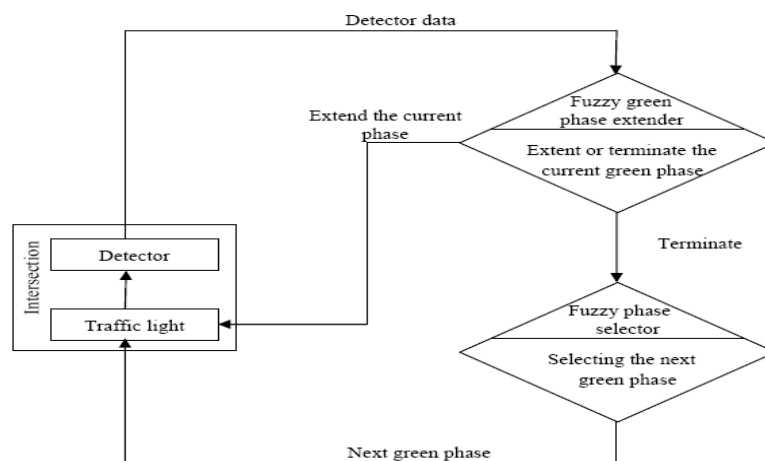
Gambar 1. Struktur Pengendali Satu Tahap

2. Pengendali Dua Tahap Penentu Keputusan

Pengendali dua tahap merupakan pengendali lampu lalu lintas adaptif yang keputusannya ditentukan oleh dua tahap penentu keputusan. Pada pengendali lampu lalu lintas dua tahap, pengendali tahap pertama akan menentukan urutan fase yang akan mendapatkan giliran fase hijau. Pengendali tahap kedua akan menentukan durasi sinyal hijau berdasarkan keadaan masukannya. Keputusan akhir dari sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif dua tahap ada yang berupa durasi lampu hijau seperti ditunjukkan pada Gambar 2 [11] dan ada yang berupa keputusan untuk “menghentikan” atau “melanjutkan” sinyal hijau pada saat lampu lalu lintas berada pada fase hijau, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 [12].



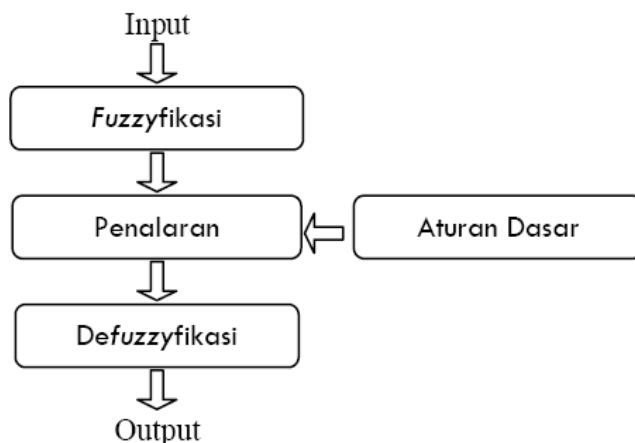
Gambar 2. Struktur Pengendali Dua Tahap dengan Keputusan Durasi Lampu Hijau



Gambar 3. Struktur Pengendali Dua Tahap dengan Keputusan Melanjutkan atau Menghentikan Fase Hijau

C. Sistem Kendali Logika *Fuzzy*

Sistem kendali logika *fuzzy* atau disebut juga Sistem Inferensi *Fuzzy* (*Fuzzy Inference System*) adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya [14]. Sistem kendali logika *fuzzy* terdiri atas beberapa tahapan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi Sistem Kendali Logika *Fuzzy*

D. Sistem Inferensi *Fuzzy* Metode Sugeno

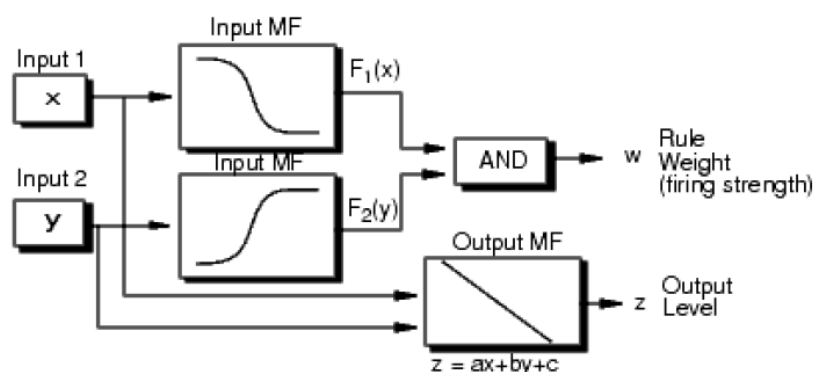
Aturan dalam sistem inferensi metode Sugeno memiliki bentuk seperti ditunjukkan pada Persamaan (3) [15].

$$\text{If Input 1} = x \text{ and Input 2} = y, \text{ then Output is } z = ax + by + c \quad (3)$$

Keluaran aturan tersebut bukan dalam bentuk fungsi keanggotaan, tetapi berupa sebuah bilangan yang berubah secara linear terhadap variabel-variabel *input*. Jika $a=b=0$ maka sistem inferensi *fuzzy* ini dikatakan berorder nol, karena keluarannya berupa sebuah bilangan konstan, yaitu $z=c$. Keluaran akhir dari tipe Sugeno dihitung menggunakan Persamaan (4).

$$\text{output} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i z_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (4)$$

dengan N adalah jumlah aturan. Aturan pada metode Sugeno ditunjukkan dalam diagram seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Aturan pada Metode Sugeno

Inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada tiga metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu *max*, *additive (sum)* dan *probalistic OR (probor)* [16].

1. Metode *Max (Maximum)*

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke keluaran dengan menggunakan operator *OR (union)*. Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka keluaran akan berisi suatu himpunan *fuzzy* yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Secara umum dituliskan seperti Persamaan (5).

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \quad (5)$$

dengan $\mu_{sf}[x_i]$ adalah nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke- i , $\mu_{kf}[x_i]$ adalah nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke- i .

2. Metode Additive (Sum)

Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua keluaran daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan seperti Persamaan (6).

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow \min(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) \quad (6)$$

dengan $\mu_{sf}[x_i]$ adalah nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*, $\mu_{kf}[x_i]$ adalah nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-*i*.

3. Metode Probabilistik OR (Probor)

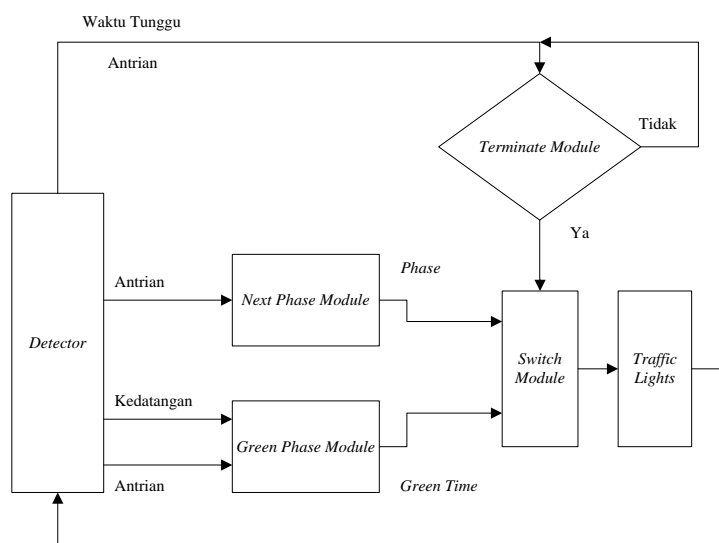
Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua keluaran daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan seperti Persamaan (7).

$$\mu_{sf}[x_i] \leftarrow (\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i]) \quad (7)$$

dengan $\mu_{sf}[x_i]$ adalah nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-*i*, $\mu_{kf}[x_i]$ adalah nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-*i*.

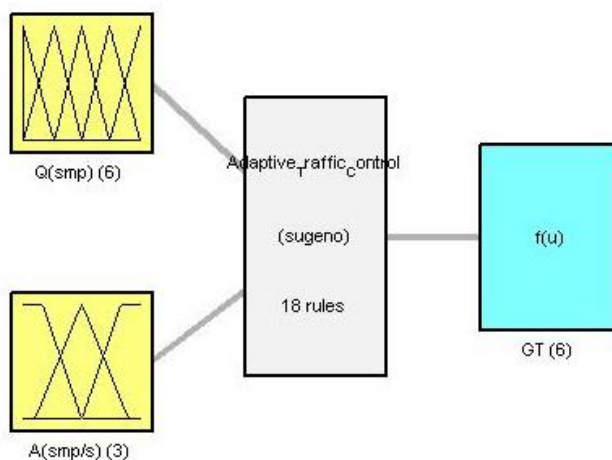
E. Desain Lampu Lalu Lintas Adaptif

Penelitian ini mengembangkan sistem pengendali lampu lintas adaptif untuk sebuah simpang empat. Sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif ini dibangun menggunakan kendali logika *fuzzy* untuk menentukan keputusan. Sistem yang dibangun merupakan pengembangan dari sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif dua tahap seperti yang dijelaskan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Sistem yang diusulkan pada penelitian ini dibangun dengan tiga tahap penentu keputusan. Tahap pertama untuk menentukan urutan fase hijau berdasarkan jumlah antrian terbanyak. Tahap kedua untuk menentukan durasi sinyal hijau berdasarkan jumlah antrian kendaraan dan laju aliran kendaraan datang. Tahap ketiga untuk menentukan keputusan apakah akan melanjutkan atau menghentikan fase hijau berdasarkan batas waktu tunggu maksimal atau batas jumlah antrian minimal pada fase hijau. Perancangan sistem secara keseluruhan dijelaskan seperti pada Gambar 6.



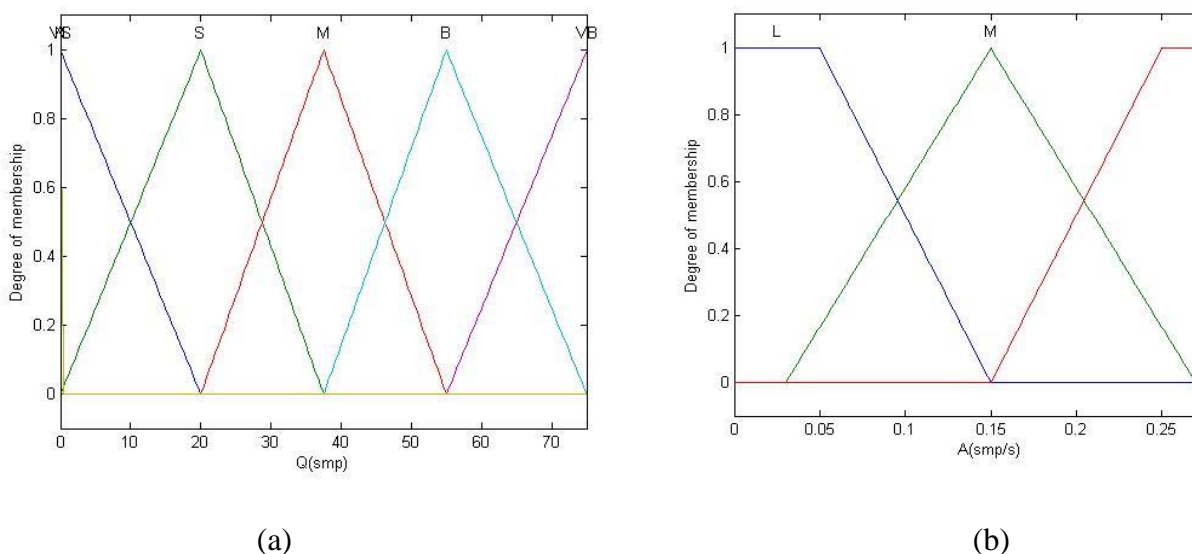
Gambar 6. Desain Sistem Pengendali Lampu Lalu Lintas Adaptif dengan Tiga Tahap Penentu Keputusan

Kendali logika *fuzzy* pada sistem ini dibangun dengan dua variabel input dan satu variabel output seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Variabel input meliputi jumlah antrian atau *queue* (Q) dan jumlah kendaraan datang atau *arrival* (A) sedangkan variabel output meliputi durasi waktu hijau atau *green time* (GT). Jumlah antrian (Q) dibagi menjadi enam fungsi keanggotaan yaitu *Neutral* (N), *Very Small* (VS), *Small* (S), *Medium* (M), *Big* (B) dan *Very Big* (VB) dengan rentang $[0;75]$ smp. Jumlah kendaraan datang (A) dibagi menjadi tiga fungsi keanggotaan yaitu *Low* (L), *Medium* (M) dan *High* (H) dengan rentang $[0;0,3]$ smp per detik. Durasi sinyal hijau (GT) dibagi menjadi enam fungsi keanggotaan yaitu *Zero* (Z), *Very Small* (VS), *Small* (S), *Medium* (M), *Big* (B) dan *Very Big* (VB) dengan rentang $[0;30]$ detik. Nilai ini ditentukan berdasarkan rata-rata jumlah antrian maksimal, rata-rata jumlah kendaraan datang dan durasi sinyal hijau sesuai keadaan lalu lintas yang ada pada simpang empat Kentungan yang diperoleh dari data pengamatan Dinas Perhubungan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta [18].

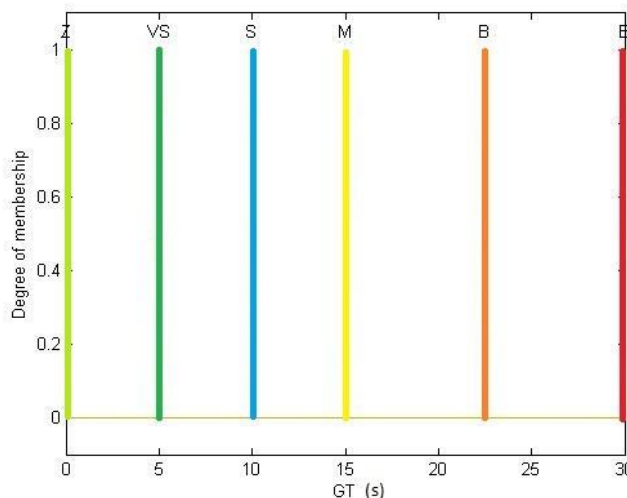


Gambar 7. Sistem Kendali Logika *Fuzzy* dengan Dua Input dan Satu Output

Fungsi keanggotaan masing-masing masukan ditunjukkan seperti pada Gambar 8 sedangkan fungsi keanggotaan keluaran ditunjukkan seperti pada Gambar 9.



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Jumlah Antrian Kendaraan (a) dan Jumlah Kendaraan Datang (b)



Gambar 9. Fungsi Keanggotaan Durasi Sinyal Hijau

Sistem kendali logika *fuzzy* ini dibangun menggunakan 18 aturan untuk menentukan keputusan. Semua aturan dihubungkan dengan operator *AND*. Aturan-aturan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan-Aturan Sistem Kendali Logika *Fuzzy* [17]

Jumlah Antrian (<i>Q</i>)	Jumlah Kendaraan Datang (<i>A</i>)		
	L	M	H
N	Z	Z	Z
VS	VS	VS	S
S	VS	S	M
M	S	M	B
B	M	B	VB
VB	B	VB	VB

dengan:

L=Low, M=Medium, H=High, N= Neutral, VS= Very Small, S=Small, B=Big dan VB=Very Big

Hasil dan Pembahasan

Kinerja sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif dengan tiga penentu keputusan dapat dilihat dengan melakukan simulasi. Simulasi dilakukan untuk menguji sistem apabila diterapkan pada keadaan lalu lintas yang sebenarnya. Agar keadaan lalu lintas dalam simulasi ini merepresentasikan keadaan yang sebenarnya, maka parameter-parameter dalam simulasi ini diatur berdasarkan data yang ada pada persimpangan [18]. Adapun parameter tersebut antara lain jumlah kendaraan datang berkisar antara 0-0,28 smp/s dibangkitkan secara acak dan rata-rata jumlah kendaraan pergi pada tiap ruas secara berturut-turut diatur dengan nilai 1,05 smp/s; 1,4 smp/s; 1,05 smp/s dan 1,4 smp/s.

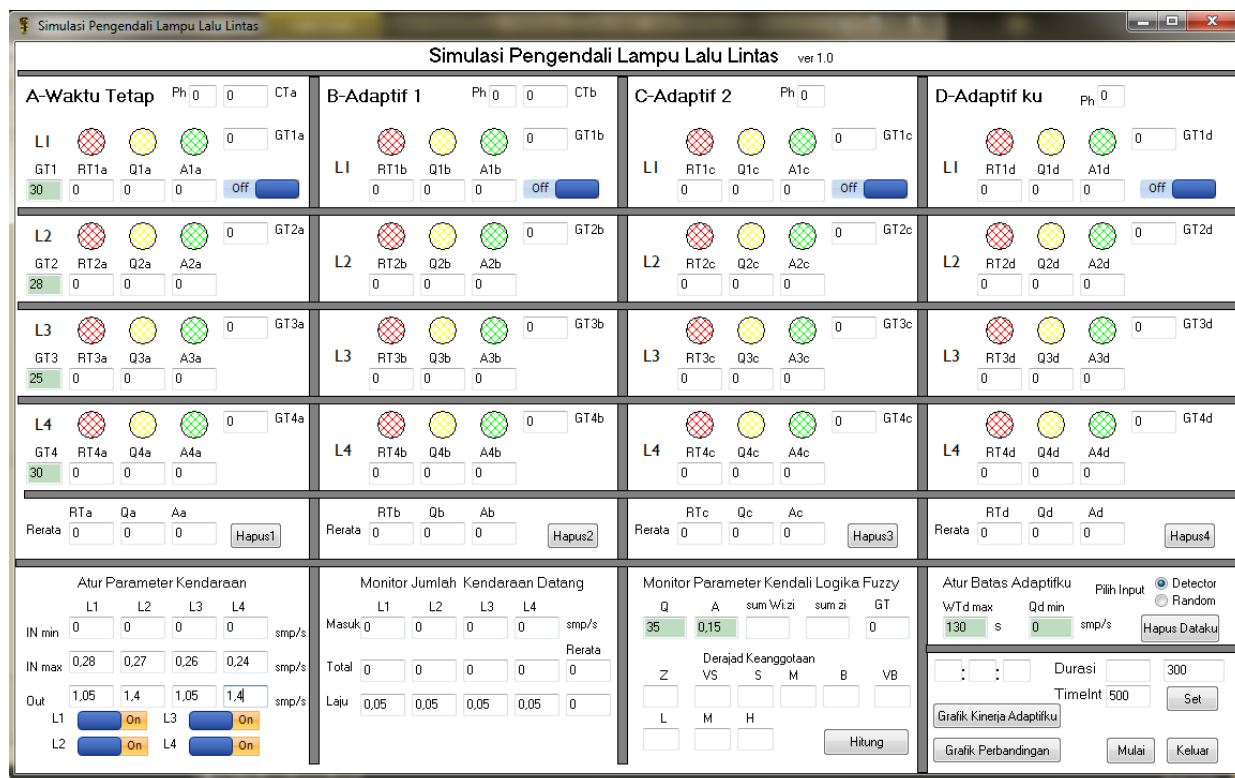
Simulasi dirancang untuk membandingkan sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif yang diusulkan (adaptifku) terhadap sistem pengendali lampu lalu lintas yang lain. Sistem pengendali lampu lalu lintas yang akan digunakan untuk membandingkan, antara lain sistem waktu tetap, sistem adaptif satu penentu keputusan (adaptif 1) dan sistem adaptif dua penentu keputusan (adaptif

2). Durasi sinyal hijau pada sistem pengendali lampu lalu lintas waktu tetap ditentukan sebagai berikut: ruas 1 sebesar 30 s, ruas 2 sebesar 28 s, ruas 3 sebesar 25 s dan ruas 4 sebesar 30 s. Sedangkan durasi sinyal hijau pada sistem adaptif 1 maupun sistem adaptif 2 ditentukan menggunakan sistem logika *fuzzy*.

Simulasi yang dibangun ditunjukkan pada Gambar 10. Adapun batasan simulasi yang dibuat adalah sebagai berikut:

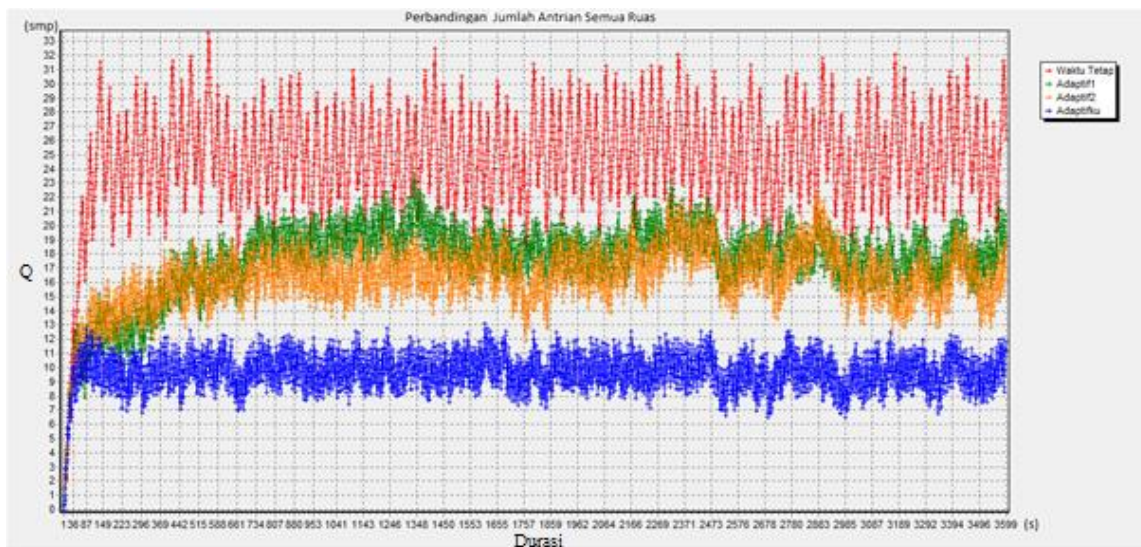
1. Desain lampu lalu lintas pada persimpangan dengan empat ruas
2. Tiap ruas jalan diasumsikan memiliki luas yang sama dan dianggap ideal serta tidak ada gangguan
3. Tidak ada belok kiri jalan terus atau *LTOR* tidak diijinkan
4. Satuan unit kendaraan dihitung dalam smp (satuan mobil penumpang)
5. Durasi waktu kuning dan waktu jeda antar fase pada kedua sistem ditentukan dengan parameter yang sama, yaitu waktu kuning selama 3 detik dan waktu jeda selama 2 detik
6. Durasi waktu hijau pada sistem *fuzzy* ditentukan sesuai dengan keluaran kendali logika *fuzzy*, sedangkan durasi waktu hijau pada sistem waktu tetap ditentukan dengan nilai sebagai berikut: Ruas 1 selama 31 detik, Ruas 2 selama 18 detik, Ruas 3 selama 29 detik dan Ruas 4 selama 16 detik.

Simulasi ini dilakukan untuk menguji kinerja tiap sistem pengendali lampu lalu lintas. Simulasi ini akan menunjukkan hasil berupa perbandingan kinerja antara sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif tiga penentu keputusan (adaptifku), sistem waktu tetap, sistem adaptif satu penentu keputusan (adaptif 1) dan sistem adaptif dua penentu keputusan (adaptif 2). Durasi simulasi yang dilakukan selama 3600 detik.

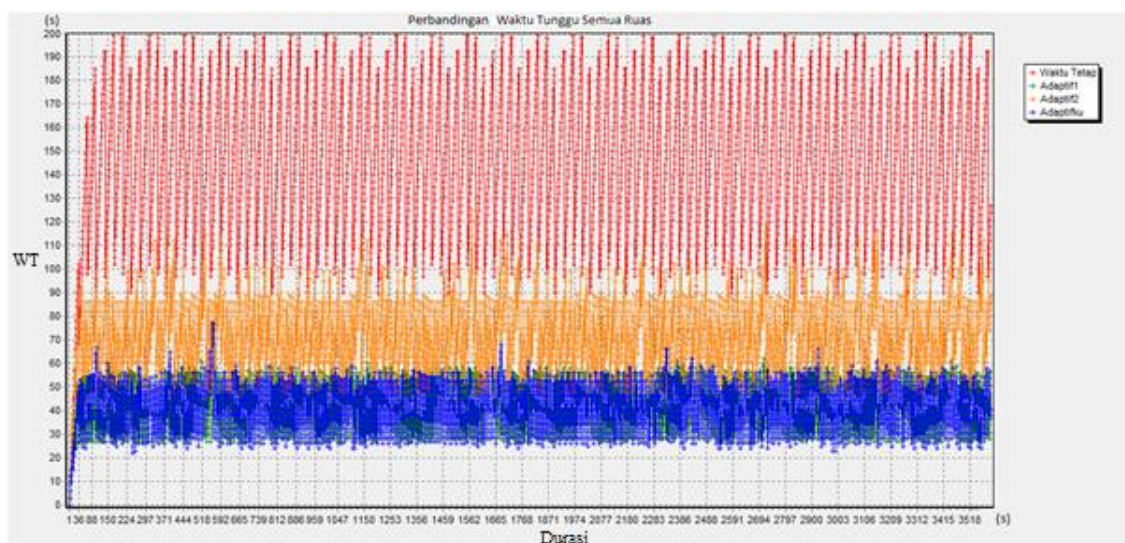


Gambar 10. Simulasi Kinerja Pengendali Lampu Lalu Lintas

Kinerja sistem dapat dilihat dari besarnya jumlah antrian kendaraan dan waktu tunggu. Kinerja sistem dilihat dari besarnya jumlah antrian ditunjukkan pada Gambar 11. Kinerja sistem dilihat dari besarnya waktu tunggu ditunjukkan pada Gambar 12. Hasil pengujian kinerja sistem pengendali lampu lalu lintas disajikan pada Tabel 2.



Gambar 11. Hasil Pengujian Kinerja Sistem Pengendali Lampu Lalu Lintas Dilihat dari Jumlah Antrian



Gambar 12. Hasil Pengujian Kinerja Sistem Pengendali Lampu Lalu Lintas Dilihat dari Waktu Tunggu

Tabel 2. Perbandingan Kinerja Sistem Pengendali Lampu Lalu Lintas

Dilihat Berdasarkan	Ruas	Sistem Pengendali Lampu Lalu Lintas				Persentase (%) Perbandingan Adaptifku Terhadap-		
		Waktu Tetap	Adaptif 1	Adaptif 2	Adaptif ku	Waktu Tetap	Adaptif 1	Adaptif 2
Jumlah Antrian (smp)	1	6,760	6,907	4,556	2,587	61,73	62,54	43,20
	2	6,160	2,546	3,763	2,467	59,95	3,12	34,45
	3	6,449	5,783	4,480	2,341	63,70	59,52	47,75
	4	5,320	2,320	3,564	2,293	56,90	1,16	35,65
	Semua	24,690	17,556	16,363	9,689	60,76	44,81	40,79
	Rerata	6,172	4,389	4,091	2,422	60,76	44,81	40,79
Waktu Tunggu (s)	1	35,649	10,729	13,219	9,589	73,10	10,62	27,46
	2	36,389	11,126	20,455	10,798	70,33	2,95	47,21
	3	38,371	10,721	14,408	9,834	74,37	8,27	31,75
	4	35,079	10,857	22,991	11,630	66,85	7,12	49,41
	Semua	145,489	43,434	71,073	41,851	71,23	3,64	41,11
	Rerata	36,372	10,858	17,768	10,463	71,23	3,64	41,11

Data tersebut menunjukkan bahwa sistem pengendali lampu lalu lintas yang diusulkan (adaptifku) dapat mengurangi jumlah antrian kendaraan dan waktu tunggu pada setiap ruas. Sistem adaptifku dapat mengurangi jumlah antrian kendaraan sebesar 60,76 % jika dibandingkan dengan sistem waktu tetap, dapat mengurangi jumlah antrian kendaraan sebesar 44,81 % jika dibandingkan dengan sistem adaptif 1 dan dapat mengurangi jumlah antrian kendaraan sebesar 40,79 % jika dibandingkan dengan sistem adaptif 2. Selain itu sistem adaptifku juga dapat mengurangi waktu tunggu sebesar 71,23 % jika dibandingkan dengan sistem waktu tetap, dapat mengurangi waktu tunggu sebesar 3,63 % jika dibandingkan dengan sistem adaptif 1 dan dapat mengurangi waktu tunggu sebesar 41,11 % jika dibandingkan dengan sistem adaptif 2. Dengan demikian sistem pengendali lampu lalu lintas yang diusulkan mempunyai kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan sistem pengendali lampu lalu lintas waktu tetap, adaptif 1 maupun adaptif 2.

Kesimpulan

Simulasi yang telah dilakukan menunjukkan hasil bahwa sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif yang menggunakan kendali logika *fuzzy* dengan tiga penentu keputusan dapat mengatur durasi sinyal hijau sesuai keadaan lalu lintas di sekitar persimpangan. Besarnya durasi sinyal hijau tergantung dari jumlah antrian kendaraan dan laju aliran kendaraan datang. Sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif yang menggunakan kendali logika *fuzzy* dengan tiga penentu keputusan dapat mengurangi waktu tunggu antrian dan jumlah antrian kendaraan di sebuah persimpangan. Sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif yang diusulkan mempunyai kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan sistem pengendali lampu lalu lintas waktu tetap, sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif satu penentu keputusan maupun sistem pengendali lampu lalu lintas adaptif dua penentu keputusan.

Daftar Pustaka

- [1] Tambunan, Mangapul P. “Faktor Dominan Kemacetan Lalu Lintas Jalan Raya di DKI Jakarta”, Departemen Geografi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, 2014 diakses dari: <http://geografi.ui.ac.id/portal/faktor-dominan-kemacetan-lalu-lintas-jalan-raya-di-dki-jakarta/>
- [2] Prasetyo, E. E., Wahyunggoro, O. and Sulisty, S. “Desain Pengatur Lampu Lalu Lintas Adaptif dengan Kendali Logika Fuzzy,” *Semin. Nas. Teknol. Inf. dan Multimed. 2015 STMIK AMIKOM Yogyakarta*, 6-8 Februari 2015, pp. 6–8, 2015.
- [3] Manual Kapasitas Jalan Indonesia. Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 1997.
- [4] X.-H. Y. X.-H. Yu and a. R. Stubberud, “Markovian decision control for traffic signal systems,” *Proc. 36th IEEE Conf. Decis. Control*, vol. 5, no. December, pp. 4782–4787, 1997.
- [5] A. C. Soh, M. H. Marhaban, M. Khalid, and R. Yusof, “Modelling and Optimisation of a Traffic Intersection Based on Queue Theory and Markov Decision Control Methods,” *First Asia Int. Conf. Model. Simul.*, 2007.
- [6] X. C. X. Cheng and Z. Y. Z. Yang, “Intelligent Traffic Signal Control Approach Based on Fuzzy-Genetic Algorithm,” *2008 Fifth Int. Conf. Fuzzy Syst. Knowl. Discov.*, vol. 3, no. 1, pp. 221–225, 2008.
- [7] W. W. W. Wei and M.-J. W. M.-J. Wang, “Fuzzy-MOGA-based traffic signal control at intersection,” *Proc. 2003 Int. Conf. Mach. Learn. Cybern. (IEEE Cat. No.03EX693)*, vol. 1, no. November, pp. 2–5, 2003.
- [8] A. C. Soh, R. Z. A. Rahman, L. G. Rhung, and H. M. Sarkan, “Traffic Signal Control Based on Adaptive Neural-Fuzzy Inference System Applied to Intersection,” *2011 IEEE Conf. Open Syst. ICOS 2011*, pp. 237–242, 2011.
- [9] W. Hejun, M. Changyun, W. Ji, and L. Jianxiong, “Research of Intelligent Traffic Light Control Scheme Based on Fuzzy Control,” *2011 Int. Symp. Comput. Sci. Soc.*, pp. 111–113, Jul. 2011.
- [10] G. Kulkarni and P. Waingankar, “Fuzzy Logic Based Traffic Light Controller,” *Second Int. Conf. Ind. Inf. Syst.*, no. August, pp. 8–11, 2007.
- [11] L. G. Rhung, A. C. Soh, R. Z. A. Rahman, and M. K. Hassan, “Fuzzy Traffic Light Controller Using Sugeno Method for Isolated Intersection,” *SCORED2009 - Proc. 2009 IEEE Student Conf. Res. Dev.*, pp. 501–504, 2009.
- [12] M. Zarandi and S. Rezapour, “A Fuzzy Signal Controller for Isolated Intersections,” *J. Uncertain Syst.*, vol. 3, no. 3, pp. 174–182, 2009.
- [13] L. Wu, X. Zhang, and Z. Shi, “An Intelligent Fuzzy Control for Crossroads Traffic Light,” *2010 Second WRI Glob. Congr. Intell. Syst.*, pp. 28–32, Dec. 2010.
- [14] Saelan, Athia. "Logika Fuzzy." *Makalah IF2091 Struktur Diskrit Tahun 2009, Institut Teknologi Bandung, 2009.*
- [15] The Mathwork. Fuzzy Logic Toolbox User's Guide, The Mathworks, Inc. 2013.
- [16] S. Kusumadewi, “Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab”, 2002- Graha Ilmu
- [17] K. Tze, K. Teo, K. Yeo, S. E. Tan, Z. W. Siew, and K. G. Lim, “Design and Development of Portable Fuzzy Logic based Traffic Optimizer,” pp. 7–12, 2013.
- [18] Subag Lalu Lintas, "Data Simpang Empat Kentungan." Dinas Perhubungan, Komunikasi dan Informatika Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, 2013