

Perancangan Sistem Lampu Lalu Lintas Adaptif Berbasis Aljabar Boolean

Moreno Syawali Ganda Sugita - 13524096

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung

E-mail: moreno.syawali2910@gmail.com , 13524096@std.stei.itb.ac.id

Abstrak—Pada kota dengan kepadatan penduduk yang tinggi dengan penggunaan kendaraan pribadi yang dominan, sistem lampu lalu lintas memiliki peranan penting dalam mengatur arus keluar-masuk kendaraan di persimpangan. Penggunaan lampu lalu lintas adaptif dapat meningkatkan efisiensi waktu tunggu dan memungkinkan pemberian prioritas terhadap kendaraan darurat. Dalam penelitian ini, dirancang sebuah sistem berbasis aljabar Boolean yang disederhanakan menggunakan metode *Karnaugh Map* untuk menangani keberadaan kendaraan normal dan kendaraan darurat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem lampu lalu lintas adaptif mengurangi waktu tunggu rata-rata kendaraan dengan nilai 4,73 detik dibandingkan dengan sistem lampu lalu lintas statis.

Kata Kunci—Lampu Lalu Lintas Adaptif, Kendaraan Darurat, Aljabar Boolean, Karnaugh Map

I. PENDAHULUAN

Penggunaan kendaraan pribadi di kota dengan kepadatan penduduk yang tinggi dapat diakibatkan oleh terbatasnya fasilitas transportasi umum yang mampu melayani masyarakat secara luas dan efisien. Kondisi ini malah mendorong penggunaan kendaraan pribadi secara masif sehingga dapat menghambat mobilitas para penggunanya itu sendiri, terutama pada titik rawan kemacetan seperti di persimpangan. umumnya, lampu lalu lintas dijadikan sebagai pengatur arah keluar-masuk kendaraan di persimpangan. Namun, dengan kondisi jalanan yang dinamis membuat sistem lampu lalu lintas statis dinilai kurang efisien, terutama dalam pemberian prioritas terhadap kendaraan darurat seperti ambulans dan mobil pemadam kebakaran.

Selain memengaruhi efisiensi waktu perjalanan, sistem lampu lalu lintas memengaruhi secara langsung terhadap penggunaan energi dan peningkatan polusi udara di persimpangan tersebut. Waktu tunggu di persimpangan menyebabkan kendaraan tetap menggunakan bahan bakar walaupun tidak sedang berjalan. Jika makin banyak terjadi penumpukan kendaraan dan lama waktu tunggu, maka akan semakin besar penggunaan energi dan peningkatan polusi udaranya. Oleh karena itu, sistem lampu lalu lintas adaptif ini diperlukan selain menghemat waktu, juga menghemat penggunaan energi.

Dengan perancangan sistem lampu lalu lintas yang adaptif dan responsif, diperlukan adanya penyederhanaan fungsi logika dari berbagai variabel yang diperhitungkan oleh sistem. Metode

penyederhanaan fungsi Boolean di antara lain adalah metode aljabar, *Karnaugh Map*, dan Quine-McCluskey. Metode yang digunakan pada penerapan ini adalah metode *Karnaugh Map*. Metode tersebut dipilih dikarenakan mudah divisualisasikan, cocok untuk penyederhanaan dengan jumlah variabel yang sedikit, dan juga tetap menawarkan logika yang efisien dan dapat diterapkan ke dalam perangkat keras.

Untuk itu, makalah ini bertujuan untuk mengaplikasikan penggunaan sistem lampu lalu lintas dengan penggunaan pengefisienan fungsi Boolean menggunakan *Karnaugh Map* dengan tujuan peningkatan efisiensi waktu dan penghematan energi. Selain itu, pengaplikasian *K-Map* diharapkan memberi dampak besar dalam perencanaan suatu kota menjadi *smart city*.

Makalah ini terbagi menjadi 5 bagian besar, yaitu pendahuluan, lalu didalami dengan landasan teori. Kemudian akan disajikan metode beserta hasil dan pembahasan yang diperoleh. Terakhir, berupa kesimpulan dari makalah ini dan saran untuk peneliti selanjutnya.

II. LANDASAN TEORI

A. Aljabar Boolean

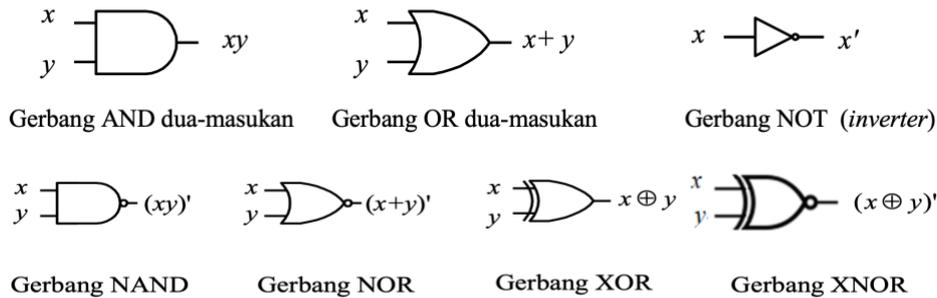
Aljabar Boolean merupakan sebuah set B dengan dua buah operasi biner $+$ dan $*$, sebuah operasi uner $'$, serta 0 dan 1 yang merupakan dua elemen yang berbeda, sehingga sifat-sifat berikut dapat berlaku untuk a , b , dan c di B [1]:

1. Hukum Komutatif
 - a. $a + b = b + a$
 - b. $a * b = b * a$
2. Hukum Distributif
 - a. $a + (b * c) = (a + b) * (a + c)$
 - b. $a * (b + c) = (a * b) + (a * c)$
3. Hukum Identitas
 - a. $a + 0 = a$
 - b. $a * 1 = a$
4. Hukum Komplemen
 - a. $a + a' = 1$
 - b. $a * a' = 0$
5. Hukum Asosiatif
 - a. $(a + b) + c = a + (b + c)$
 - b. $(a * b) * c = a * (b * c)$

B. Gerbang Logika

Gerbang logika merupakan rangkaian yang menggunakan aturan aljabar Boolean dengan menerima satu atau lebih *input* untuk menghasilkan sebuah *output* dengan cara mengimplementasikan operasi Boolean. Gerbang logika ini

digunakan untuk penyusunan sirkuit suatu sistem elektronik. Gerbang logika dasar terdiri dari inverter/NOT, OR, dan AND. Terdapat juga gerbang logika kombinasi yang merupakan hasil dari penggabungan beberapa gerbang logika dasar [1]. Berikut merupakan gerbang logika dasar dan kombinasi dengan *input* dan *output*-nya beserta tabel kebenarannya.



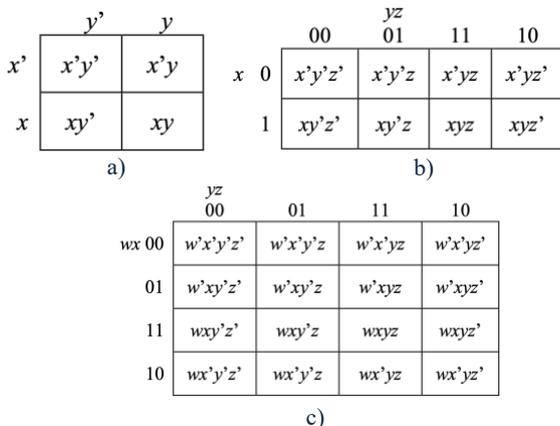
Gambar 1. Gerbang Logika Dasar dan Kombinasi (Sumber: [2])

Tabel 1. Tabel Kebenaran Gerbang Logika Dasar dan Kombinasi

Input		NOT	OR	AND	NAND	NOR	XOR	XNOR
X	Y	X'	$X + Y$	$X * Y$	$(X * Y)'$	$(X + Y)'$	$X \oplus Y$	$(X \oplus Y)'$
0	0	1	0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	0	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0	0	0	1

C. Karnaugh Map (K-Map)

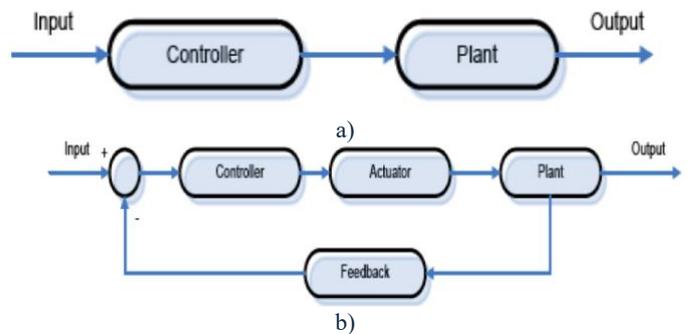
Menurut Rosen (2019), *Karnaugh Map* adalah salah satu metode untuk menemukan suku agar dapat digabungkan dalam suatu fungsi Boolean yang jumlah variabelnya relatif kecil (biasanya enam variabel atau kurang). *K-Map* memberikan visual untuk menyederhanakan variabel sehingga mudah dipahami, yaitu tabel dengan tiap sel berisi gabungan variabel Boolean. Tiap sel dikatakan “berdekatan” jika minterm yang diwakilinya hanya berbeda dalam satu literal. Terdapat juga penambahan aturan “berdekatan” seiring bertambahnya variabel [1].



Gambar 2. Karnaugh Map dengan masing-masing dua (a), tiga (b), dan empat (c) peubah/variabel (Sumber: [3])

D. Sistem Kontrol Otomatis

Menurut Erinofiardi (2012), sistem kontrol otomatis adalah kumpulan komponen yang mengatur suatu sistem secara otomatis tanpa adanya campur tangan manusia. Terdapat dua jenis dalam sistem kontrol otomatis. Yang pertama adalah dengan *loop* terbuka, sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi pengontrolannya, sehingga tidak memiliki umpan balik ke parameter pengendalian. Yang kedua adalah dengan *loop* tertutup, sistem kontrol yang keluarannya memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang dilakukan, sehingga terdapat umpan balik melalui *input* pada sistem [4].



Gambar 3. Sistem Kontrol Otomatis Berjenis Loop Terbuka (a) dan Loop Tertutup (b) (Sumber: [4])

III. METODE

A. Pemerolehan Input/Output

Sistem memerlukan input variabel yang dihubungkan dengan sensor kendaraan biasa, kendaraan darurat, dan waktu tunggu, agar dapat diproses menjadi sebuah keputusan untuk menyalakan lampu lalu lintas di persimpangan. Diasumsikan bahwa persimpangan yang diimplementasikan merupakan persimpangan 4 jalur dengan tiap jalurnya berjenis dua arah yang tidak memiliki penyebrangan untuk pejalan kaki. Selain itu, ada atau tidaknya kendaraan darurat di suatu jalan dipilih dengan jarak yang terdekat dengan persimpangan tersebut, sehingga tidak akan ada lebih dari satu variabel kendaraan darurat yang bernilai 1. Berikut merupakan variabel-variabel yang diperhitungkan dalam sistem lampu lalu lintas adaptif yang akan dirancang.

Tabel 2. Variabel *Input* dan Keadaannya Ketika Bernilai 0/1

Variabel	Kondisi ketika bernilai 1	Kondisi ketika bernilai 0
A	Ada kendaraan di jalur utara-selatan	Tidak ada kendaraan di jalur utara
B	Ada kendaraan di jalur timur-barat	Tidak ada kendaraan di jalur timur
C1	Ada kendaraan darurat di jalur utara	Tidak ada kendaraan darurat di jalur utara
C2	Ada kendaraan darurat di jalur timur	Tidak ada kendaraan darurat di jalur timur
C3	Ada kendaraan darurat di jalur selatan	Tidak ada kendaraan darurat di jalur selatan
C4	Ada kendaraan darurat di jalur barat	Tidak ada kendaraan darurat di jalur barat
T1	Waktu nyala lampu maksimum jalur utara-selatan sudah tercapai	Waktu nyala lampu maksimum jalur utara-selatan belum tercapai
T2	Waktu nyala lampu maksimum jalur timur-barat sudah tercapai	Waktu nyala lampu maksimum jalur timur-barat belum tercapai

Karena terdapat empat lalu lintas yang diperlukan di persimpangan tersebut, maka diperlukan juga empat fungsi Boolean yang masing-masing mewakili keadaan lampu lalu lintas di tiap jalurnya.

Tabel 3. Variabel *Output* dan Keadaannya Ketika Bernilai 0/1

Variabel	Kondisi ketika bernilai 1	Kondisi ketika bernilai 0
L1	Lampu di jalur utara menyala	Lampu di jalur utara mati
L2	Lampu di jalur timur menyala	Lampu di jalur timur mati
L3	Lampu di jalur selatan menyala	Lampu di jalur selatan mati

L4	Lampu di jalur barat menyala	Lampu di jalur barat mati
----	------------------------------	---------------------------

B. Tabel Kebenaran

Perancangan *output* sistem lampu lalu lintas diproses secara terpisah tiap jalurnya agar variabel yang digunakan lebih sedikit. Selain itu, terdapat sistem jika lampu A menyala, maka lampu di seberangnya akan ikut menyala juga, kecuali jika terdapat kendaraan darurat di jalur A, maka hanya lampu A yang akan menyala. Dengan sistem tersebut, penyederhanaan sistem ini akan lebih mudah. Selain itu, dengan kondisi jika terdapat kendaraan darurat di jalur tersebut, maka lampu di jalur yang sama harus menyala dengan tidak diperhitungkannya kondisi yang lain. Dengan kondisi tersebut, maka kita dapat memisahkan variabel keadaan kendaraan darurat di jalur tersebut dari fungsi Boolean, sehingga dapat menentukan fungsi Boolean pada kondisi normal. Berikut merupakan tabel tiap lampu bergantung dengan masing-masing variabel *input*-nya.

Tabel 4. Tabel Kebenaran Lampu L1 Berdasarkan Variabel *Input*-nya Pada Keadaan Normal

T1	A	B	C2	C3	C4	L1_N
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0
0	0	0	1	1	1	0
0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	0
0	1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0
0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	1	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0
0	1	1	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1	0
0	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	1	0
0	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	0	0

1	0	1
1	1	1

Tabel 7. Tabel Kebenaran Lampu L2 Berdasarkan Keadaan Darurat dan Normal

C2	L2_N	L2
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Agar lampu yang bersebrangan dapat berintegrasi baik secara tujuan maupun fungsi Boolean-nya, maka L3 dan L4 akan bernilai 0/1 sesuai dengan lampu yang berada di jalur seberangnya. Selain hanya bergantung kepada kondisi lampu di seberangnya, ditambahkan juga variabel *input* lain, yaitu keadaan kendaraan darurat yang berada di jalurnya sendiri maupun jalur di seberangnya. Oleh karena itu, dapat diperoleh tabel kebenaran fungsi Boolean L3 dan L4 sebagai berikut.

Tabel 8. Tabel Kebenaran Lampu Selatan Berdasarkan Variabel *Input*-nya.

C3	C1	L1	L3
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Tabel 9. Tabel Kebenaran Lampu Barat Berdasarkan Variabel *Input*-nya.

C4	C2	L2	L4
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

C. Penyederhanaan Fungsi Logika

Penyederhanaan fungsi logika dari tabel kebenaran dilakukan dengan metode *Karnaugh-Map*. Untuk membantu visualisasi dan proses penyederhanaan, digunakan perangkat lunak berbasis *web* yaitu Logic Circuit Simplification [5]. Web tersebut mampu menyederhanakan ekspresi logika melalui tabel kebenaran hingga 6 peubah dengan tampilan antarmuka yang sederhana, sehingga mudah dioperasikan. Namun, belum ada fitur untuk mengubah nama tiap variabel sehingga hanya dapat ditampilkan variabel *input* dari A hingga E dengan variabel *output* berupa *y*.

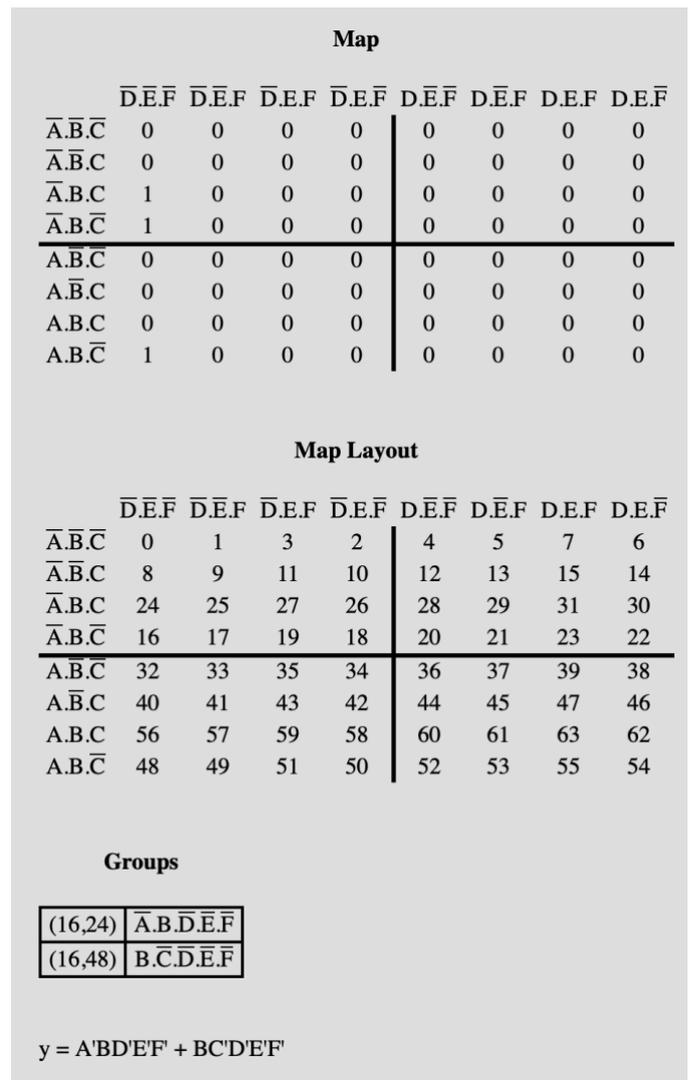
Cara penyederhanaan fungsi Boolean dengan metode *Karnaugh-Map* adalah dengan mengelompokkan sel yang

bernilai 1 (untuk SOP) yang juga “berdekatan”. Pengelompokan dimulai dari jumlah anggota kelompok yang lebih besar terlebih dahulu. Pengelompokan hanya bisa berbentuk memanjang atau berbentuk kotak dengan jumlah anggotanya merupakan hasil perpangkatan 2. Jika tidak memungkinkan, maka dikelompokkan dengan anggota kelompok yang lebih kecil hingga sampai beranggotakan 1 sel saja [3].

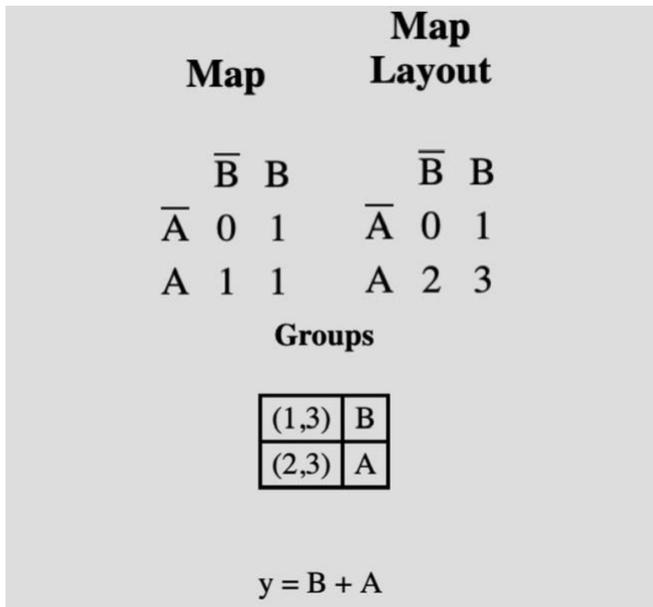
IV. HASIL & PEMBAHASAN

A. Hasil

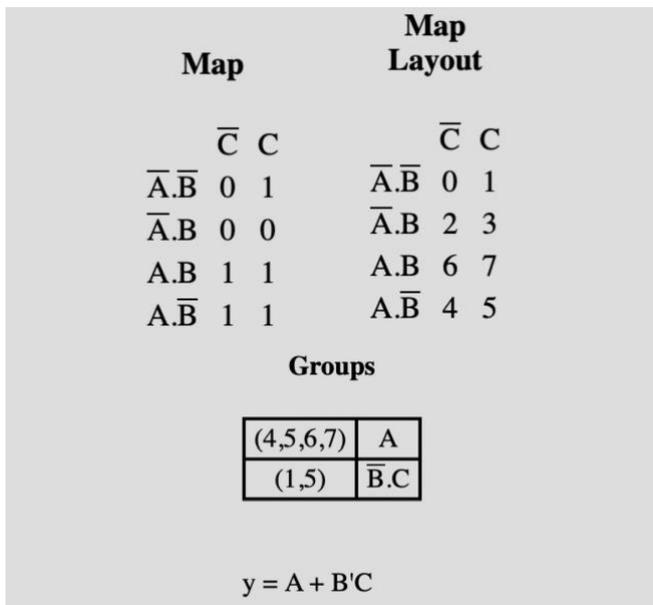
Hasil fungsi Boolean yang telah disederhanakan diperoleh dengan memasukkan tabel kebenaran tiap variabel *output* lampu berdasarkan masing-masing variabel *input*-nya. Berikut merupakan hasil fungsi Boolean yang diperoleh dengan Logic Circuit Simplification [5].



Gambar 4. Hasil Perolehan Fungsi L1 dan L2 pada Keadaan Normal dengan 6 Peubah



Gambar 5. Hasil Perolehan Fungsi L1 dan L2 dengan 2 Peubah



Gambar 6. Hasil Perolehan Fungsi L3 dan L4 dengan 3 Peubah

Hasil yang diperoleh pada web tersebut perlu diganti setiap nama variabelnya sesuai dengan urutan kolom yang sudah ada. Sehingga diperoleh fungsi Boolean untuk tiap lampu pasang persimpangan sebagai berikut.

$$L1_N(T1, A, B, C2, C3, C4) = T1' * A * C2' * C3' * C4' + A * B' * C2' * C3' * C4'$$

$$= (T1' + B')AC2'C3'C4'$$

$$L2_N(T2, B, A, C1, C3, C4) = T2' * B * C1' * C3' * C4' + B * A' * C1' * C3' * C4'$$

$$= (T2' + A')BC1'C3'C4'$$

$$L1(C1, L1_N) = C1 + L1_N$$

$$L2(C2, L2_N) = C2 + L2_N$$

$$L3(C3, C1, L1) = C3 + C1' * L1$$

$$L4(C4, C2, L2) = C4 + C2' * L2$$

B. Pembahasan

Dari hasil yang didapat dari penyederhanaan fungsi Boolean menggunakan *Karnaugh Map*, dapat dinilai sudah cukup efektif karena menggunakan sedikit operator. Selain itu, semua variabel terpakai, sehingga bisa dibilang semua variabel yang dinilai berpengaruh, ternyata memang diperhitungkan pada tiap sistem.

Dari hasil yang diperoleh, dapat dideskripsikan untuk fungsi L1 dan L2 pada keadaan normal sebagai “lampu akan menyala pada keadaan normal jika waktu nyala lampu belum mencapai batas **atau** tidak ada kendaraan di jalur sebelah, **dengan** ketentuan terdapat kendaraan di jalur sendiri, dan tidak ada kendaraan darurat di jalur lain”. Fungsi L1 dan L2 pada seluruh kondisi juga dapat dideskripsikan sebagai “lampu akan menyala jika terdapat kendaraan darurat di jalur tersebut **atau** lampu menyala pada keadaan normal”. Dengan integrasi pada lampu di seberangnya, fungsi L3 dan L4 dapat dideskripsikan sebagai “lampu akan menyala jika terdapat kendaraan darurat di jalur tersebut, **atau** lampu seberang menyala **tetapi** tidak ada kendaraan darurat di jalur seberang”.

Dengan fungsi Boolean yang sudah disusun, sistem lampu lalu lintas menjadi bersifat adaptif berdasarkan kondisi kendaraan normal dan juga kendaraan darurat. Seharusnya dengan fungsi Boolean tersebut, terlihat bahwa sistem tersebut akan lebih efisien daripada sistem yang statis, karena tidak akan membuang waktu jika di suatu jalur tidak memiliki kendaraan sama sekali. Namun untuk menguji sistem tersebut secara sistematis, diperlukan adanya simulasi untuk membandingkan kedua sistem tersebut, salah satunya menggunakan SUMO [6].

C. Simulasi

Simulasi dilakukan untuk menguji efektifitas sistem lampu lalu lintas adaptif yang telah dirancang menggunakan logika Boolean yang telah disederhanakan dengan *Karnaugh Map* dibandingkan dengan sistem statis. Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak SUMO (Simulation of Urban Mobility) [6], karena dengan perangkat lunak tersebut dapat mensimulasikan model lalu lintas secara terisolasi. Terdapat juga parameter skenario yang diperlakukan sama terhadap kedua sistem tersebut, yaitu pengujian dilakukan selama 10 menit dengan jalur utara dan selatan memiliki frekuensi 1 kendaraan tiap 5 detik, sementara jalur timur dan barat memiliki frekuensi 1 kendaraan tiap 12 detik. Berikut merupakan hasil pengujian sistem lampu lalu lintas.

Tabel 10. Hasil Pengujian Simulasi Sistem Lampu Lalu Lintas

Sistem	Rerata Waktu Tunggu	Maks. Antrian
Konvensional	17,52 detik	12 buah
Adaptif	12,79 detik	12 buah

Diperoleh dari data tersebut bahwa dengan menggunakan sistem adaptif, waktu tunggu kendaraan normal berkurang sebesar 4,73 detik. Dengan itu, sistem adaptif bisa dibilang cukup efisien dalam segi waktu tunggu kendaraan.

V. KESIMPULAN & SARAN

A. Kesimpulan

Sistem lampu lalu lintas adaptif berhasil disusun menggunakan fungsi Boolean yang disederhanakan menggunakan *Karnaugh Map*. Sistem ini sudah diuji menggunakan simulasi lebih efisien dalam mengatur arus lalu lintas dalam persimpangan 4 jalur dua arah. Metode penyederhanaan *Karnaugh Map* menjadikan perancangan sistem logika menjadi lebih sederhana dan efisien. Hasil simulasi menggunakan SUMO [6] menunjukkan bahwa skenario lalu lintas dengan menggunakan sistem lampu lalu lintas adaptif dapat mengurangi waktu tunggu rata-rata kendaraan sebesar 4,73 detik dengan memberikan prioritas pada kendaraan darurat.

B. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan pengembangan lebih lanjut dalam segi jumlah kendaraan secara real-time untuk mendapatkan hasil yang objektif. Sistem yang dirancang ini juga bisa dikembangkan menjadi perangkat keras menggunakan mikrokontroler dan sensor untuk membuat simulasi secara fisik. Sangat disarankan juga untuk menguji sistem ini secara langsung di lingkungan nyata untuk memperoleh data yang kredibel. Penggunaan penyederhanaan fungsi juga memiliki metode alternatif, yaitu metode Quine-McCluskey atau metode lainnya yang lebih cocok dipakai untuk digunakan dalam sistem yang lebih kompleks.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada

1. Tuhan Yang Maha Esa,
2. Bapak Dr. Ir. Rinaldi, M.T.,
3. Bapak Arrival Dwi Sentosa, S.Kom., M.T.,
4. Orang tua penulis,
5. Teman-teman penulis, dan
6. Pihak-pihak lain

yang telah mendukung proses pembelajaran dan pengerjaan penulis pada makalah ini.

TAUTAN VIDEO (YOUTUBE)

Berikut merupakan tautan video presentasi makalah pada Youtube.

<https://youtu.be/pU72PI4htgM>

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. H. Rosen, "Discrete Mathematics and Its Applications", 8th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2019.
- [2] Rinaldi Munir, "Aljabar Boolean (Bagian 1)", [https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/13-Aljabar-Boolean-\(2024\)-bagian1.pdf](https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/13-Aljabar-Boolean-(2024)-bagian1.pdf), diakses pada 09 Juni 2025 pukul 18.00
- [3] Rinaldi Munir, "Aljabar Boolean (Bagian 2)", [https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/13-Aljabar-Boolean-\(2024\)-bagian2.pdf](https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/13-Aljabar-Boolean-(2024)-bagian2.pdf), diakses pada 09 Juni 2025 pukul 18.00
- [4] Erinofiardi, N. I. Supardi, and Redi, "Penggunaan PLC dalam Pengontrolan Temperatur, Simulasi pada *Prototype* Ruang", Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia, 2012.

- [5] Logic Circuit Simplification, [Online]. Tersedia: <http://www.32x8.com/index.html>, diakses pada 11 Juni 2025 pukul 17.00
- [6] SUMO – Simulation of Urban MObility, [Perangkat Lunak]. Tersedia: <https://eclipse.dev/sumo/>

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 20 Juni 2025



Moreno Syawali Ganda Sugita - 13524096