

AUTOMATIC TRAFFIC LIGHT SETTING SYSTEM USING PLC, CASE STUDY: FIVE MAIN INTERSECTIONS OF SOUTH TAMBUN

**SISTEM PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS OTOMATIS
MENGUNAKAN PLC, STUDI KASUS: SIMPANG LIMA UTAMA
TAMBUN SELATAN**

Yosua Julianto Perdamaian Sitompul¹, Antonius Doddy Tyas Prasetyo^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Indonesia
Email: antonius.prasetyo@uki.ac.id

Received: June 02, 2026 Revised: June 29, 2026 Published: July 01, 2026
DOI: <https://doi.org/10.24912/tesla.v28i1.37835>.

Abstract

Traffic congestion and road user safety risks are major problems that frequently occur at intersections, especially during peak hours. Therefore, a more efficient, intelligent, and flexible control system is needed to optimize vehicle flow regulation at each intersection. One of the solutions that can be implemented is a programmable logic controller (PLC) based automatic traffic light setting system. This technology allows for automatic and precise timing of traffic signals, according to the pre-programmed sequence and duration based on the desired traffic conditions. This study aims to design, simulate, and analyze PLC-based automatic traffic light setting systems at a main five-leg intersection (Simpang Lima) in South Tambun District, Bekasi Regency. The system is designed to be able to adjust the red, yellow, and green flashes alternately according to the specified logical order and time. The use of PLCs in this system provides advantages in terms of reliability, ease of programming, and the ability to perform accurate automatic controls. The method carried out in this study is to simulate PLC, with system design carried out through the creation of a block diagram function that represents the working logic of each lamp at the five legs of the intersection.

Keywords: Traffic lights, PLC, Automation, Simulation, Control system

Abstrak

Kemacetan lalu lintas dan risiko keselamatan pengguna jalan merupakan permasalahan utama yang sering terjadi di persimpangan, terutama pada jam sibuk. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian yang lebih efisien, cerdas, dan fleksibel untuk mengoptimalkan pengaturan arus kendaraan di setiap simpang. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah sistem pengaturan lampu lalu lintas otomatis berbasis *programmable logic controller* (PLC). Teknologi ini memungkinkan pengaturan waktu sinyal lalu lintas secara otomatis dan presisi, sesuai dengan urutan dan durasi yang telah diprogram berdasarkan kondisi lalu lintas yang diinginkan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, mensimulasikan, dan menganalisis sistem pengaturan lampu lalu lintas otomatis berbasis PLC pada persimpangan lima lengan (Simpang Lima) utama di Kecamatan Tambun Selatan, Kabupaten Bekasi. Sistem ini dirancang agar mampu mengatur nyala lampu merah, kuning, dan hijau secara bergantian sesuai urutan logika dan waktu yang ditentukan. Penggunaan PLC dalam sistem ini memberikan keunggulan dalam hal keandalan, kemudahan pemrograman, dan kemampuan Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan simulasi PLC, dengan perancangan sistem yang dilakukan melalui pembuatan *function* blok *diagram* yang merepresentasikan logika kerja dari setiap lampu pada lima lengan jalan persimpangan.

Kata Kunci: Lampu lalu lintas, PLC, Otomatisasi, Simulasi, Sistem kontrol

PENDAHULUAN

Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu permasalahan utama di berbagai kota besar di Indonesia [1] [2]. Pertumbuhan jumlah kendaraan yang terus meningkat setiap tahun tidak diimbangi dengan kapasitas jalan yang memadai, sehingga menyebabkan penumpukan kendaraan terutama pada persimpangan jalan. Kondisi ini menuntut adanya sistem manajemen lalu lintas yang lebih cerdas dan adaptif guna mengoptimalkan durasi lampu lalu lintas.

Penerapan lampu lalu lintas yang belum merata, ditambah dengan pengaturan manual yang kurang optimal pada persimpangan dengan volume kendaraan tinggi, sering kali menjadi hambatan dalam manajemen lalu lintas. Ketidakefektifan pengaturan tersebut tidak hanya memicu kemacetan, tetapi juga meningkatkan risiko keselamatan bagi pengguna jalan. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian yang lebih efisien, cerdas, dan fleksibel guna mengoptimalkan pengaturan arus kendaraan di setiap simpang dalam mengatasi permasalahan kemacetan yang ada.

Sistem yang diperlukan untuk permasalahan pengaturan lalu lintas ini adalah sistem pengaturan lampu lalu lintas otomatis. Sistem ini sangat berdampak untuk pengendalian lalu lintas yang lebih efisien, fleksibel dan dapat beradaptasi terhadap kondisi nyata di lapangan. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan untuk sistem pengaturan lampu lalu lintas otomatis adalah sistem pengaturan lampu lalu lintas berbasis *programmable logic controller* (PLC).

PLC pada dasarnya adalah sebuah komputer yang khusus dirancang untuk mengontrol suatu proses atau mesin. Proses yang dikontrol ini dapat berupa regulasi variabel secara berulang seperti pada sistem-sistem servo atau hanya melibatkan kontrol dua keadaan (on/off) saja tapi dilakukan secara berulang [3]. PLC bertindak sebagai otak pusat mesin dan proses. PLC menerima input dari sensor, memproses data melalui logika terprogram, dan menghasilkan sinyal output untuk mengontrol perangkat [4].

Bahasa pemrograman yang umum digunakan pada PLC adalah *ladder diagram*, FBD, dan *structured text* (ST). Dari ketiganya, *ladder diagram* paling banyak digunakan karena bentuknya menyerupai rangkaian listrik konvensional, sehingga mudah dipahami oleh teknisi dan mahasiswa teknik elektro. PLC memiliki banyak fitur yang sama dengan komputer pribadi, perbedaan terbesar adalah PLC dapat melakukan fungsi diskrit dan kontinu yang tidak dapat dilakukan oleh PC, dan PLC jauh lebih cocok untuk lingkungan industri yang keras. PLC dapat dianggap sebagai komputer digital yang 'tahan banting' yang mengelola proses elektromekanik di lingkungan industri [5].

Ladder diagram digunakan untuk merepresentasikan urutan logika kerja lampu merah, kuning, dan hijau secara bergantian. Setiap *rung* menggambarkan satu proses logika, misalnya:

- Ketika lampu hijau menyala, lampu merah dan kuning dalam keadaan mati.
- Setelah waktu tertentu, PLC mengaktifkan lampu kuning untuk beberapa detik, lalu berganti ke merah.
- Siklus ini kemudian diulang untuk arah berikutnya.

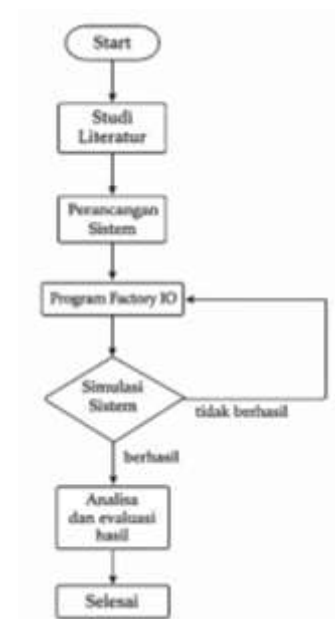
Pada sistem simpang lima, logika *ladder* diatur agar setiap simpang memiliki urutan waktu yang berbeda, namun tetap sinkron agar kendaraan dapat bergerak bergantian tanpa konflik arah.

Dalam studi kasus ini, sistem yang dirancang difokuskan pada pengaturan lampu lalu lintas otomatis untuk simpang lima utama di wilayah Tambun Selatan. Setiap simpang memiliki waktu dan urutan sinyal yang disesuaikan berdasarkan estimasi kepadatan kendaraan dan arah dominan lalu lintas. Dengan memanfaatkan PLC sebagai pusat pengendali, sistem ini dapat mensimulasikan pengaturan waktu lampu secara efisien melalui pemrograman *function block diagram* (FBD) & simulasi.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini termasuk penelitian terapan (*applied research*) berbasis simulasi. Fokus penelitian adalah perancangan dan simulasi sistem lampu lalu lintas Simpang Lima berbasis PLC menggunakan PLC *online simulator*. Pendekatan penelitian bersifat eksperimental dan kuantitatif, karena mengamati kinerja sistem (urutan lampu, sinkronisasi antar simpang, dan waktu tunggu kendaraan) secara terukur melalui simulasi [6].

Perancangan penulisan penelitian ini diilustrasikan menjadi *diagram* alir (*flowchart*). Gambar 1 menunjukkan *diagram* alir rancang bangun kendali *traffic light* Simpang lima berbasis PLC menggunakan program Factory IO. *Diagram* aliran tersebut bertujuan untuk memberi gambaran proses pelaksanaan rancang bangun.



Gambar 1 *Flowchart diagram* metodologi penelitian

HASIL DAN DISKUSI

Sistem lampu lalu lintas yang dirancang pada penelitian ini berfokus pada satu area persimpangan yang memiliki lima lengan/arah jalan (Simpang Lima), yang seluruhnya dikendalikan secara terpusat oleh satu unit PLC. Setiap lengan jalan memiliki tiga indikator lampu, yaitu lampu merah, kuning, dan hijau. Pengaturan sistem dirancang menggunakan logika *interlock* sedemikian rupa agar tidak terjadi konflik arus kendaraan di tengah simpang, sehingga kendaraan dapat bergerak secara bergantian dan aman, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



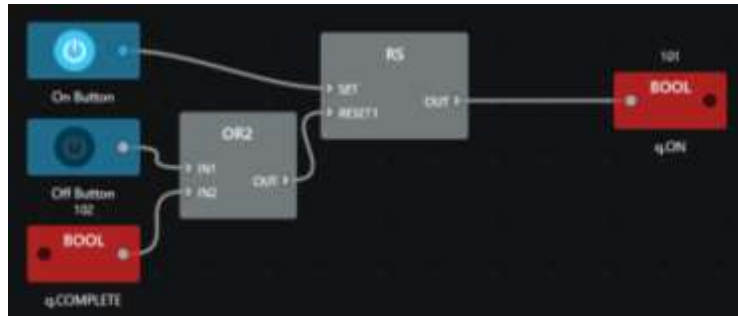
Gambar 2 Simulasi Persimpangan Lima Lengan menggunakan Factory I/O

Pada desain sistem ini, terdapat 5 lengan arah datangnya kendaraan, yaitu Lengan A, B, C, D, dan E. Ilustrasi alur lalu lintas (*flow*) dan logika kerjanya adalah sebagai berikut:

- 1) Konektivitas Alur (*Flow*): Karena kelima jalan tersebut bertemu di satu titik pusat persimpangan, maka kendaraan yang bergerak dari Lengan A dapat bermanuver menuju Lengan B, C, D, maupun E. Begitu pula sebaliknya, kendaraan dari Lengan B, C, D, atau E dapat menuju ke lengan mana pun. Konektivitas penuh ini membutuhkan pengaturan fase (*phasing*) yang sangat presisi pada PLC agar tidak terjadi tabrakan.
- 2) Pola Gerakan dan Pentahapan (*Phasing*): Dalam mengakomodasi pergerakan dari Lengan A ke arah lainnya secara aman, sistem menerapkan strategi alternating traffic *flow*. Misalnya, saat Lengan A dan D diberikan sinyal hijau bersamaan, hal ini didasarkan pada logika bahwa arah lurus A dan D tidak saling memotong di tengah simpang. Sementara itu, lengan lainnya (B, C, dan E) berada dalam kondisi merah (*interlock*).
- 3) Logika Transisi PLC: Setelah durasi hijau pada lengan yang aktif berakhir, sistem akan memberikan sinyal lampu kuning sebagai fase transisi (*Clearance interval* atau waktu pembersihan area persimpangan). Penentuan durasi transisi ini secara kritis mempertimbangkan jarak konflik fisik persimpangan (lebar area tengah Simpang Lima). Semakin luas area persimpangan, semakin lama waktu transisi yang dibutuhkan agar kendaraan yang masuk dapat keluar dengan aman sebelum lengan lain mendapatkan sinyal hijau. Setelah fase transisi selesai, lampu berubah menjadi merah dan program PLC secara berurutan akan menggeser siklus hijau ke lengan berikutnya.

Konfigurasi input PLC pada sistem ini terdiri dari tombol ON dan tombol OFF yang digunakan sebagai kendali utama pengoperasian sistem. Tombol ON berfungsi

untuk mengaktifkan sistem lampu lalu lintas, sedangkan tombol OFF digunakan untuk menghentikan atau me-reset sistem. Kedua input tersebut diproses menggunakan logika OR dan RS *flip-flop* sehingga sistem hanya akan berjalan ketika kondisi aktif q.ON bernilai logika satu. Dengan konfigurasi ini, logika *ladder diagram* dapat dijalankan secara terstruktur dan sistem bekerja sesuai dengan rancangan seperti diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3 FBD untuk konfigurasi input dan output

Ladder diagram dirancang untuk merepresentasikan urutan kerja lampu lalu lintas pada simpang lima. Setiap simpang memiliki satu rangkaian logika utama.

a. FBD Simpang A dan D

Sinyal Q_ON merupakan output dari rangkaian kontrol ON/OFF sistem yang berfungsi sebagai syarat utama agar *ladder diagram* dapat berjalan. Ketika tombol ON ditekan, Q_ON bernilai logika satu (1) dan mengaktifkan seluruh rangkaian pengendalian lampu lalu lintas. Apabila sistem di-reset atau tombol OFF ditekan, Q_ON akan bernilai nol (0) dan seluruh output lampu akan mati.

Lampu hijau dikendalikan menggunakan logika XOR dan *Timer* TON. Ketika Q_ON aktif dan sistem berada pada kondisi awal, *Timer* TON dengan waktu tunda PT = 30 detik akan mulai bekerja. Selama *Timer* aktif, *output Light Indicator (Green)* menyala, menandakan kendaraan diperbolehkan melintas pada simpang A & D.

Selain itu, nilai waktu yang tersisa ditampilkan pada *digital display* melalui proses pembagian nilai waktu *Timer* dengan konstanta 1000, sehingga waktu dapat ditampilkan dalam satuan detik. Setelah *Timer* lampu hijau selesai, sistem berpindah ke kondisi STEP 1 (Q_STEP1). Pada tahap ini, lampu hijau akan mati dan lampu kuning akan menyala. Lampu kuning berfungsi sebagai tanda peringatan bahwa lampu akan segera berubah ke merah.

Lampu kuning dikendalikan menggunakan kombinasi logika XOR dan XOR3 yang memastikan hanya satu lampu yang aktif pada satu waktu. *Timer* TON dengan waktu tunda PT = 5000 ms (5 detik) digunakan untuk mengatur durasi lampu kuning. Penentuan durasi 5 detik ini dihitung berdasarkan rumus matematis *Clearance interval* [7] sebagai berikut:

$$t_{jeda} = \left(t_{reaksi} + \frac{v}{2a} \right) + \frac{w + L}{v} \quad (1)$$

dimana:

t_{jeda} = Waktu jeda transisi keamanan (detik)

SISTEM PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS OTOMATIS MENGGUNAKAN PLC, STUDI KASUS: SIMPANG LIMA UTAMA TAMBUN SELATAN

t_{reaksi} = Waktu reaksi pengemudi (standar 1 detik)

v = Kecepatan rata-rata kendaraan saat melintasi simpang (m/s)

a = Tingkat deselerasi pengereman yang aman (m/s²)

w = Jarak lintasan kritis / lebar bersih area konflik persimpangan (meter)

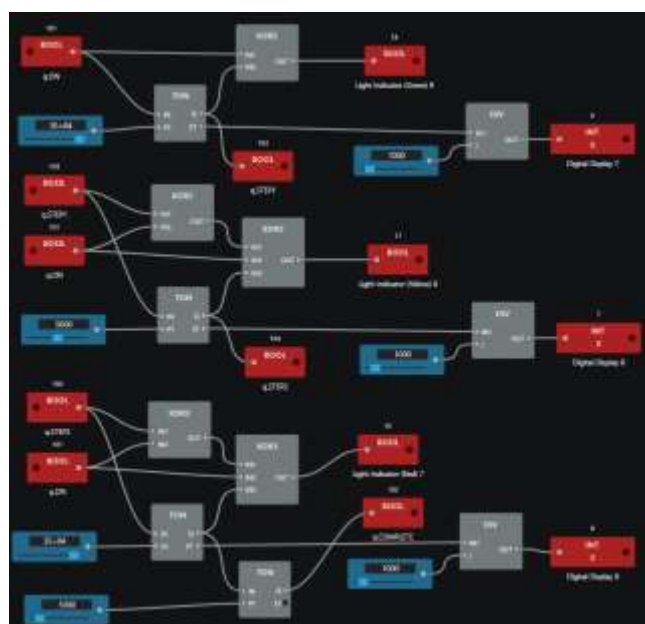
L = Panjang rata-rata kendaraan (meter)

Melalui persamaan 1, variabel jarak persimpangan (w) pada geometri Simpang Lima Tambun Selatan yang cenderung luas memerlukan waktu pengosongan area tengah yang lebih lama. Oleh karena itu, diperoleh nilai representatif sebesar 5 detik (5000 ms) yang dikunci ke dalam parameter *Timer* TON PLC guna memastikan tidak ada kendaraan dari fase sebelumnya yang tertinggal di area konflik saat fase berikutnya dimulai. Setelah waktu lampu kuning selesai, sistem masuk ke kondisi STEP 2 (Q_STEP2). Pada tahap ini, lampu merah akan menyala sebagai tanda kendaraan harus berhenti. Lampu merah dikendalikan menggunakan logika XOR2 dan XOR3 yang dikombinasikan dengan sinyal Q_ON dan Q_STEP2.

Durasi lampu merah diatur menggunakan *Timer* TON dengan waktu tunda PT = 3×10^4 ms (30 detik). Sama seperti tahap sebelumnya, sisa waktu lampu merah juga ditampilkan pada *digital display* dalam satuan detik. Setelah siklus lampu merah selesai, sistem akan mengaktifkan sinyal Q_COMPLETE yang menandakan bahwa satu siklus penuh pengaturan lampu lalu lintas pada simpang A & D telah selesai. Sinyal ini kemudian digunakan untuk:

- 1) Me-reset langkah (STEP)
- 2) Mengembalikan sistem ke kondisi awal
- 3) Mengulangi siklus pengaturan lampu secara otomatis

Dengan mekanisme ini, sistem dapat bekerja secara terus-menerus tanpa intervensi manual selama Q_ON tetap aktif, dan berdasarkan hal tersebut FBD untuk simpang A dan D dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 FBD untuk simpang A dan D

b. FBD Konfigurasi Simpang B, C, dan E

Sinyal Q_ON merupakan output dari rangkaian kontrol ON/OFF sistem yang berfungsi sebagai syarat utama agar *ladder diagram* dapat berjalan. Ketika tombol ON ditekan, Q_ON bernilai logika satu (1) dan mengaktifkan seluruh rangkaian pengendalian lampu lalu lintas. Apabila sistem di-reset atau tombol OFF ditekan, Q_ON akan bernilai nol (0) dan seluruh output lampu akan mati.

Lampu merah dikendalikan menggunakan logika XOR dan *Timer* TON. Ketika Q_ON aktif dan sistem berada pada kondisi awal, *Timer* TON dengan waktu tunda PT = 30 detik akan mulai bekerja. Selama *Timer* aktif, output *Light Indicator (Red)* menyala, menandakan kendaraan tidak diperkenankan melintas pada Lengan B, C, dan E.

Selain itu, nilai waktu yang tersisa ditampilkan pada *digital display* melalui proses pembagian nilai waktu *Timer* dengan konstanta 1000, sehingga waktu dapat ditampilkan dalam satuan detik. Setelah *Timer* lampu merah selesai, sistem berpindah ke kondisi STEP 1 (Q_STEP1). Pada tahap ini, lampu merah akan mati dan lampu kuning akan menyala. Lampu kuning berfungsi sebagai tanda peringatan bahwa lampu akan segera berubah ke hijau.

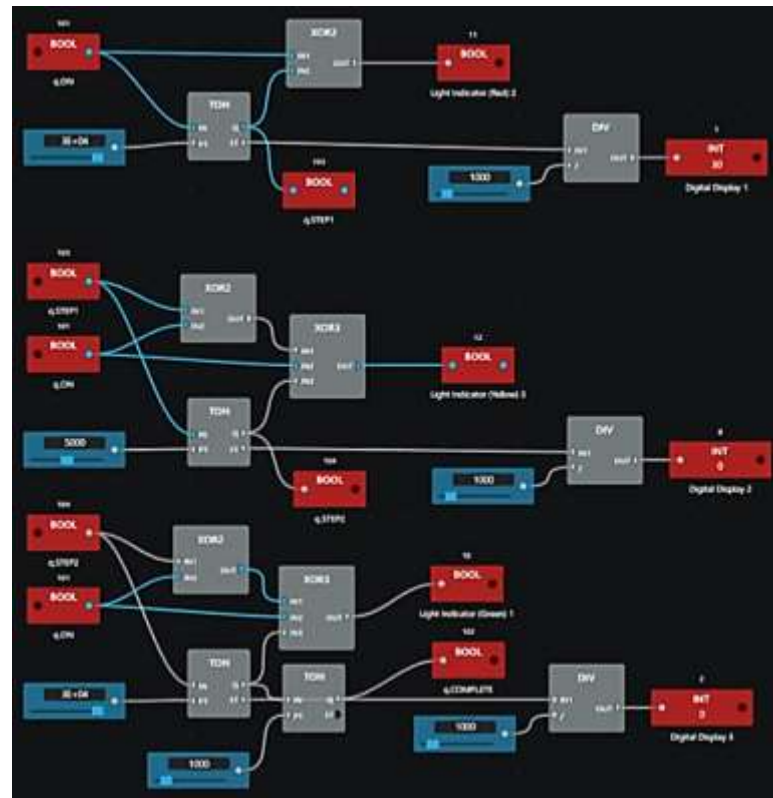
Lampu kuning dikendalikan menggunakan kombinasi logika XOR dan XOR3 yang memastikan hanya satu lampu yang aktif pada satu waktu. *Timer* TON dengan waktu tunda PT = 5000 ms (5 detik) digunakan untuk mengatur durasi lampu kuning. Pertimbangan jarak geometris persimpangan dan formula perhitungan *clearance interval* pada komponen ini mengacu pada persamaan lintas konflik yang sama dengan Lengan A dan D sebelumnya. Setelah waktu lampu kuning selesai, sistem masuk ke kondisi STEP 2 (Q_STEP2). Pada tahap ini, lampu merah akan menyala sebagai tanda kendaraan harus berhenti. Lampu merah dikendalikan menggunakan logika XOR2 dan XOR3 yang dikombinasikan dengan sinyal Q_ON dan Q_STEP2.

Durasi lampu merah diatur menggunakan *Timer* TON dengan waktu tunda PT = 3×10^4 ms (30 detik). Sama seperti tahap sebelumnya, sisa waktu lampu merah juga ditampilkan pada *digital display* dalam satuan detik. Setelah siklus lampu merah selesai, sistem akan mengaktifkan sinyal Q_COMPLETE yang menandakan bahwa satu siklus penuh pengaturan lampu lalu lintas pada simpang B, C & E telah selesai. Sinyal ini kemudian digunakan untuk:

- 1) Me-reset langkah (STEP)
- 2) Mengembalikan sistem ke kondisi awal
- 3) Mengulangi siklus pengaturan lampu secara otomatis

Dengan mekanisme ini, sistem dapat bekerja secara terus-menerus tanpa intervensi manual selama Q_ON tetap aktif. Berdasarkan langkah-langkah tersebut, FBD untuk konfigurasi simpang B, C dan E dapat dilihat pada gambar 5.

SISTEM PENGATURAN LAMPU LALU LINTAS OTOMATIS MENGGUNAKAN PLC, STUDI KASUS: SIMPANG LIMA UTAMA TAMBUN SELATAN



Gambar 5 FBD untuk konfigurasi simpang B, C dan E

Simulasi sistem dilakukan menggunakan program Factory IO. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh beberapa hasil utama sebagai berikut:

- Lampu lalu lintas menyala sesuai urutan logika yang telah diprogram.
- Tidak terjadi konflik nyala lampu hijau antar simpang.
- Waktu siklus lampu berjalan stabil dan konsisten.
- Sistem dapat bekerja secara otomatis setelah tombol *start* diaktifkan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa satu siklus penuh pengaturan simpang lima berjalan sesuai dengan rancangan dan dapat diulang secara terus-menerus.

Berdasarkan hasil simulasi, sistem pengaturan lampu lalu lintas berbasis PLC mampu mengatur lima lengan jalan secara terkoordinasi. Penggunaan *ladder diagram* mempermudah perancangan logika kontrol dan memungkinkan pengaturan waktu yang presisi. Jika dibandingkan dengan pengaturan manual oleh petugas, sistem ini memiliki keunggulan dalam konsistensi waktu dan minim kesalahan. Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa PLC efektif digunakan sebagai pengendali sistem lalu lintas otomatis. Perbedaan utama penelitian ini terletak pada kompleksitas geometri persimpangan yang dikendalikan, yaitu persimpangan dengan lima lengan arah (Simpang Lima) yang membutuhkan sinkronisasi fase lalu lintas yang jauh lebih rumit dibandingkan simpang empat konvensional.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pengaturan lampu lalu lintas otomatis berbasis PLC pada Simpang Lima di Kecamatan Tambun Selatan berhasil dirancang dan dioperasikan

dengan baik. Logika kendali yang direalisasikan melalui *ladder diagram* dan FBD mampu mengatur urutan serta durasi nyala lampu merah, kuning, dan hijau secara terkoordinasi tanpa menimbulkan konflik antararah lalu lintas. Hasil simulasi menunjukkan sistem bekerja secara otomatis, stabil, dan berulang sesuai parameter waktu yang telah ditentukan. Dibandingkan dengan pengaturan manual menggunakan pemandu jalan, sistem ini berpotensi meningkatkan efisiensi pengaturan lalu lintas serta mengurangi antrean kendaraan akibat konflik arah yang tidak terkoordinasi. Dengan keandalan dan fleksibilitas pemrograman yang dimiliki PLC, sistem ini memiliki potensi besar untuk diterapkan sebagai solusi pengendalian lalu lintas yang lebih aman dan efektif.

Dalam pengembangan selanjutnya, sistem pengaturan lampu lalu lintas berbasis PLC ini dapat ditingkatkan dengan menambahkan sensor kendaraan guna menyesuaikan durasi lampu secara dinamis berdasarkan kepadatan lalu lintas. Selain itu, integrasi dengan teknologi *internet of things* (IoT) dapat dilakukan untuk memungkinkan pemantauan dan pengendalian sistem secara jarak jauh. Implementasi pada perangkat PLC fisik serta pengujian langsung di lapangan juga disarankan agar kinerja sistem dapat dianalisis lebih akurat dalam kondisi lalu lintas yang nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Maulana, "Strategi penanganan lalu lintas pada kawasan Central Business District (CBD) di Kota Pekanbaru berdasarkan pendekatan teknis," *Racic Rab Constr. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–11, Jun. 2021, doi: 10.36341/racic.v6i1.1579.
- [2] L. Indriani and D. K. Habibie, "Implementasi kebijakan rekayasa lalu lintas: Studi kasus sistem satu arah dan U-Turn di Kota Pekanbaru," *Indonesian Journal of Social Science and Education (IJOSSE)*, vol. 1, no. 3, pp. 415–424, 2025.
- [3] J. F. Sam and N. S. Billa, "Simulasi traffic light simpang empat berbasis PLC OMRON tipe CP1E-E14SDR-A," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (JTEK)*, vol. 12, no. 2, pp. 533–543, 2023.
- [4] GeeksforGeeks, "What is a Programmable Logic Controller (PLC) | Working and structure," [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/electrical-engineering/what-is-a-programmable-logic-controllers-plc/>.
- [5] Electrical4U, "Programmable Logic Controllers (PLCs): Basics, types & applications," [Online]. Available: <https://www.electrical4u.com/programmable-logic-controllers/>.
- [6] S. S. Amrollah and P. W. Rusimamto, "Rancang bangun modul trainer dan traffic light simpang empat menggunakan PLC OMRON CP1E E30DR-A," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 638–644, 2021.
- [7] Institute of Transportation Engineers (ITE), *Traffic Engineering Handbook*, 7th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2016.