



Sistem Kontrol *Time Based Scheduling* Menggunakan Plc Untuk Efisiensi Konsumsi Daya Listrik Pada Studio Musik

Gita Rolland Ibanez ^{1*}, Ayusta Lukita Wardani ², Daeng Rahmatullah ³, As'ad Shidqy Aziz ⁴

^{1,2,3,4} Sarjana Terapan Teknik Listrik, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Kota Surabaya, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Juli 31, 2026

Revised Agustus 01, 2026

Accepted Agustus 02, 2026

Keywords:

Time Based Scheduling

PLC

HMI

Faktor Daya

Efisiensi Daya

ABSTRACT

Unscheduled electricity usage in music studios may lead to energy wastage due to electrical loads remaining switched on outside operating hours. This study aims to design and implement a Time-Based Scheduling system using an Omron Programmable Logic Controller (PLC) and a Haiwell Human-Machine Interface (HMI) to automate the operation of electrical loads according to predetermined schedules. The system is equipped with a PZEM sensor to monitor electrical parameters in real time and a capacitor to compensate reactive power and improve the power factor. The research method consisted of hardware and software design, system implementation, and performance testing. System performance was evaluated by comparing electricity consumption before and after the implementation of the Time-Based Scheduling system. In addition, the accuracy of the PZEM sensor was assessed by comparing its measurements with those obtained using a clamp meter. The results demonstrate that the system successfully controlled electrical loads automatically according to the predefined schedule. The PZEM sensor produced measurements that closely matched the reference instrument, with average deviations of 2.24 V for voltage and 0.0058 A for current. Electricity consumption decreased from 55 Wh to 52 Wh, resulting in an energy saving of 5.45%. Although the reduction in energy consumption was relatively modest, the proposed system improved operational discipline, reduced the potential for human error, and supported more efficient electricity management.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Gita Rolland Ibanez

Universitas Negeri Surabaya, Kota Surabaya, Indonesia

Email: gitarolland.21025@mhs.unesa.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan penggunaan energi listrik pada ruang yang memiliki jadwal operasional tertentu menjadi salah satu aspek penting dalam upaya meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Pada fasilitas yang masih menggunakan pengoperasian secara manual, proses penyalaan dan pemadaman beban listrik sangat bergantung pada operator sehingga terdapat kemungkinan terjadinya keterlambatan maupun kelalaian dalam pengoperasian. Kondisi tersebut dapat menyebabkan peralatan listrik tetap beroperasi ketika ruangan sudah tidak digunakan dan pada akhirnya menimbulkan konsumsi energi yang tidak diperlukan. Penerapan sistem kontrol otomatis berdasarkan kondisi penggunaan ruangan telah banyak dikembangkan sebagai salah satu pendekatan untuk mengurangi penggunaan energi yang tidak diperlukan. Sistem kontrol berbasis okupansi, misalnya, telah menunjukkan potensi dalam mengurangi konsumsi energi dengan menyesuaikan operasi beban terhadap kondisi penggunaan ruangan [1], [2].

Konsep pengendalian berdasarkan waktu juga dapat diterapkan untuk mengatur operasi beban sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Sistem *building energy management* dengan pendekatan *scheduling* memungkinkan pengaturan aliran energi dan operasi komponen berdasarkan periode waktu tertentu sehingga penggunaan energi dapat dikendalikan secara lebih terstruktur [3]. Penjadwalan beban juga telah diterapkan pada sistem manajemen energi bangunan untuk menentukan waktu operasi peralatan dengan

mempertimbangkan kondisi dan kebutuhan penggunaan energi [4]. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa pengaturan waktu operasi beban dapat menjadi salah satu metode untuk meningkatkan keteraturan pengoperasian sekaligus mengurangi potensi penggunaan energi di luar kebutuhan.

Programmable Logic Controller (PLC) merupakan salah satu perangkat yang banyak digunakan dalam sistem otomasi karena mampu menjalankan proses pengendalian berdasarkan program yang telah ditentukan serta memiliki kemampuan integrasi dengan berbagai perangkat input dan output [5]. PLC dapat digunakan untuk mengendalikan berbagai jenis beban secara otomatis menggunakan logika pemrograman, termasuk pengendalian peralatan pada sistem bangunan [6]. Penggunaan PLC dalam manajemen energi juga telah diterapkan untuk mengendalikan distribusi daya listrik ke berbagai beban berdasarkan kondisi operasi secara real-time [7]. Selain itu, penerapan PLC dan sistem monitoring pada pengendalian peralatan seperti pendingin ruangan menunjukkan bahwa otomatisasi dapat digunakan untuk mengatur operasi beban sekaligus memantau parameter sistem secara lebih terstruktur [8].

Kemampuan PLC dalam mengimplementasikan fungsi penjadwalan memberikan peluang untuk diterapkan pada fasilitas yang memiliki waktu penggunaan yang terjadwal. Sistem otomasi berbasis PLC dapat mengintegrasikan fungsi pengaturan waktu, pengendalian beban, serta operasi manual sehingga sistem dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna [6], [9]. Fleksibilitas tersebut juga memungkinkan sistem dikembangkan dengan menambahkan perangkat atau fungsi baru tanpa mengubah keseluruhan mekanisme pengendalian. Perkembangan sistem otomasi berbasis PLC bahkan telah diarahkan pada penggunaan arsitektur modular agar sistem dapat beradaptasi terhadap perubahan kebutuhan dan penambahan perangkat pada sistem [10].

Pada studio musik, penggunaan peralatan listrik seperti amplifier, pencahayaan, pendingin ruangan, dan peralatan pendukung lainnya menyebabkan kebutuhan energi bergantung pada durasi penggunaan studio. Sistem pengelolaan studio yang masih dilakukan secara manual mengharuskan operator menyalakan dan mematikan suplai listrik sesuai dengan jadwal penyewaan pelanggan. Kondisi tersebut dapat menjadi kurang efektif ketika operator terlambat melakukan pengoperasian atau ketika pelanggan masih menggunakan ruangan setelah waktu sewa berakhir. Permasalahan pengelolaan waktu pada studio musik telah menjadi perhatian pada penelitian sebelumnya. Saputra dkk. mengembangkan sistem perhitungan waktu rental studio musik berbasis Arduino dengan validasi RFID untuk membantu pengelolaan waktu penggunaan studio [11]. Penelitian lain mengembangkan sistem pemantauan dan kontrol waktu studio musik berbasis RFID yang terintegrasi dengan Internet of Things (IoT), termasuk pengendalian perangkat elektronik seperti lampu dan stop kontak berdasarkan waktu penggunaan [12].

Meskipun penelitian sebelumnya telah menerapkan RFID, mikrokontroler, dan IoT untuk membantu pengelolaan waktu studio musik [11], [12], pendekatan tersebut lebih menitikberatkan pada identifikasi pengguna, validasi akses, dan pengelolaan waktu rental. Sementara itu, penerapan PLC sebagai pengendali utama dengan metode *time based scheduling* untuk mengatur penyalan dan pemadaman suplai beban kelistrikan studio musik masih memiliki peluang untuk dikembangkan. Penggunaan PLC memungkinkan proses penjadwalan dilakukan secara terpusat dan dapat dikombinasikan dengan fungsi operasi manual serta pengembangan jumlah beban melalui ketersediaan kanal input/output. Selain pengendalian waktu, sistem manajemen energi juga dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan karakteristik beban dan parameter kelistrikan yang terukur [7], [13].

Salah satu parameter yang dapat diperhatikan dalam pengelolaan energi listrik adalah faktor daya. Beban dengan faktor daya rendah dapat menyebabkan meningkatnya daya semu dan arus yang mengalir pada sistem. Penggunaan kapasitor merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk melakukan kompensasi daya reaktif dan meningkatkan faktor daya [14]. Namun, kapasitas kapasitor harus disesuaikan dengan kondisi beban karena nilai kompensasi yang terlalu besar dapat menyebabkan kondisi *overcompensation*. Oleh karena itu, sistem kompensasi otomatis dengan pengaturan kapasitor secara bertahap dapat digunakan untuk menyesuaikan kebutuhan kompensasi terhadap kondisi beban [15], [16]. Penerapan kontrol berbasis PLC pada sistem kompensasi faktor daya juga telah diteliti dengan menggunakan mekanisme penyalan dan pemadaman beberapa tingkat kapasitor sesuai parameter kelistrikan yang terukur [15].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan Sistem Kontrol *Time Based Scheduling* Menggunakan PLC FX3U untuk Efisiensi Konsumsi Daya Listrik pada Studio Musik. Sistem yang dikembangkan memungkinkan operator mengatur hari dan waktu penyalan serta pemadaman beban melalui antarmuka HMI sehingga pengoperasian tidak lagi sepenuhnya bergantung pada tindakan manual operator. PLC FX3U digunakan sebagai pengendali utama untuk menjalankan jadwal berdasarkan waktu yang telah ditentukan dan mengendalikan suplai daya ke beban studio. Sistem juga dilengkapi dengan fungsi monitoring parameter kelistrikan serta pengujian kompensasi faktor daya menggunakan kapasitor. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *time based scheduling* berbasis PLC FX3U pada studio musik, menguji ketepatan waktu penyalan dan pemadaman beban sesuai jadwal yang ditentukan, serta menganalisis pengaruh penerapan sistem terhadap konsumsi energi listrik. Selain itu, penelitian ini bertujuan

untuk mengetahui pengaruh variasi kapasitor terhadap faktor daya dan daya semu pada beban sebagai bagian dari upaya pengelolaan penggunaan energi listrik pada studio musik.

2. METODE

Jenis penelitian yang digunakan ada penelitian tugas akhir ini adalah penelitian secara kuantitatif. Metode penelitian jenis ini digunakan untuk menguji instrumen penelitian dan beberapa parameter yang diangkat dan mengumpulkan data-data berupa tabel analisa dari beberapa jurnal *review* dan sumber lain yang terpercaya kredibilitas dan kebenaran data nya untuk mendapatkan suatu kesimpulan apakah hipotesis yang telah dibuat ini dapat diterima atau sebaliknya yakni hipotesis yang telah dibuat ditolak.

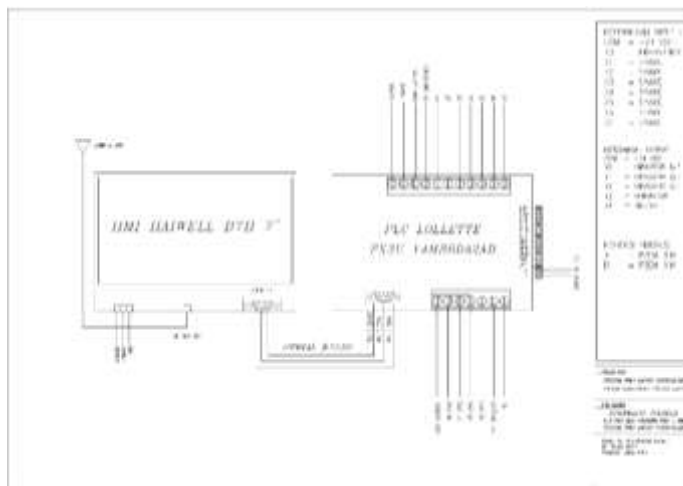
Pada sistem *Time-Based Scheduling* yang dirancang dalam penelitian ini, PLC hanya memanfaatkan fitur digital output untuk memberikan sinyal (*trigger*) penyalan kontaktor. Kontaktor tersebut berfungsi sebagai saklar otomatis yang mengendalikan proses penyalan dan pemadaman beban kelistrikan pada studio musik sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

2.1 Rancangan Alat

Pada gambar 1 digital output PLC yang digunakan ialah channel Y0 hingga Y4. Channel Y0, Y1, dan Y2 digunakan untuk mengaktifkan relay yang memicu penyambungan kapasitor dengan nilai kapasitansi masing-masing 1 μF , 2 μF , dan 3 μF sebagai kompensator daya reaktif. Sementara itu, *channel* Y3 digunakan untuk mengaktifkan relay yang memicu kontaktor sebagai pengendali beban, dan *channel* Y4 digunakan untuk mengaktifkan buzzer lamp DC 24 V sebagai indikator operasi sistem.

Pada sisi common input, PLC menggunakan tegangan -24 VDC kerana PLC Lollette FX3U-14MR direka dengan konfigurasi sinking input, sehingga common input dihubungkan ke terminal -24 VDC . Untuk digital input yang digunakan adalah X0 yang mana akan digunakan sebagai inputan dari push button *emergency*.

Sementara itu, common output PLC dihubungkan ke $+24\text{ VDC}$ agar digital output PLC menghasilkan keluaran bertipe sourcing dengan tegangan $+24\text{ VDC}$. Konfigurasi ini memastikan setiap digital output mampu memberikan tegangan positif kepada relay sehingga proses pengaktifan kontaktor, kapasitor, dan buzzer lamp dapat berlangsung dengan baik.



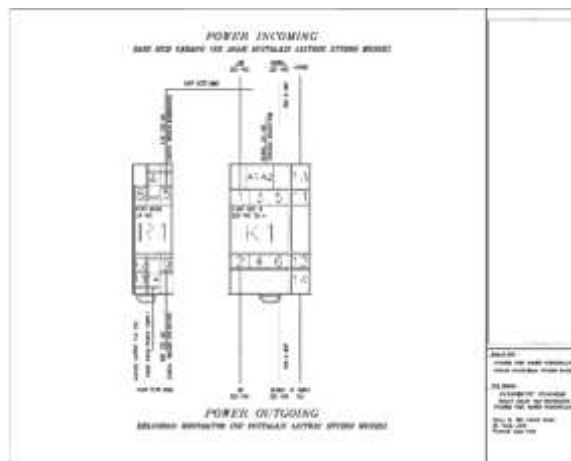
Gambar 1 Diagram Skematik IO PLC

Berdasarkan diagram skematik *wiring* relay dan kontaktor pada gambar 2, channel digital output Y0 dari PLC dihubungkan ke terminal positif (*coil*) relay 24 VDC, sedangkan terminal negatif (*coil*) relay dihubungkan langsung ke terminal -24 VDC . Dengan konfigurasi tersebut, ketika digital output Y0 aktif, relay 24 VDC akan turut aktif. Relay 24 VDC berfungsi sebagai pemicu (*trigger*) penyalan kontaktor, yang pada sistem ini berperan sebagai saklar otomatis untuk menghubungkan dan memutus suplai daya listrik ke beban pada studio musik.

Pada sisi kontak relay, terminal common dari kontak Normally Open (NO) dihubungkan ke terminal fasa 220 VAC, sedangkan terminal keluaran kontak NO dihubungkan ke terminal A1 pada kontaktor. Terminal A2 kontaktor kemudian dihubungkan ke terminal netral. Dengan konfigurasi ini, ketika relay 24 VDC aktif, kontak NO akan menutup sehingga tegangan fasa 220 VAC mengalir ke kumparan kontaktor dan mengaktifkan kontaktor tersebut. Penghubungan antara kontak NO relay dengan terminal fasa 220 VAC maupun terminal

A1 kontaktor dapat dipertukarkan karena kontak NO hanya berfungsi sebagai saklar, berbeda dengan terminal kumparan (*coil*) kontaktor yang harus dipasang sesuai polaritas dan konfigurasi yang ditentukan.

Selanjutnya, sisi incoming berupa penghantar fasa dan netral dari instalasi listrik yang berasal dari MCB induk dihubungkan ke kontak utama kontaktor. MCB induk berfungsi sebagai saklar utama untuk mengoperasikan beban listrik secara manual. Adapun sisi outgoing dari kontak utama kontaktor dihubungkan langsung ke instalasi beban kelistrikan pada studio musik, seperti lampu penerangan serta beberapa kotak kontak yang digunakan untuk menyuplai daya ke amplifier, kabinet speaker, dan perangkat *sound output*. Dengan konfigurasi ini, kontaktor dapat mengendalikan penyalan dan pemadaman seluruh beban listrik secara otomatis sesuai perintah dari PLC.

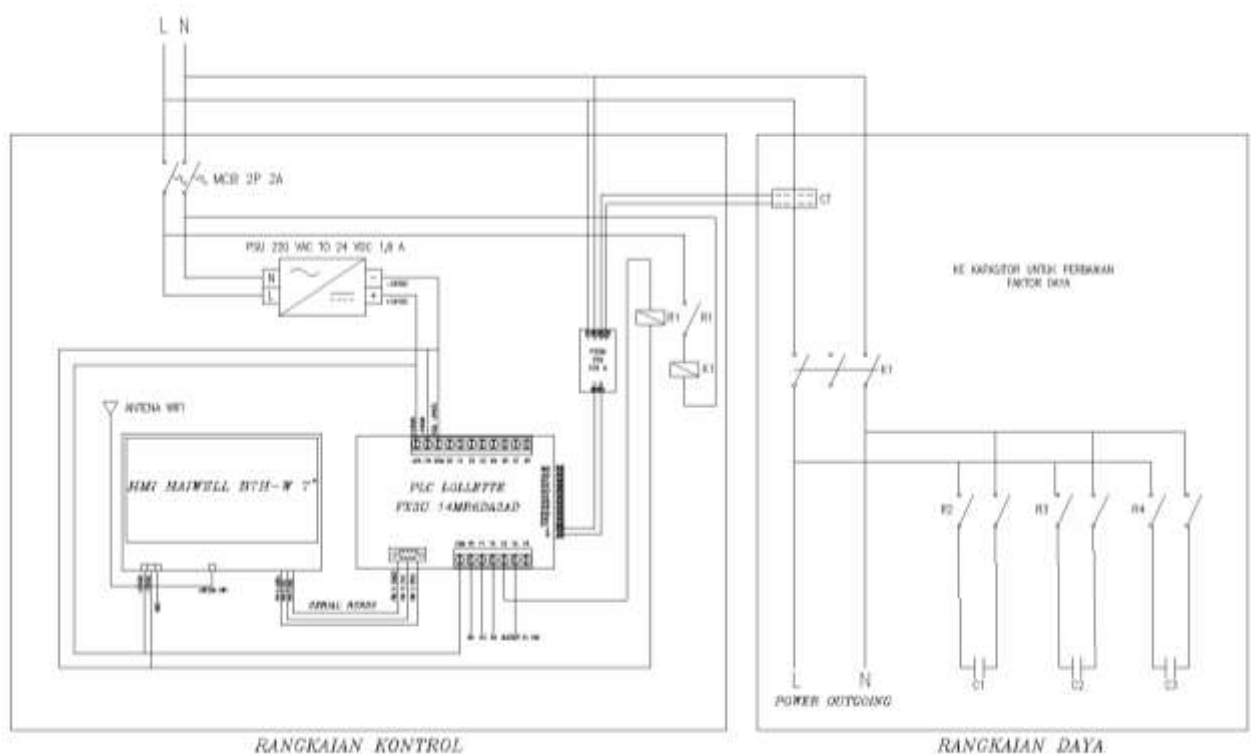


Gambar 2 *Wiring Diagram* Kontaktor dan Relay

Pada diagram skematik rangkaian secara keseluruhan, sistem terdiri dari rangkaian kontrol dan rangkaian daya yang memiliki spesifikasi kabel dan komponen sesuai dengan kebutuhan sistem. Pada sisi rangkaian kontrol digunakan kabel jenis NYAF dengan ukuran 0,75 mm². Pemilihan ukuran kabel tersebut didasarkan pada penggunaan MCB kontrol dengan kapasitas 2 A, sehingga berdasarkan faktor kebutuhan KHA sebesar $1,25 \times 2$ A diperoleh kebutuhan KHA minimum sebesar 2,5 A. Kabel NYAF berukuran 0,75 mm² memiliki KHA sekitar 6–7 A, sehingga kapasitas tersebut telah mencukupi kebutuhan hantar arus pada rangkaian kontrol sesuai dengan persyaratan instalasi listrik.

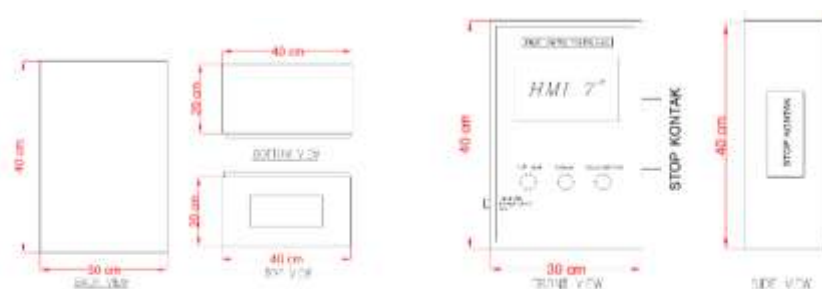
Rangkaian kontrol mengambil sumber tegangan dari incoming MCB induk yang digunakan untuk mengatur penyalan dan pemadaman beban kelistrikan pada studio musik. Sumber tersebut kemudian dibatasi menggunakan MCB kontrol dengan kapasitas 2 A. Pemilihan MCB kontrol disesuaikan dengan penggunaan power supply berkapasitas 1,8 A yang digunakan khusus untuk menyuplai kebutuhan rangkaian kontrol, meliputi PLC, sinyal digital input PLC, sinyal digital output PLC untuk memicu relay, serta HMI. Dengan demikian, penggunaan MCB 2 A dinilai sesuai untuk memberikan pengamanan terhadap rangkaian kontrol dan power supply yang digunakan.

Pada sisi rangkaian daya digunakan kontaktor dengan kapasitas kontak utama sebesar 25 A. Dengan kapasitas tersebut, sistem kontrol dapat digunakan untuk mengendalikan beban kelistrikan studio musik hingga sekitar 4,4 kW pada sistem satu fasa. Sementara itu, kabel yang digunakan pada rangkaian daya adalah kabel jenis NYAF dengan ukuran 4 mm² yang memiliki kapasitas hantar arus sekitar 34 A. Kapasitas tersebut telah memenuhi kebutuhan hantar arus pada kontak utama kontaktor sebesar 25 A. Berdasarkan faktor kebutuhan KHA sebesar $1,25 \times 25$ A, diperoleh kebutuhan minimum sebesar 31,25 A, sehingga penggunaan kabel NYAF 4 mm² dengan KHA sekitar 34 A telah memenuhi kebutuhan rangkaian daya.



Gambar 3 Skematik Keseluruhan Sistem (Rangkaian Kontrol dan Rangkaian Daya)

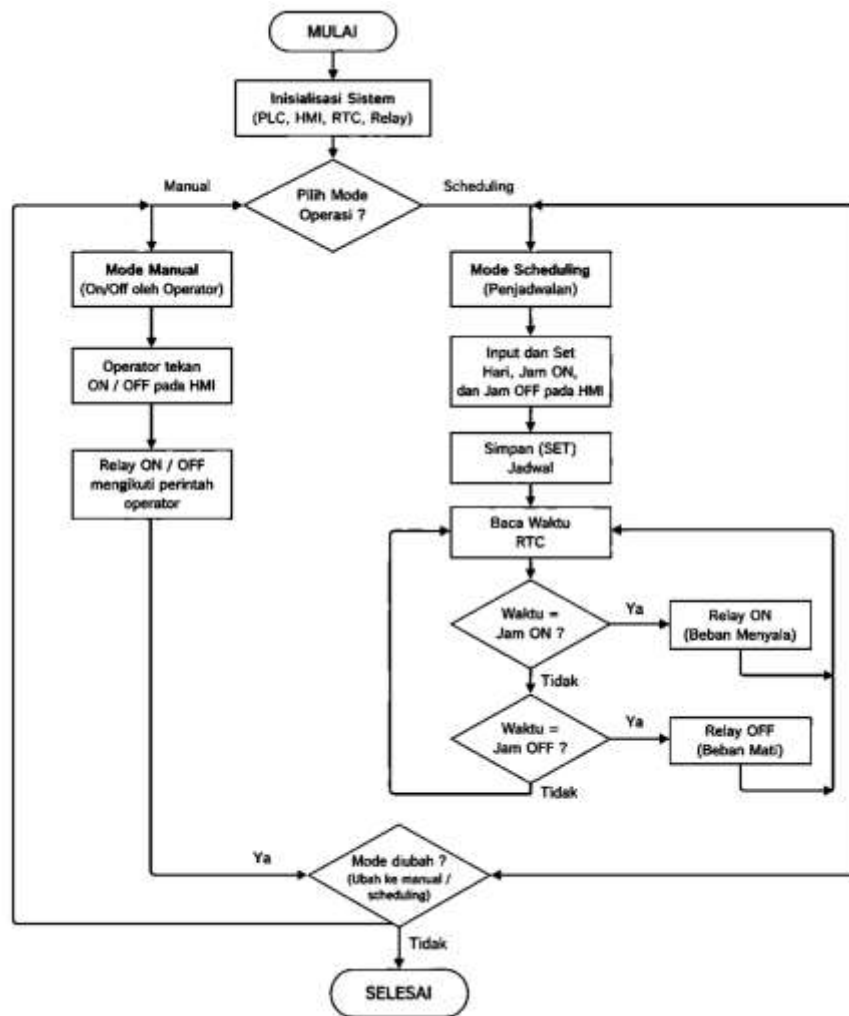
Gambar 4 dibawah menunjukkan desain mekanik panel kontrol *Time-Based Scheduling* yang terdiri atas tampak depan (*front view*), samping (*side view*), belakang (*back view*), atas (*top view*), dan bawah (*bottom view*). Panel dirancang dengan dimensi 40 cm × 30 cm × 20 cm (tinggi × lebar × kedalaman). Pada bagian depan panel terdapat HMI berukuran 7 inci, indikator (*pilot lamp*), serta *selector switch*, sedangkan pada sisi panel dipasang tombol stop kontak untuk mendukung pengoperasian sistem. Desain ini disusun agar seluruh komponen dapat terpasang dengan rapi, mudah dioperasikan, dan memudahkan proses perawatan.



Gambar 4 Desain Rancangan Alat

2.2 Flowchart Cara Kerja Alat

Cara kerja sistem diawali dengan menyalakan panel kontrol melalui MCB kontrol sehingga PLC dan HMI aktif. Setelah HMI menyala, operator memilih mode pengoperasian, yaitu **manual** atau **otomatis**. Pada mode manual, beban dikendalikan secara langsung melalui tombol **On** dan **Off** pada HMI. Sementara itu, pada mode otomatis operator mengatur jadwal penyalan dan pemadaman beban berdasarkan hari dan waktu menggunakan sistem *Time-Based Scheduling*. Ketika waktu yang telah dijadwalkan tercapai, PLC akan mengaktifkan relay dan kontaktor sehingga beban menyala secara otomatis, kemudian mematikannya kembali sesuai jadwal yang telah ditentukan. Selama sistem beroperasi, sensor PZEM memantau parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, faktor daya, dan konsumsi energi listrik, kemudian menampilkan hasil pengukuran pada HMI untuk keperluan monitoring.



Gambar 5 Flowchart Cara Kerja Alat

2.3 Metode Pengujian

Metode pengujian dan pengambilan data dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem Time-Based Scheduling berbasis PLC dan HMI yang telah dirancang. Pengujian meliputi pengujian ketepatan waktu penyalan dan penonaktifan beban serta pengujian tingkat konsumsi energi listrik sebelum dan sesudah penerapan sistem *Time-Based Scheduling*. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi sistem dan efisiensi penggunaan energi listrik

1. Pengujian Perbedaan Waktu Penyalan dan Penonaktifan Beban

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketepatan sistem dalam mengeksekusi waktu penyalan dan penonaktifan beban sesuai jadwal yang telah ditentukan. Waktu aktual diukur menggunakan **stopwatch**, kemudian dibandingkan dengan waktu yang telah diatur pada sistem untuk memperoleh nilai selisih (*error*). Pengujian dilakukan sebanyak **5 kali** agar diperoleh nilai akurasi sistem yang lebih representatif.

Untuk mengetahui tingkat akurasi sistem *time based scheduling*, dilakukan perhitungan inakurasi berdasarkan selisih antara durasi penyalan yang telah ditentukan dengan durasi aktual hasil pengukuran menggunakan *stopwatch*. Perhitungan persentase inakurasi dilakukan menggunakan rumus berikut.

$$\text{Inakurasi (\%)} = \frac{|\text{Durasi Aktual} - \text{Durasi Setting}|}{\text{Durasi Setting}} \times 100\% \quad (1)$$

2. Pengujian Tingkat Konsumsi Energi Listrik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat konsumsi energi listrik sebelum dan sesudah penerapan sistem *Time-Based Scheduling*. Sebelum sistem diterapkan, parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, faktor daya, dan konsumsi energi diukur menggunakan **clamp meter** dan **plug-in power meter**. Setelah

sistem diterapkan, pengukuran dilakukan menggunakan **sensor PZEM**. Data hasil pengukuran kemudian dibandingkan untuk mengetahui besarnya efisiensi penggunaan energi listrik yang diperoleh dari penerapan sistem *Time-Based Scheduling*.

3. Perhitungan Efisiensi Konsumsi Energi Listrik

Untuk perhitungan efisiensi dilakukan berdasarkan data konsumsi energi listrik sebelum dan sesudah penerapan sistem *Time-Based Scheduling*. Nilai penghematan energi diperoleh dari selisih konsumsi energi listrik sebelum (E1) dan sesudah (E2) penggunaan sistem. Selanjutnya, persentase efisiensi penghematan energi dihitung menggunakan persamaan efisiensi sehingga dapat diketahui tingkat penghematan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem yang dirancang.

Efisiensi Penghematan Energi

$$\eta = \left(\frac{E1-E2}{E1} \times 100 \% \right) \quad (2)$$

E1 = Konsumsi energi listrik sebelum memakai sistem *time based scheduling*.

E2 = Konsumsi energi listrik setelah menggunakan sistem *time based scheduling*.

η = Efisiensi penghematan energi listrik

3. Pengujian Kompensasi Faktor Daya

Pengujian kompensasi faktor daya dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan kapasitor terhadap nilai faktor daya dan daya semu pada beban speaker aktif. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi nilai kapasitansi secara bertahap, mulai dari tanpa kapasitor hingga kapasitor dengan total kapasitansi 7 μ F. Setiap variasi kapasitansi diuji pada kondisi beban yang sama untuk memperoleh perbandingan perubahan parameter kelistrikan akibat penambahan kapasitor.

Pada setiap kondisi pengujian, kapasitor dihubungkan ke rangkaian secara bertahap dan parameter kelistrikan diamati menggunakan PZEM-016. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya aktif, daya semu, frekuensi, energi, dan faktor daya. Nilai faktor daya dan daya semu yang diperoleh pada setiap variasi kapasitansi kemudian dicatat dan dibandingkan dengan kondisi tanpa kapasitor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Implementasi Sistem

Sistem *time based scheduling* berhasil direalisasikan dalam bentuk panel kontrol yang mengintegrasikan PLC Lollette FX3U sebagai pengendali utama, HMI Haiwell sebagai antarmuka pengguna, kontaktor sebagai pemutus dan penyambung beban, serta sensor PZEM-016 sebagai perangkat monitoring parameter kelistrikan. Sistem menggunakan dua mode operasi, yaitu mode manual dan mode otomatis (*time based scheduling*). Pada mode otomatis, PLC menggunakan *Real Time Clock* (RTC) sebagai acuan waktu untuk mengaktifkan dan menonaktifkan beban sesuai jadwal yang telah ditentukan melalui HMI. Data kelistrikan dari PZEM-016 dikirimkan ke PLC menggunakan komunikasi Modbus RTU dan ditampilkan pada HMI sehingga kondisi beban dapat dipantau secara real-time.

Pada implementasinya, sistem juga dilengkapi dengan *emergency stop* dan indikator buzzer. *Emergency stop* digunakan untuk menghentikan seluruh keluaran sistem ketika terjadi kondisi darurat, sedangkan buzzer digunakan sebagai indikator bahwa waktu penggunaan studio telah berakhir. Dengan konfigurasi tersebut, sistem tidak hanya berfungsi sebagai pengendali penyalan dan pemadaman beban, tetapi juga menyediakan fungsi monitoring dan pengamanan dalam pengoperasiannya.



Gambar 6 Panel Kontrol Time Based Scheduling

3.2. Hasil Pengujian Ketepatan Waktu Sistem *Time Based Scheduling*

Pengujian ketepatan waktu dilakukan dengan membandingkan waktu penyalan dan pemadaman yang telah diatur pada sistem dengan waktu aktual hasil pengukuran menggunakan stopwatch. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan PLC dalam menjalankan jadwal secara tepat sesuai waktu yang telah ditentukan.

Tabel 1 Hasil Pengujian Ketepatan Waktu Sistem *Time Based Scheduling*

Hari dan Tanggal	Setting Waktu On	Setting Waktu Off	Durasi Nyala yang terukur pada stopwatch (Menit dan Detik)	Selisih (Error)
Rabu, 08-07-2026	8:30	8:50	20:00,08	0,08 detik
Kamis, 09-07-2026	16:00	16:20	20:00,08	0,08 detik
Jumat, 10-07-2026	9:20	9:40	20:00,24	0,24 detik
Sabtu, 11-07-2026	10:55	11:15	20:00,07	0,07 detik
Minggu, 12-07-2026	19:50	20:10	20:00,08	0,08 detik
Senin, 13-07-2026	9:15	9:35	20:00,15	0,15 detik
Selasa, 14-07-2026	12:00	12:20	20:00,16	0,16 detik

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perbedaan antara waktu yang ditentukan dengan waktu aktual relatif sangat kecil. Berdasarkan hasil perhitungan, sistem memiliki persentase inakurasi sebesar **0,0102%**. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan proses penyalan dan pemadaman beban dengan tingkat ketepatan waktu yang tinggi.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan RTC pada PLC mampu memberikan acuan waktu yang cukup stabil untuk kebutuhan *time based scheduling*. Dengan tingkat inakurasi yang rendah, proses pengendalian beban dapat dilakukan sesuai jadwal operasional studio sehingga kemungkinan beban tetap menyala di luar waktu penggunaan dapat dikurangi.

Tabel 2 Presentase Inakurasi Penyalan Sistem

Hari dan Tanggal	Selisih (Error)	Presentase Inakurasi
Rabu, 08-07-2026	0,08 detik	0,0067%
Kamis, 09-07-2026	0,08 detik	0,0067%
Jumat, 10-07-2026	0,24 detik	0,0200%
Sabtu, 11-07-2026	0,07 detik	0,0058%
Minggu, 12-07-2026	0,08 detik	0,0067%
Senin, 13-07-2026	0,15 detik	0,0125%
Selasa, 14-07-2026	0,16 detik	0,0133%
Rata-Rata	0,123 detik	0,0102%

3.3 Hasil Pengujian Tingkat Konsumsi Energi Listrik

Pengujian konsumsi energi dilakukan dengan membandingkan kondisi penggunaan beban sebelum dan setelah penerapan sistem *time based scheduling*. Pengujian dilakukan selama lima hari dengan durasi pengoperasian beban masing-masing satu jam. Pada kondisi menggunakan sistem, pengukuran parameter kelistrikan dilakukan menggunakan PZEM-016, sedangkan clamp meter digunakan sebagai alat pembanding untuk parameter tegangan dan arus.

Hasil pengukuran menunjukkan konsumsi energi listrik setelah penerapan sistem sebesar 52 Wh selama lima hari pengujian. Nilai faktor daya yang terbaca pada PZEM berada pada kisaran 0,69–0,71, sedangkan tegangan yang terukur berada pada rentang sekitar 219,6–223,9 V.

Tabel 3 Penggunaan energi listrik ketika menggunakan alat *time based scheduling*

Hari dan Tanggal	Waktu penyalan beban	Tegangan terukur pada PZEM	Arus terukur pada PZEM	Faktor daya terukur pada PZEM	Konsumsi energi listrik (Wh)
Jumat, 17-07-2026	19:00 – 20:00	219,6 V	0,095 A	0,71	10 Wh
Sabtu, 18-07-2026	13:00 – 14:00	221,4 V	0,102 A	0,70	10 Wh
Minggu, 19-07-2026	8:35 – 9:35	220,1 V	0,110 A	0,69	11 Wh
Senin, 20-07-2026	8:05 – 9:05	219,8 V	0,097 A	0,70	10 Wh
Selasa, 21-07-2026	12:10 – 13:10	223,9 V	0,087 A	0,67	11 Wh
Total penggunaan energi pada PZEM					52 Wh

Sebagai pembanding, pengujian tanpa sistem *time based scheduling* menghasilkan konsumsi energi sebesar 55 Wh selama periode pengujian yang sama. Tegangan yang terukur menggunakan clamp meter berada pada rentang 220,0–225,4 V, sedangkan arus berada pada rentang 0,077–0,107 A. Faktor daya yang terukur menggunakan *plug-in power meter* berada pada kisaran 0,48–0,60.

Tabel 4 Penggunaan energi listrik ketika tidak menggunakan alat *time based scheduling*

Hari dan Tanggal	Waktu penyalan beban	Tegangan terukur pada clamp meter	Arus terukur Pada clamp meter	Faktor daya terukur pada plug in power meter	Konsumsi energi listrik (Wh) Pada plug in power meter
Jumat, 17-07-2026	20:10 – 21:10	224,9 V	0,099 A	0,52	11 Wh
Sabtu, 18-07-2026	14:10 – 15:10	224,6 V	0,077 A	0,48	10 Wh
Minggu, 19-07-2026	9:50 – 8:50	225,4 V	0,088 A	0,57	12 Wh
Senin, 20-07-2026	9:10 – 10:10	223,7 V	0,107 A	0,60	10 Wh

Selasa, 21-07-2026	13:20 – 14:20	220,0 V	0,097 A	0,59	12 Wh
Total penggunaan energi pada PZEM					55 Wh

Perbandingan tersebut menunjukkan bahwa penerapan sistem mampu menurunkan konsumsi energi listrik dari 55 Wh menjadi 52 Wh. Pengurangan konsumsi tersebut terutama diperoleh karena sistem dapat mengendalikan waktu operasi beban secara otomatis sesuai jadwal, sehingga risiko beban tetap menyala akibat kelalaian operator dapat dikurangi.

3.4. Perhitungan Efisiensi Penghematan Energi

Berdasarkan hasil pengujian, konsumsi energi sebelum penerapan sistem sebesar 55 Wh, sedangkan setelah penerapan sistem sebesar 52 Wh. Dengan demikian, energi yang berhasil dihemat sebesar 3 Wh dan diperoleh efisiensi penghematan sebesar 5,45%.

Nilai penghematan tersebut relatif kecil karena pengujian dilakukan pada beban dengan konsumsi daya yang rendah dan durasi pengujian yang terbatas. Meskipun demikian, hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan *time based scheduling* memberikan pengaruh positif terhadap pengendalian penggunaan energi. Keunggulan utama sistem bukan hanya terletak pada besarnya penghematan energi, tetapi juga pada kemampuannya memastikan beban hanya beroperasi pada waktu yang telah ditentukan sehingga penggunaan energi menjadi lebih terkontrol dan konsisten.

Tabel 5 Perhitungan efisiensi penghematan energi yang didapat dari penggunaan sistem *time based scheduling*

Parameter	Hasil Pengukuran
Konsumsi Energi Listrik Sebelum Menggunakan Sistem <i>Time Based Scheduling</i> (Wh).	55 Wh
Konsumsi Energi Listrik Setelah Menggunakan Sistem <i>Time Based Scheduling</i> (Wh).	52 Wh
Penghematan Energi ($E_1 - E_2$) (Wh).	3 Wh
Efisiensi Penghematan Energi $\eta = \left(\frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100 \% \right).$	5,45 %

3.4. Perhitungan Efisiensi Penghematan Energi

Selain fungsi *time based scheduling*, dilakukan pengujian terhadap pengaruh variasi kapasitor terhadap faktor daya dan daya semu pada beban speaker aktif. Pengujian dilakukan dengan variasi kapasitansi mulai dari 1 μF hingga 7 μF .

Tanpa kapasitor, faktor daya yang terbaca sebesar **0,61** dengan daya semu sebesar **13,54 VA**. Setelah kapasitor 1 μF diaktifkan, faktor daya meningkat menjadi **0,70** dan daya semu turun menjadi **12,78 VA**. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan kapasitor 1 μF memberikan pengaruh positif terhadap faktor daya pada beban yang diuji.

Namun, peningkatan kapasitansi lebih lanjut menghasilkan kondisi yang berbeda. Pada kapasitansi 2 μF , faktor daya turun menjadi 0,36 dan daya semu meningkat menjadi 25,43 VA. Penurunan faktor daya terus terjadi pada variasi 3–7 μF , masing-masing menjadi 0,22; 0,18; 0,12; 0,10; dan 0,08. Pada kapasitansi 7 μF , daya semu meningkat hingga 98,62 VA.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan kapasitor tidak dapat dilakukan secara terus-menerus tanpa mempertimbangkan kondisi beban. Kapasitas 1 μF memberikan hasil terbaik pada pengujian ini, sedangkan penambahan kapasitor yang lebih besar justru menyebabkan penurunan faktor daya dan peningkatan daya semu. Kondisi tersebut menunjukkan adanya indikasi kompensasi yang berlebihan (*overcompensation*). Oleh karena itu, pemilihan kapasitor perlu mempertimbangkan kondisi aktual beban agar kompensasi tidak menghasilkan kondisi yang berlawanan dengan tujuan perbaikan faktor daya.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi utama *time based scheduling* dengan tingkat ketepatan waktu yang tinggi dan memberikan

penghematan energi sebesar 5,45%. Sistem juga mampu melakukan monitoring parameter kelistrikan melalui PZEM-016. Sementara itu, hasil pengujian kapasitor menunjukkan bahwa fungsi kompensasi daya reaktif perlu dikendalikan berdasarkan kondisi beban karena penambahan kapasitas kapasitor secara berlebihan dapat menyebabkan penurunan faktor daya dan peningkatan daya semu.

Tabel 6 Hasil pengujian perubahan daya semu dan faktor daya berdasarkan variasi penyalan kapasitor

Beban	Kapasitor	Cos ϕ / Faktor Daya pada PZEM	Daya Semu (VA)
Speaker Aktif (Daya 10 watt)	Tanpa kapasitor	0,61	13,54
	1 μ F	0,70	12,78
	2 μ F	0,36	25,43
	3 μ F (1 μ F + 2 μ F)	0,22	40,51
	4 μ F	0,18	50,33
	5 μ F (1 μ F + 4 μ F)	0,12	71,28
	6 μ F (2 μ F + 4 μ F)	0,10	87,51
	7 μ F (1 μ F + 2 μ F + 4 μ F)	0,08	98,62

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem *time based scheduling* mampu menjalankan proses penjadwalan beban dengan tingkat ketepatan waktu yang sangat baik, ditunjukkan oleh selisih waktu yang relatif kecil terhadap alat pembanding berupa stopwatch dengan persentase inakurasi sebesar 0,0102%. Penerapan sistem juga mampu menurunkan konsumsi energi listrik sebesar 5,45% berdasarkan hasil pengukuran menggunakan PZEM sebagai alat ukur utama dan *clamp meter* sebagai alat pembanding tegangan dan arus. Meskipun nilai penghematan relatif kecil, sistem berperan dalam mengurangi potensi pemborosan energi akibat kelalaian operator dalam mematikan peralatan studio di luar waktu penggunaan. Selain itu, penggunaan kapasitor untuk mengompensasi daya reaktif pada beban menunjukkan potensi dalam menurunkan daya semu sistem. Namun, nilai kapasitansi harus disesuaikan dengan kondisi dan kebutuhan beban melalui pengendalian otomatis pada PLC, karena kompensasi yang berlebihan (*overcompensation*) dapat menyebabkan peningkatan daya semu dan rugi-rugi daya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik, Universitas Negeri Surabaya atas dukungan fasilitas dan sarana yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, dan dukungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik

REFERENSI

- [1] C. de Bakker, M. B. C. Aries, H. S. M. Kort, and A. L. P. Rosemann, "Occupancy-based lighting control in open-plan office spaces: A state-of-the-art review," *Building and Environment*, vol. 112, pp. 308–321, 2017, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.11.042.
- [2] C. de Bakker, T. van de Voort, and A. L. P. Rosemann, "The energy saving potential of occupancy-based lighting control strategies in open-plan offices: The influence of occupancy patterns," *Energies*, vol. 11, no. 1, 2018, doi: 10.3390/en11010002.
- [3] S. J. Kang, J. Park, K. Y. Oh, J. G. Noh, and H. Park, "Scheduling-based real time energy flow control strategy for building energy management system," *Energy and Buildings*, vol. 75, pp. 239–248, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.02.008.
- [4] C. Chen, J. Wang, Y. Heo, and S. Kishore, "MPC-based appliance scheduling for residential building energy management controller," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1401–1410, 2013, doi: 10.1109/TSG.2013.2265239.
- [5] A. R. Kiran, B. Venkat Sundeep, Ch. Sree Vardhan, and L. Mathews, "The principle of programmable logic controller and its role in automation," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 4, no. 3, pp. 500–502, 2013, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V4I3P250.
- [6] D. Yuhendri, "Penggunaan PLC sebagai pengontrol peralatan building otomatis," *JET (Journal of Electrical Technology)*, vol. 3, no. 3, 2018, doi: 10.30743/jet.v3i3.952.

- [7] A. Al Ka'bi, "Energy consumption management using programmable logic controllers (PLC's)," in *2021 IEEE Technology & Engineering Management Conference-Europe (TEMSCON-EUR)*, 2021, doi: 10.1109/TEMSCON-EUR52034.2021.9488607.
- [8] Waluyo, A. Widura, and W. A. Purbandoko, "Energy-saving in air conditioners using PLC control and the SCADA monitoring system," *ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications*, 2022, doi: 10.37936/ecti-ec.2022201.246095.
- [9] Syafrudi and D. W. A. Ningtias, "Simulasi sistem otomasi rumah hemat energi berbasis programmable logic controller," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, 2023.
- [10] P. Anggraeni *et al.*, "An industrial IoT architecture for energy-efficient lighting and HVAC control using PLC (CtrlX CORE) and presence sensing," 2025.
- [11] D. Saputra, A. I. Juliswanto, and Zulfachmi, "Sistem perhitungan waktu rental studio musik berbasis Arduino menggunakan validasi RFID," *Jurnal Bangkit Indonesia*, vol. 9, no. 1, pp. 57–61, 2020.
- [12] F. Maulana, A. Sunawar, and N. H. Yuninda, "Sistem pemantauan dan kontrol waktu pada studio musik menggunakan RFID berbasis Internet of Things (IoT)," *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, vol. 7, no. 1, 2024, doi: 10.21009/JEVET.0071.04.
- [13] A. Shinde, T. Pisal, and G. Kumbhar, "Energy management using PLC," *SAMRIDDHI: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology*, vol. 17, no. 2, pp. 8–10, 2025, doi: 10.18090/samriddhi.v17i02.03.
- [14] O. M. Aloquili and N. M. Abu-Shikhah, "Power factor correction capacitors for utilising power consumption in industrial plants," *International Journal of Energy Technology and Policy*, vol. 7, no. 3, pp. 288–308, 2010, doi: 10.1504/IJETP.2010.033100.
- [15] S. A. Sadat, E. Sreesobha, and P. V. N. Prasad, "Power factor correction of inductive loads using PLC," 2018.
- [16] O. O. Olusanya, G. M. Adebajo, I. Giwa, K. Okokpujie, S. A. Daramola, and A. V. Akingunsoye, "Neuro-fuzzy logic controller for switching capacitor banks in power factor correction within the manufacturing industry," *Journal of Intelligent Systems and Control*, vol. 3, no. 2, pp. 93–106, 2024, doi: 10.56578/jisc030203.
- [16] D. Nallaperuma *et al.*, "Online Incremental Machine Learning Platform for Big Data-Driven Smart Traffic Management," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 20, no. 12, pp. 4679–4690, 2019, doi: 10.1109/TITS.2019.2924883.
- [17] S. Schulz, M. Becker, M. R. Groseclose, S. Schadt, and C. Hopf, "Advanced MALDI mass spectrometry imaging in pharmaceutical research and drug development," *Curr. Opin. Biotechnol.*, vol. 55, pp. 51–59, 2019, doi: 10.1016/j.copbio.2018.08.003.
- [18] C. Shang and F. You, "Data Analytics and Machine Learning for Smart Process Manufacturing: Recent Advances and Perspectives in the Big Data Era," *Engineering*, vol. 5, no. 6, pp. 1010–1016, 2019, doi: 10.1016/j.eng.2019.01.019.
- [19] Y. Yu, M. Li, L. Liu, Y. Li, and J. Wang, "Clinical big data and deep learning: Applications, challenges, and future outlooks," *Big Data Min. Anal.*, vol. 2, no. 4, pp. 288–305, 2019, doi: 10.26599/BDMA.2019.9020007.
- [20] M. Huang, W. Liu, T. Wang, H. Song, X. Li, and A. Liu, "A queuing delay utilization scheme for on-path service aggregation in services-oriented computing networks," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 23816–23833, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2899402.
- [21] G. Xu, Y. Shi, X. Sun, and W. Shen, "Internet of things in marine environment monitoring: A review," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 7, pp. 1–21, 2019, doi: 10.3390/s19071711.
- [22] M. Aqib, R. Mehmood, A. Alzahrani, I. Katib, AL beshri, and S. M. Altuwaijri, *Smarter traffic prediction using big data, in-memory computing, deep learning and gpus*, vol. 19, no. 9, 2019.
- [23] S. Leonelli and N. Tempini, *Data Journeys in the Sciences*. 2020.
- [24] N. Stylos and J. Zwiegelaar, *Big Data as a Game Changer: How Does It Shape Business Intelligence Within a Tourism and Hospitality Industry Context?* 2019.
- [25] Q. Song, H. Ge, J. Caverlee, and X. Hu, "Tensor completion algorithms in big data analytics," *arXiv*, vol. 13, no. 1, 2017.