

Rancang Bangun *Building Management System* (BMS) pada Gedung D FPTI Universitas Pendidikan Indonesia

Raihan April Aribawa
Program Studi S1 Teknik Elektro
Universitas Pendidikan Indonesia
Bandung, Indonesia
raihan.aribawa@upi.edu

Dr. Ir. Elih Mulyana, M.Si., IPU.
Program Studi S1 Teknik Elektro
Universitas Pendidikan Indonesia
Bandung, Indonesia
elih_mulyana@upi.edu

Abstrak— Pada Gedung D Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri UPI, sistem kontrol monitoring pencahayaan yang terpasang saat ini belum termonitor dan terkontrol secara menyeluruh. Pengelolaan sistem pencahayaan secara manual pada gedung bertingkat seringkali kurang fleksibel dan juga tidak mendukung sistem monitoring secara terpusat pada keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat simulasi sistem *Building Management System* (BMS) berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC), *Human Machine Interface* (HMI), dan Web sebagai solusi terhadap permasalahan tersebut. Sistem yang dikembangkan dirancang untuk mengontrol dan memonitor pencahayaan berdasarkan grup lampu pada tiap lantai gedung yang terdiri dari delapan lantai dengan total 153 grup lampu. Metode penelitian menggunakan pendekatan simulasi yang meliputi perancangan logika kontrol dengan PLC Omron CJ2M, pembuatan antarmuka menggunakan HMI Weintek MT8103iE melalui perangkat lunak EasyBuilder Pro, dan integrasi komunikasi data dengan web berbasis protokol MQTT yang terhubung melalui middleware KEPServerEX. Perancangan sistem difokuskan pada lantai 3 sebagai model simulasi antarmuka dan implementasi, sementara pada tahap pengujiannya dilakukan pada seluruh grup lampu dari lantai LG hingga lantai 7. Fitur utama dalam sistem ini meliputi kontrol dua arah dari HMI dan web untuk monitoring status grup, serta penjadwalan otomatis melalui fungsi scheduler HMI. Hasil pengujian menggunakan metode blackbox testing menunjukkan bahwa semua fitur sistem, baik dari sisi kontrol maupun monitoring berfungsi sesuai dengan rancangan. Dengan begitu, sistem *Building Management System* berbasis PLC, HMI, dan Web yang telah dirancang mampu menjalankan fungsi kontrol dan monitoring pencahayaan secara otomatis maupun manual dengan baik.

Kata kunci—*building management system*, kontrol monitoring, *blackbox testing*.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi energi listrik dalam bangunan bertingkat menuntut adanya sistem pengelolaan energi yang efisien dan terintegrasi. Bangunan modern tidak hanya memerlukan pasokan energi untuk kebutuhan dasar, tetapi juga untuk menunjang kenyamanan, keamanan, dan efisiensi operasional [1]. Salah satu solusi yang dikembangkan untuk menjawab permasalahan ini adalah penggunaan *Building Management System* (BMS). BMS yaitu sistem otomatisasi yang dirancang untuk mengendalikan dan memonitor berbagai perangkat dalam gedung seperti pencahayaan, HVAC, dan sistem keamanan secara terpusat [2].

Pemanfaatan BMS dalam pengelolaan pencahayaan memiliki potensi yang besar dalam penghematan energi [3]. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengatur kapan dan dimana lampu harus menyala atau mati secara otomatis

berdasarkan jadwal atau sesuai kebutuhan [4]. Dengan demikian, konsumsi listrik dapat dikurangi, dan efisiensi operasional gedung dapat meningkat [5].

Dalam implementasinya, BMS berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) dan *Human Machine Interface* (HMI) digunakan dalam kontrol industri. Sistem ini juga mendukung integrasi dengan platform berbasis web menggunakan protokol komunikasi seperti MQTT, sehingga pengawasan dan pengendalian dapat dilakukan secara dua arah, baik dari HMI maupun web [6].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol dan monitoring pencahayaan pada gedung 8 lantai berbasis BMS menggunakan PLC Omron CJ2M, HMI Weintek MT8103iE, serta integrasi dengan antarmuka web. Fitur yang dikembangkan meliputi kontrol manual, kontrol berbasis jadwal, dan monitoring status lampu secara *realtime*.

II. STUDI PUSTAKA

A. *Building Management System*

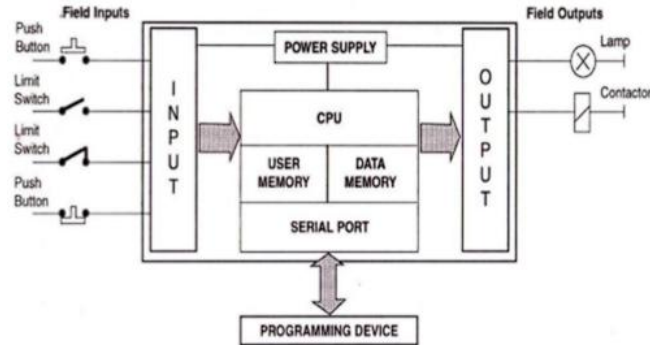
Building Management System (BMS) adalah sistem kontrol dan monitoring berbasis komputer yang dipasang di gedung untuk mengendalikan dan memantau peralatan listrik, seperti, pencahayaan, ventilasi, sistem tenaga, sistem pemadam kebakaran, dan sistem keamanan [7][7]. Pada sistem BMS ini, dikembangkan sebuah modul kontroler yang dilengkapi dengan protokol Modbus agar dapat terhubung dengan perangkat lunak *Human Machine Interface* (HMI) untuk mengendalikan dan memantau kelistrikan di gedung. Objek yang dikendalikan meliputi pengaturan nyala dan mati lampu ruangan melalui HMI serta alarm jika terdeteksi asap. [8].

B. *Programmable Logic Control* (PLC)

PLC (*Programmable Logic Controller*) adalah perangkat kontrol utama yang sering digunakan dalam industri. PLC terdiri dari unit pemrosesan utama (CPU), memori, dan modul input/output (I/O). Selain itu, PLC juga mampu mengatur waktu serta mengendalikan urutan operasi kerja [9]. Operator PLC pada dasarnya menggambar garis dan peralatan dari diagram tangga (Ladder diagram). PLC akan mengoperasikan semua sistem dengan perangkat output yang bisa dinyalakan atau dimatikan, serta dapat mengelola sistem dengan output variabel. Pada sisi input, PLC dapat dioperasikan menggunakan perangkat *on/off* (sakelar) atau dengan perangkat input variabel. Dengan kemampuan mengelola sistem melalui unit input/output dan dukungan antarmuka komunikasi, PLC memainkan peran penting dalam otomatisasi industri [10].

- *Elemen Dasar PLC*

Secara umum, PLC memiliki komponen yang sama dengan komputer dan mikrokontroler, yaitu CPU, memori, dan I/O. Susunan komponen pada PLC sebagai berikut [11]:



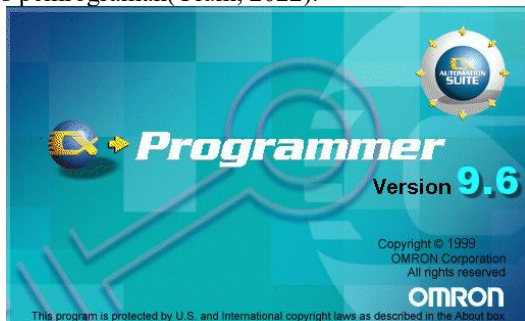
Gambar 1. Susunan komponen PLC

C. Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) adalah sistem yang memungkinkan pengguna atau operator untuk melakukan monitoring, kontrol, serta pengumpulan dan pencatatan data [12]. Pada terminologi kontrol, SCADA sering merujuk pada kontrol yang tidak langsung atau lebih menekankan pada fungsi koordinasi dan pengawasan. Artinya, kendali utama tetap dipegang oleh PLC, sementara kontrol pada SCADA hanya bersifat koordinatif dan sekunder [13].

D. CX-Programmer

CX Programmer merupakan perangkat lunak pemrograman PLC yang dirancang untuk mendukung proses perancangan, pengujian, dan pengembangan program yang berkaitan dengan PLC Omron. Perangkat ini menyediakan kerangka kerja yang mendukung fungsi perangkat PLC, pengelolaan informasi alamat, serta integrasi dengan antarmuka PLC Omron (Awalludin, 2016). CX-Programmer merupakan bagian dari paket CX-One. CX-Programmer memungkinkan pengguna untuk memprogram berbagai jenis PLC OMRON dengan fitur unggulan berupa kemampuan simulasi. Fitur simulasi pada CX-Programmer memungkinkan pengguna untuk menguji diagram ladder yang telah dibuat tanpa perlu terhubung langsung dengan perangkat PLC, sehingga meningkatkan efisiensi dalam proses pemrograman (Ulum, 2022).

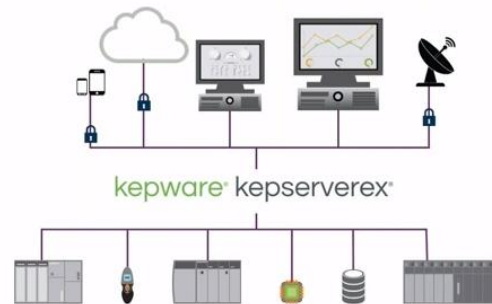


Gambar 2. CX-Programmer

E. KEPServerEX

KEPServerEX merupakan platform konektivitas industri yang dirancang untuk mendukung transfer dan integrasi data yang optimal dalam sistem otomatisasi industri [14]. Dengan fitur ini, KEPServerEX mendukung proses integrasi dan

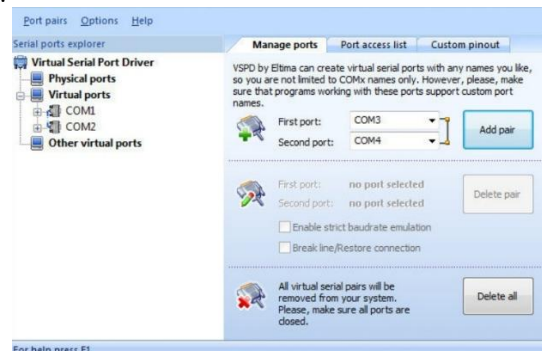
pertukaran data pada sistem otomatisasi, sehingga memperkuat efisiensi operasional dan interoperabilitas sistem. KEPServerEX dilengkapi dengan berbagai fitur canggih, termasuk komunikasi data secara *realtime*, pencatatan dan analisis data historis, serta pengamanan komunikasi data melalui enkripsi. Fitur-fitur ini dirancang untuk mendukung berbagai aplikasi di sektor industri, seperti manufaktur, pembangkitan energi, industri pengolahan, dan otomasi gedung [15]. KEPServerEX, yang dikembangkan oleh Kepware, adalah perangkat lunak yang berperan sebagai OPC server sekaligus OPC client. OPC (*Open Platform Communications*) merupakan standar industri yang dirancang untuk mendukung konektivitas antar sistem. Standar ini bertujuan untuk menyediakan infrastruktur universal dalam pertukaran data kontrol proses [16].



Gambar 3. KEPServerEX

F. Virtual Serial Port Driver

Virtual Serial Port Driver (VSPD) adalah alat pembuatan drive virtual yang mudah digunakan yang memungkinkan untuk membuat driver port serial virtual. VSPD dirancang untuk menciptakan port COM virtual dalam jumlah besar dan bekerja persis seperti port serial yang sebenarnya. Virtual Serial Port Driver sering digunakan dalam simulasi berbasis port serial. VSPD menawarkan kemampuan yang fleksibel untuk membuat, mengelola, dan menghapus port virtual. Selain itu, perangkat ini memungkinkan pengujian aplikasi serial dengan mendukung jalur kontrol dan transfer data berkecepatan tinggi antar port com virtual. Dengan koneksi melalui kabel null-modem virtual, berbagai aplikasi dapat saling bertukar data secara efisien, di mana data yang dikirim dari satu port akan diterima oleh port lainnya secara instan [17].

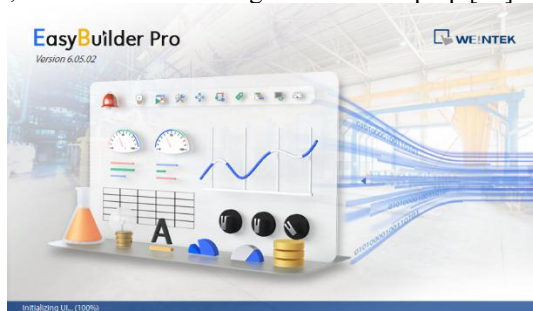


Gambar 4. Virtual Serial Port Drivers

G. EasyBuilder Pro

EasyBuilder Pro merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh Weintek untuk memprogram antarmuka pengguna grafis untuk mengontrol dan mengelola berbagai jenis PLC. Perangkat lunak ini menyediakan pustaka yang

beragam, mencakup elemen seperti gambar, tombol, grafik, dan layar pemantauan suara. Selain itu, EasyBuilder Pro mendukung penambahan elemen-elemen lain yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik proyek yang sedang dikerjakan, sehingga memungkinkan fleksibilitas dalam pengembangan antarmuka [18]. EasyBuilder-Pro digunakan untuk merancang layar pemantauan dan kontrol. Sebelum proses desain dimulai, model PLC yang sesuai dan jenis layar dipilih melalui software ini [19]. EasyBuilder Pro memungkinkan penyimpanan data hasil produksi, riwayat alarm, serta komunikasi dengan PLC dan laptop [20].



Gambar 5. EasyBuilder Pro

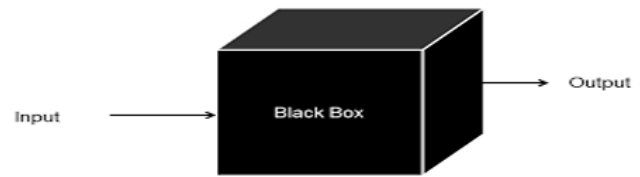
H. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) adalah Protokol komunikasi yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi komunikasi *machine to machine* (M2M) dengan menggunakan arsitektur TCP/IP. Protokol ini beroperasi pada lapisan aplikasi dengan menggunakan mekanisme publish dan subscribe, yang memungkinkan pengiriman dan penerimaan pesan melalui proses controlling maupun monitoring. Proses ini didasarkan pada topik yang telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Beberapa keunggulan protokol ini termasuk kemampuan untuk mengirim data dengan penggunaan bandwidth yang rendah, konsumsi daya dan latensi yang tinggi [21]. MQTT merupakan protokol yang bersifat terbuka, sederhana, dan dirancang untuk memudahkan implementasi, dengan kemampuan mendukung ribuan klien jarak jauh menggunakan satu server. Karakteristik tersebut menjadikannya sangat cocok untuk berbagai skenario, terutama dalam lingkungan dengan keterbatasan, seperti komunikasi Machine to Machine (M2M) dan aplikasi Internet of Things (IoT), di mana diperlukan jejak kode yang minimal serta dukungan pada jaringan dengan kapasitas terbatas. [22].

I. Black Box Testing

Black Box Testing merupakan metode pengujian perangkat lunak yang dilakukan tanpa mengetahui mekanisme internal dari aplikasi yang diuji (Application Under Test/AUT). Metode ini sering disebut sebagai pengujian fungsional atau pengujian berbasis input-output. Nama Black Box diberikan karena dalam pengujian ini, penguji tidak perlu mengetahui implementasi kode internal dari aplikasi [23]. Pada pendekatan ini, hanya memanfaatkan informasi mengenai input yang diberikan serta output yang diharapkan, tanpa melihat proses internal yang menghasilkan keluaran tersebut. Seorang tester tidak melakukan pemeriksaan terhadap kode pemrograman, sehingga tidak memerlukan pengetahuan tambahan di luar spesifikasi sistem yang telah ditetapkan. Teknik ini memiliki fleksibilitas untuk

diterapkan pada berbagai tingkat pengujian perangkat lunak, termasuk pengujian unit, integrasi, fungsional, sistem, dan penerimaan, sehingga menjadi alat yang relevan dalam berbagai tahap siklus pengembangan perangkat lunak [24].

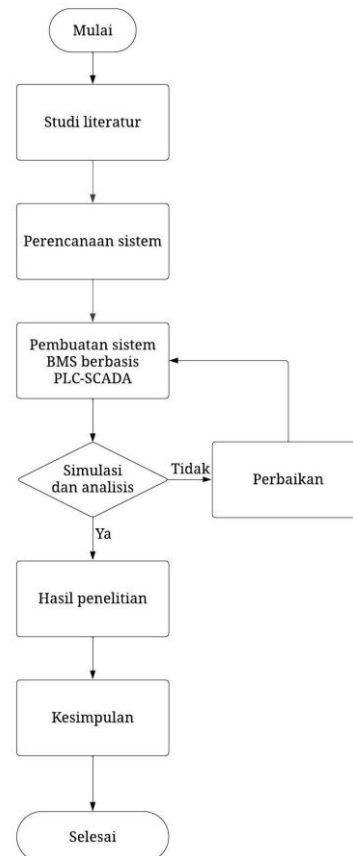


Gambar 6. Black Box Testing

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode penelitian ini dengan cara simulasi. Metode simulasi penelitian memerlukan perencanaan yang dapat mempermudah peneliti dalam menjalankan proses dan mencapai hasil yang diinginkan. Penelitian mengenai "Rancang Bangun *Building Management System* (BMS) pada Gedung D FPTI Universitas Pendidikan Indonesia" akan mengikuti tahapan yang ditunjukkan dalam diagram alir penelitian berikut:



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teori yang kuat terkait Building Management System (BMS). Studi literatur dilakukan dengan menelusuri referensi yang relevan dengan topik penelitian dari jurnal nasional dan internasional. kemudian dikaji dan dianalisis untuk memahami perkembangan teknologi sebelumnya serta merumuskan metodologi yang tepat. Tahap selanjutnya adalah perencanaan sistem, yang mencakup

perumusan konsep, penentuan kebutuhan perangkat lunak, serta desain sistem. Perencanaan ini bertujuan memastikan sistem yang dikembangkan efektif, efisien, dan sesuai dengan tujuan penelitian.

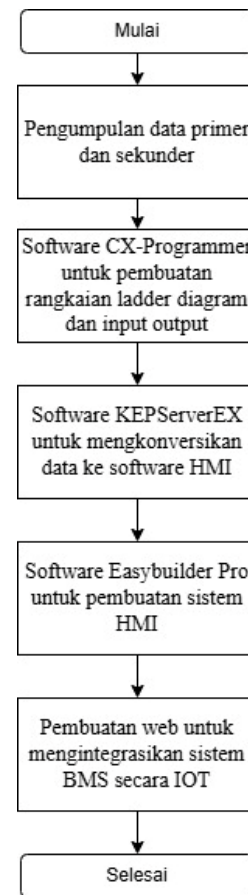
Tahapan selanjutnya adalah pembuatan sistem. Pada tahap ini, sistem BMS memanfaatkan PLC dan SCADA. PLC menggunakan Software cx-programmer dimana sistem di program menggunakan program *ladder diagram*. PLC dilengkapi memori untuk menyimpan instruksi-instruksi yang digunakan untuk menjalankan berbagai fungsi kontrol. SCADA menggunakan software easybuilder pro yang terintegrasi untuk memantau, dan mengontrol secara *realtime*.

Tahap simulasi dan analisis dilakukan setelah sistem terintegrasi sepenuhnya. Sistem diuji untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai kebutuhan. Jika ditemukan kekurangan, dilakukan evaluasi dan perbaikan. Simulasi meliputi pengujian fitur kontrol manual, otomatis, dan monitoring *realtime*.

Pada hasil penelitian mencakup proses pembuatan sistem, pelaksanaan simulasi, dan analisis kinerja. Data dari hasil simulasi kemudian dianalisis untuk memastikan sistem bekerja dengan benar dan konsisten. Analisis ini juga digunakan untuk membahas temuan-temuan yang didapat serta menjelaskan manfaat praktis yang dapat diterapkan dari hasil penelitian. Tahap terakhir adalah kesimpulan, yang merangkum temuan penelitian serta mengaitkannya kembali dengan rumusan masalah awal, sekaligus memberikan gambaran implikasi praktis dari sistem yang dikembangkan.

B. Perancangan Building Management System

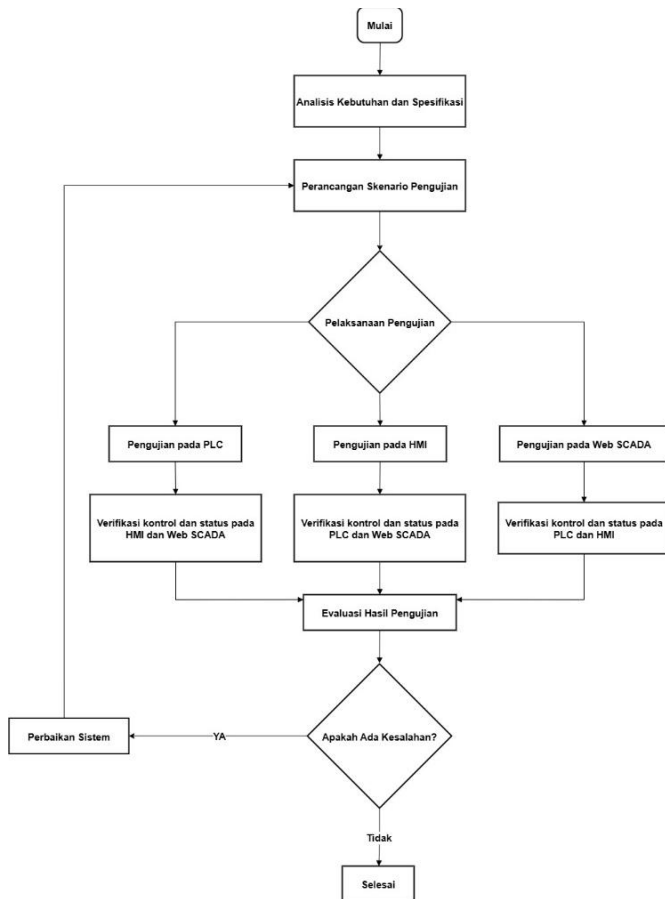
Dalam penelitian ini, perancangan Building Management System (BMS) dilakukan secara bertahap untuk memastikan sistem dapat berfungsi secara optimal sesuai tujuan penelitian. Tahapan tersebut meliputi pemrograman PLC menggunakan CX-Programmer, integrasi komunikasi melalui KEPServerEX, perancangan antarmuka HMI dengan EasyBuilder, serta pengembangan sistem pemantauan berbasis web. CX-Programmer digunakan untuk menyusun logika kontrol pada PLC Omron, sedangkan KEPServerEX berperan sebagai penghubung antara PLC dan sistem lain dengan memanfaatkan protokol komunikasi standar. Selanjutnya, EasyBuilder digunakan untuk membangun antarmuka pemantauan dan pengendalian, sementara web dikembangkan agar pemantauan dan kontrol jarak jauh dapat dilakukan secara *realtime*. Dengan tahapan tersebut, diharapkan BMS yang dihasilkan mampu bekerja secara terintegrasi, efisien, dan sesuai kebutuhan otomasi bangunan. Alur perancangan sistem ini ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram Alir Perancangan BMS

C. Pengujian Building Management System

Pengujian sistem building management system (BMS) dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode black box testing yang berfokus pada pengujian aspek fungsional sistem tanpa memeriksa struktur internal atau kode pemrograman. Proses pengujian ini mencakup serangkaian evaluasi terhadap kinerja sistem yang dimulai dari Programmable Logic Controller (PLC) sebagai unit kendali utama, Human Machine Interface (HMI) sebagai antarmuka pengguna untuk interaksi dan kontrol, hingga implementasi Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) berbasis web yang memungkinkan pemantauan dan pengelolaan sistem secara daring. Pengujian dilakukan dengan menguji berbagai skenario operasional untuk memastikan bahwa setiap komponen berfungsi secara optimal sesuai dengan rancangan sistem yang telah ditetapkan.



Gambar 9. Diagram Alir Pengujian Sistem BMS

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Sistem

Pada penelitian ini, perancangan sistem kontrol dan monitoring dalam gedung dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis untuk memastikan integrasi yang optimal antara Programmable Logic Controller (PLC), Human-Machine Interface (HMI), dan Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) berbasis web. Setiap tahapan dalam perancangan ini dirancang untuk memastikan sistem bekerja dengan baik dan dapat memenuhi kebutuhan pemantauan serta pengendalian secara *realtime*.

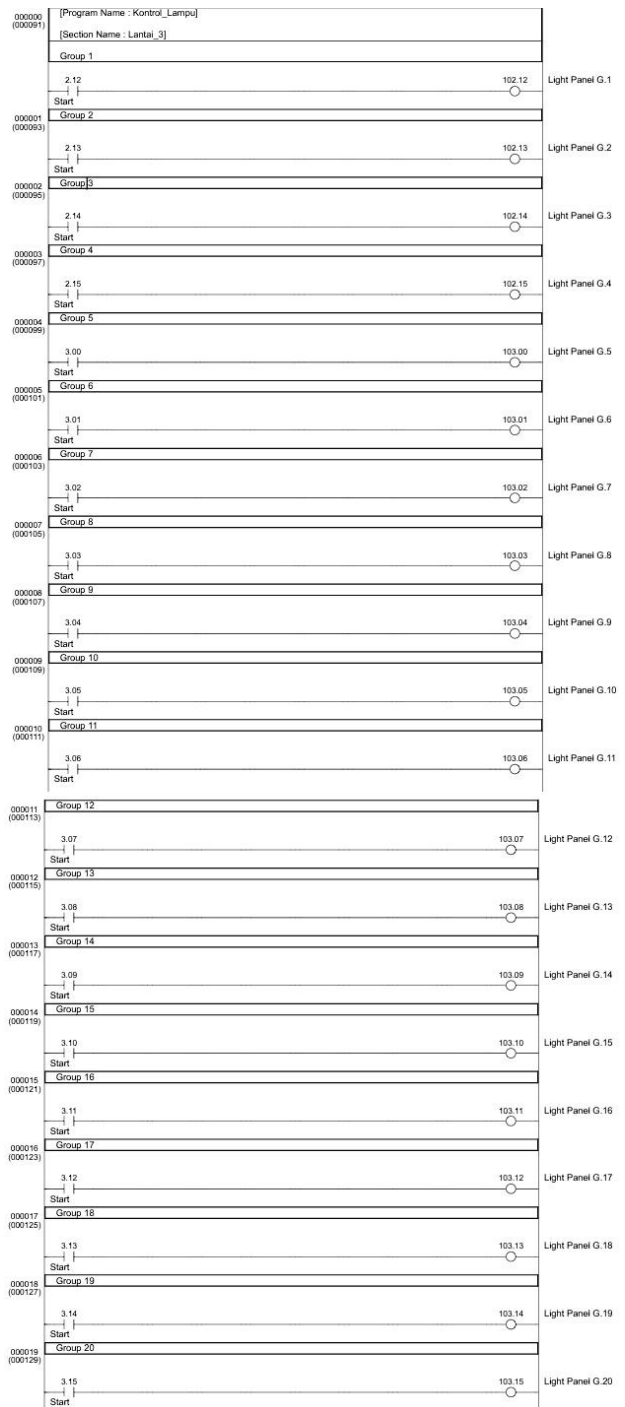
1. Konfigurasi PLC tipe CJ2M

Tahap awal dalam penelitian ini dimulai dengan proses konfigurasi tipe PLC menggunakan software CX-Programmer. Konfigurasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dirancang sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi penelitian. Pada sistem ini digunakan PLC Omron CJ2M dengan tipe CPU CJ2M CPU12. Pemilihan tipe ini didasarkan pada kemampuan PLC tersebut dalam mengelola proses kontrol dan monitoring secara modular dengan jumlah I/O yang cukup besar. Sistem BMS yang dirancang memiliki total 153 grup lampu yang tersebar di 8 lantai (LG hingga lantai 7), sehingga memerlukan PLC yang mampu menangani jumlah output digital secara efektif.

Pada sistem ini, penentuan alamat input dan output dilakukan berdasarkan area CIO pada PLC Omron. Setiap perangkat input seperti tombol, sensor, dan saklar diberikan alamat CIO mulai dari CIO 0.00 untuk input digital,

sedangkan output berupa lampu indikator dan aktuator dikontrol dari CIO 100.00 dan seterusnya.

Setiap grup lampu yang berjumlah total 153 dibagi berdasarkan lantai, dan masing-masing grup dikontrol melalui bit output tersendiri, misalnya grup 1 dialamatkan pada CIO 100.00, Group 2 pada CIO 100.01, dan seterusnya hingga Group 153. Pada input yang digunakan untuk kontrol manual misalnya dari HMI atau tombol fisik diberikan alamat seperti CIO 0.00–CIO 0.15, disesuaikan dengan slot input yang tersedia.

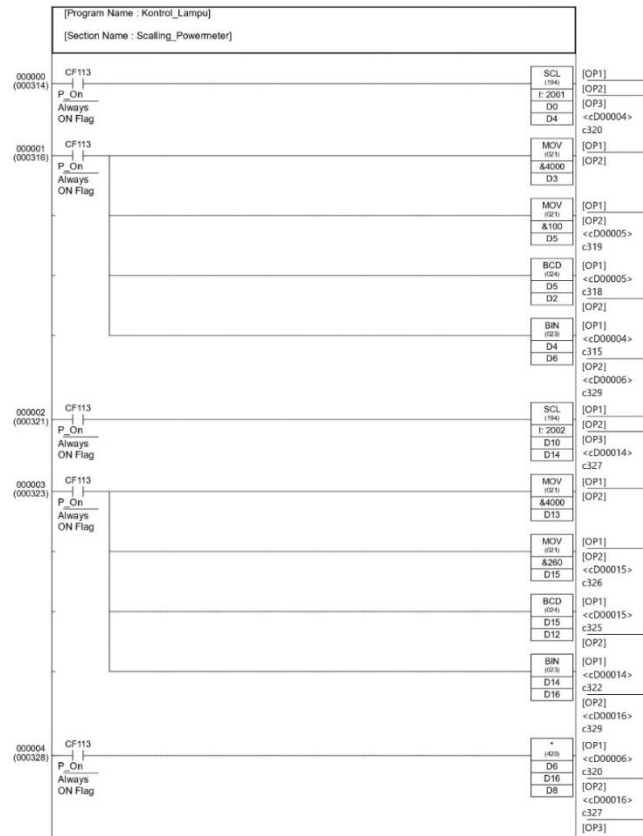


Gambar 10. Ladder Diagram Kontrol Lampu

Setiap rung pada ladder diagram merepresentasikan satu grup lampu yang dikendalikan secara individual menggunakan bit input dan bit output PLC Omron CJ2M.

Pada gambar 10 ditunjukkan bahwa CIO 2.12 hingga CIO 3.15 digunakan untuk mengontrol lampu grup 1 hingga grup 20, dengan output CIO 102.12 hingga 103.15.

Setiap rung menggunakan kontak Normally Open (NO) yang dihubungkan dengan alamat input misal 2.12, dan akan mengaktifkan coil output misal 102.12 jika kondisi kontak terpenuhi.



Gambar 11. Scalling Powermeter

Pada rangkaian pertama, instruksi SCL(194) digunakan untuk melakukan scaling terhadap input analog yang diterima pada alamat CIO 2001 dengan parameter scaling awal disimpan mulai dari alamat D0, setelah itu, hasil *scalling* tersebut disimpan pada alamat D4 dalam format Binary Coded Decimal (BCD). Instruksi MOV &4000 D3 mendefinisikan nilai maksimum input sensor yaitu sebesar 4000 yang merupakan resolusi maksimum pembacaan sensor analog. Selanjutnya, instruksi MOV &100 D5 digunakan untuk menyimpan angka desimal 100 ke alamat D5 yang kemudian dikonversi ke format BCD menggunakan instruksi BCD D5 D2. Selanjutnya, instruksi BIN D4 D6 digunakan untuk mengonversi data dari format BCD di alamat D4 ke angka desimal di alamat D6.

Pada rangkaian kedua memiliki prinsip kerja yang sama tetapi menggunakan input dari alamat analog CIO 2002 dengan parameter scaling tersimpan pada alamat D10, dan hasil *scalling* tersimpan pada alamat D14. Nilai maksimum hasil scaling pada rangkaian kedua ini adalah 260 pada alamat D15 instruksi MOV &260 D15. Selanjutnya instruksi BCD D15 D12 digunakan untuk mengubah angka tersebut ke format BCD pada alamat D12, dan BIN D14 D16 digunakan untuk mengubah angka BCD di alamat D14 ke angka desimal pada alamat D16.

Instruksi terakhir yaitu instruksi *(420) digunakan untuk mengalikan nilai hasil *scalling* dari alamat D6 dan D16, kemudian hasil akhirnya disimpan ke alamat D8 untuk perhitungan daya.

2. Konfigurasi KEPSeverEX

Tahapan konfigurasi ini melibatkan beberapa langkah penting, mulai dari pengaturan channel dan device, konfigurasi driver yang sesuai dengan jenis PLC yang digunakan, hingga mapping tag dan pengujian koneksi. Nama channel yang dibuat adalah Kontrol Lampu sebagai identifikasi unik dalam proyek KEPSeverEX. Selanjutnya, dilakukan pengaturan parameter komunikasi serial sebagai berikut:

- COM ID: 2 (mengacu pada port serial virtual yang digunakan)
- Baud Rate: 115200 (disamakan dengan pengaturan pada PLC)
- Data Bits: 8
- Parity: None
- Stop Bits: 0

Pengaturan ini memastikan bahwa parameter komunikasi di KEPSeverEX dan PLC selaras, sehingga koneksi dapat dilakukan tanpa error komunikasi.

Setelah pembuatan channel, langkah selanjutnya adalah melakukan konfigurasi device yaitu mendefinisikan pengenalan PLC yang akan digunakan sebagai target komunikasi. Pada konfigurasi ini, model PLC yang dipilih adalah Omron CJ2. Selanjutnya dilakukan pengaturan FINS Node ID pada bagian Specify the Device's Driver Station or Node ID. Nilai yang dimasukkan adalah 0,0,10, yang terdiri dari tiga bagian:

- UU (Unit number) = 0

Menunjukkan unit number dari host link unit yang digunakan untuk komunikasi antara KEPSeverEX dan PLC. Dalam sistem simulasi ini, nilai 0 dipilih sesuai dengan Unit address yang ditampilkan di CX-Simulator.

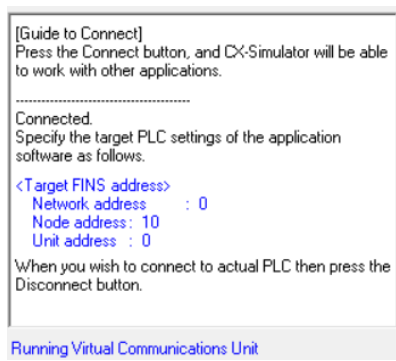
- AAA (FINS Destination Network Address) = 0

Menunjukkan alamat jaringan tujuan dalam protokol FINS. Karena komunikasi dilakukan secara lokal menggunakan Virtual Communication, maka digunakan network address 0 seperti yang terdapat pada CX-Simulator.

- NNN (FINS Destination Node Number) = 10

Merupakan alamat node dari PLC yang dituju dalam jaringan FINS. Angka 10 ini sesuai dengan konfigurasi Node address yang tertera pada CX-Simulator.

Konfigurasi ini memastikan bahwa koneksi antara KEPSeverEX dan PLC melalui CX-Simulator menggunakan parameter yang benar dan selaras, sehingga komunikasi dapat berjalan.



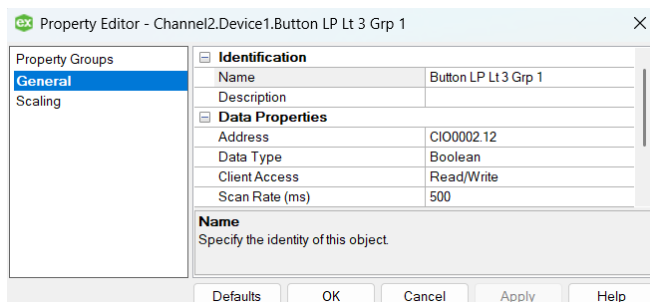
Gambar 12. CX-Simulator Target Fins Address

← Add Device Wizard

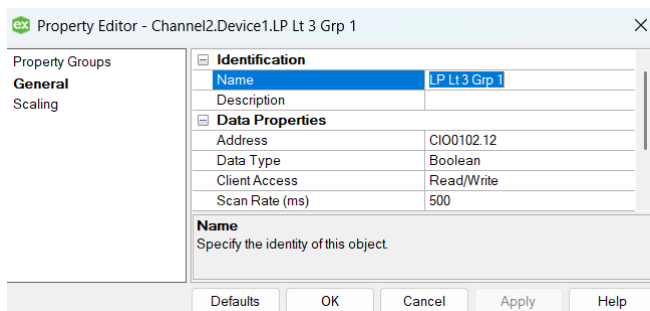
Identification	
Name	Device 1
Description	
Driver	Omron FINS Serial
Model	CJ2
Channel Assignment	Kontrol_Lampu
ID	0.0.10

Gambar 13. Konfigurasi Device

Setelah konfigurasi channel dan device selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan mapping tag, yaitu membuat nama variabel tag yang mewakili alamat input/output pada PLC agar dapat dikenali oleh antarmuka HMI. Dalam sistem ini, tag dibuat melalui menu Property Editor pada KEPServerEX



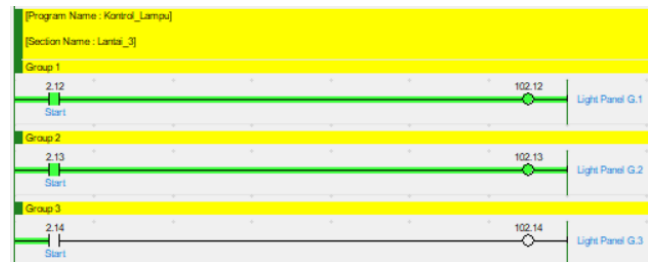
Gambar 14. Tag Input untuk Kontrol Tombol Grup Lampu 1



Gambar 15. Tag Output Status Grup Lampu 1

Setelah proses konfigurasi channel, device, dan mapping tag selesai, dilakukan pengujian komunikasi data antara PLC (melalui CX-Simulator) dan KEPServerEX menggunakan OPC Quick Client. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa nilai dari setiap tag input dan output dapat terbaca secara *realtime* dan benar sebelum integrasi dengan antarmuka HMI. Pengujian dilakukan dengan menyalakan dan mematikan grup lampu melalui input kontak virtual di ladder diagram,

lalu diamati perubahan nilai dari masing-masing tag di Quick Client. Pada Gambar 16, ditampilkan ladder diagram kontrol grup lampu untuk lantai 3, dengan input dari CIO 2.12 hingga 2.14 dan output ke CIO 102.12 hingga 102.14.



Gambar 16. Ladder Diagram Kontrol Lampu Group 1 hingga 3 Lantai 3

Melalui OPC Quick Client, terlihat bahwa nilai tag berikut terbaca

- button LP Lt 3 Grp 1 bernilai 1
- button LP Lt 3 Grp 2 bernilai 1
- button LP Lt 3 Grp 3 bernilai 0

Ini menunjukkan bahwa tombol kontrol grup 1 dan 2 dalam kondisi aktif, sedangkan grup 3 tidak ditekan.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality
Channel2.Device1.Button LP Lt 3 Grp 1	Boolean	1	23:37:20.263	Good
Channel2.Device1.Button LP Lt 3 Grp 2	Boolean	1	23:37:20.263	Good
Channel2.Device1.Button LP Lt 3 Grp 3	Boolean	0	23:37:20.263	Good

Gambar 17. Monitoring Nilai Tag Input Button melalui OPC Quick Client

Pada saat yang sama, status lampu (output) juga diamati:

- LP Lt 3 Grp 1 bernilai 1
- LP Lt 3 Grp 2 bernilai 1
- LP Lt 3 Grp 3 bernilai 0

Hasil tersebut membuktikan bahwa logika kontrol bekerja dengan benar. Jika tombol ditekan (nilai = 1), maka status lampu = 1 (menyala), jika tombol = 0, maka lampu = 0 (mati).

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality
Channel2.Device1.LP Lt 3 Grp 1	Boolean	1	23:37:20.647	Good
Channel2.Device1.LP Lt 3 Grp 2	Boolean	1	23:37:20.647	Good
Channel2.Device1.LP Lt 3 Grp 3	Boolean	0	23:37:20.647	Good

Gambar 18. Monitoring Nilai Tag Output (Status Lampu) melalui OPC Quick Client

Seluruh nilai yang terbaca memiliki status kualitas Good yang menandakan koneksi antar perangkat berjalan lancar dan valid. Pengujian ini dilakukan sebagai verifikasi awal di sisi PLC dan middleware sebelum sistem diintegrasikan ke antarmuka HMI.

3. Integrasi HMI

Setelah data dari PLC berhasil dikonfigurasi dan dibaca melalui KEPServerEX, langkah berikutnya adalah melakukan integrasi dengan antarmuka HMI menggunakan EasyBuilder Pro. Tahap ini bertujuan untuk menghubungkan tag-tag yang telah dibuat sebelumnya agar dapat diakses secara visual dan interaktif melalui layar HMI. Komunikasi yang dibangun bersifat dua arah, yaitu pembacaan status (monitoring) dan pengiriman perintah (kontrol) dari pengguna ke PLC secara langsung.

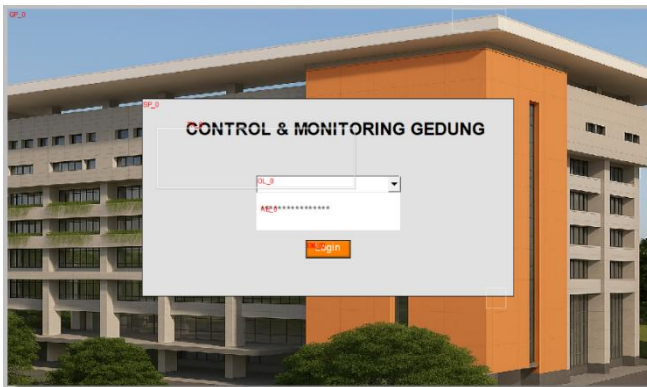
Adapun tahapan dalam proses integrasi komunikasi antara KEPServerEX dan EasyBuilder Pro dijelaskan sebagai berikut:

- Pemilihan Perangkat HMI

Perangkat HMI yang digunakan pada sistem ini adalah Weintek MT8103iE yang dipilih berdasarkan kesesuaian dengan perangkat lunak EasyBuilder Pro serta kemampuan komunikasinya yang mendukung sistem yang dibuat. HMI ini memiliki ukuran layar sebesar 10.1 inci dengan resolusi 1024 x 600 piksel yang memberikan tampilan visual yang cukup luas dan jelas untuk menampilkan layout kontrol lampu per lantai. Selain itu, perangkat ini mendukung berbagai protokol komunikasi industri seperti modbus TCP/IP dan OPC UA, serta dilengkapi dengan port ethernet yang digunakan untuk membangun koneksi jaringan antara HMI dan KEServerEX. Koneksi ini memungkinkan pengambilan dan pengiriman data tag melalui protokol komunikasi seperti OPC dan MQTT, sehingga HMI dapat berfungsi sebagai antarmuka pemantauan sekaligus pengontrol secara realtime.

b. Desain Antarmuka HMI

Antarmuka HMI terdiri dari beberapa halaman utama yang saling terhubung. Halaman pertama adalah login, dimana pengguna diminta memilih akun dan memasukkan kata sandi untuk mengakses sistem. Gambar 19 berikut menampilkan halaman login yang telah dibuat di HMI.



Gambar 19. Tampilan halaman login sistem HMI

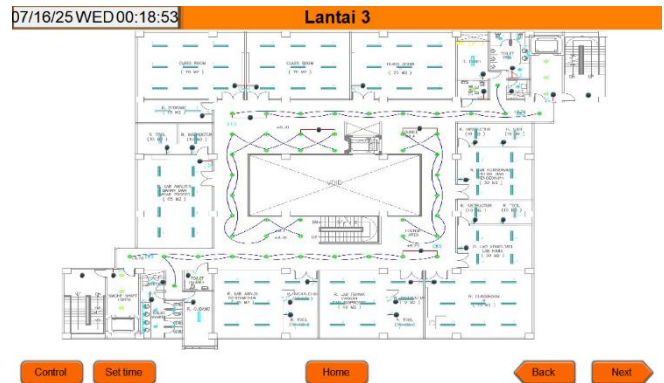
Setelah berhasil login, pengguna diarahkan ke dashboard atau halaman utama yang berisi tombol navigasi menuju halaman kontrol untuk setiap lantai, mulai dari LG hingga lantai 7 dan powermeter. Halaman ini berfungsi untuk memudahkan perpindahan antar lantai secara cepat. Tampilan dashboard dapat dilihat pada Gambar 20 berikut.



Gambar 20. Tampilan dashboard utama HMI sebagai navigasi antar lantai

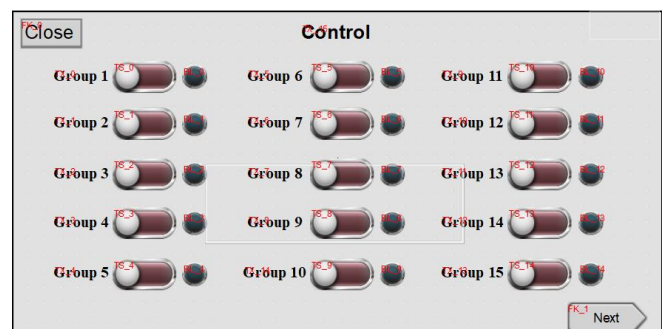
Halaman berikutnya adalah halaman per lantai yang menampilkan layout bangunan yang dibuat di autocad. Tata letak ini menggambarkan posisi fisik tiap grup lampu di gedung. Setiap grup lampu ditandai dengan indikator lampu

yang ditempatkan pada tiap ruangan, serta tombol navigasi tambahan seperti control, set time, home, back, dan next. Contoh desain antarmuka untuk lantai 3 ditampilkan pada Gambar 21.

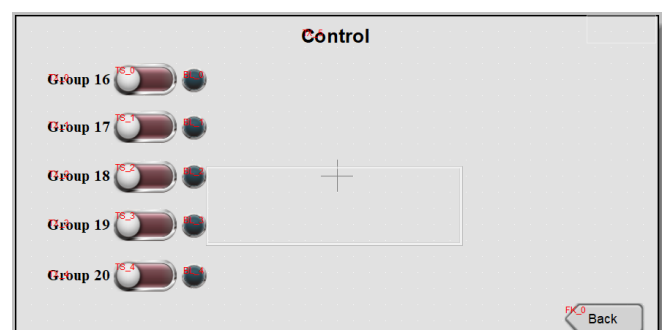


Gambar 21. Tampilan Halaman Kontrol Lampu Lantai 3

Selain halaman visual per lantai, antarmuka juga mencakup halaman kontrol manual yang memungkinkan pengguna menyalakan atau mematikan tiap grup lampu secara langsung melalui tombol on/off. Tombol on/off yang tersedia dihubungkan ke tag input yang berfungsi untuk menulis sinyal ke PLC. Status lampu akan ditampilkan melalui indikator yang terhubung ke tag output. Dengan demikian, sistem memungkinkan pengguna menyalakan dan mematikan lampu grup tertentu secara langsung dan perubahan status ditampilkan secara realtime di layar HMI. Tombol-tombol ini ditata secara grid, lengkap dengan label nama grup untuk memudahkan identifikasi pengguna. Tampilan kontrol manual ditunjukkan pada gambar 22 dan gambar 23.

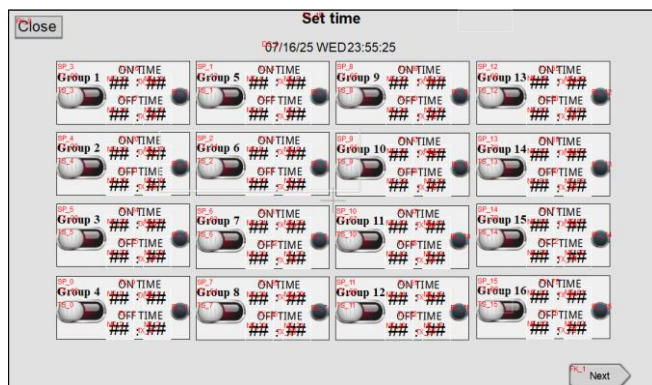


Gambar 22. Tampilan Halaman Pertama Kontrol Manual tiap Grup Lampu Lantai 3



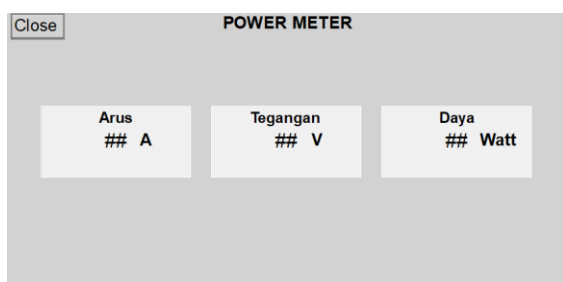
Gambar 23. Tampilan Halaman Kedua Kontrol Manual tiap Grup Lampu Lantai 3

Selain kontrol manual, sistem juga menyediakan halaman set time untuk melakukan penjadwalan otomatis nyala dan mati dari masing-masing grup lampu. Tiap grup memiliki dua kolom input waktu yaitu jam on dan jam off yang dikemas dalam satu halaman agar mudah diakses. Desain halaman penjadwalan ditampilkan pada gambar 24.



Gambar 24. Tampilan Halaman Pertama Pengaturan Set Time tiap Grup Lampu Lantai 3

Sistem juga dilengkapi tampilan khusus pada antarmuka HMI untuk menampilkan nilai hasil pengukuran secara realtime kepada pengguna, seperti terlihat pada Gambar 25.

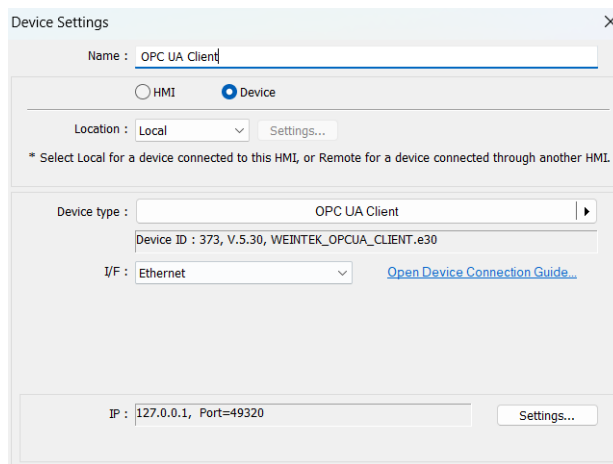


Gambar 25. Power meter

Pada tampilan ini terdiri dari tiga parameter pengukuran powermeter yaitu arus, tegangan, dan daya dari proses scalling yang telah dilakukan sebelumnya di PLC. Informasi ini berguna untuk monitoring kondisi kelistrikan gedung, dan pengambilan keputusan terkait efisiensi energi.

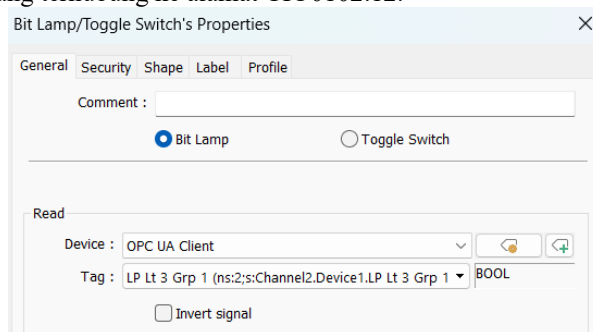
c. Implementasi Tag Variabel Data

Sebelum tag dapat digunakan dalam antarmuka HMI, langkah awal yang perlu dilakukan adalah mengonfigurasi koneksi antara HMI dan KEPServerEX melalui protokol OPC UA. Konfigurasi ini dilakukan dengan menambahkan device baru bertipe OPC UA Client pada EasyBuilder Pro, kemudian mengatur interface koneksi menggunakan Ethernet. IP address dan port disesuaikan dengan pengaturan dari KEPServerEX yakni 127.0.0.1 dan port 49320 sebagaimana ditunjukkan pada gambar 26. Pengaturan ini harus sesuai juga dengan sistem parameter pada HMI agar komunikasi dapat berlangsung. Di sisi KEPServerEX, koneksi dari HMI harus di-trust secara manual agar data dapat dibaca OPC UA.

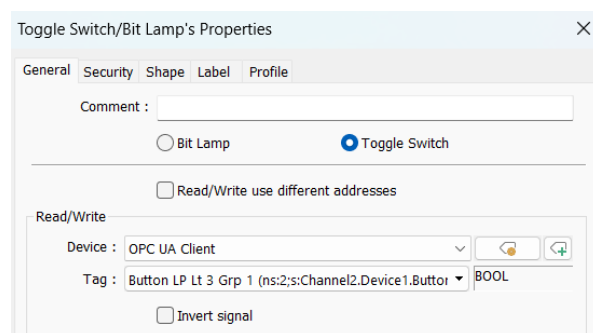


Gambar 26. Konfigurasi Device OPC UA Client

Setelah koneksi berhasil, implementasi tag variabel dilakukan dengan menghubungkan elemen-elemen visual pada HMI ke alamat input dan output PLC yang telah disiapkan pada KEPServerEX. Pada tombol kontrol manual untuk menjalankan lampu Grup 1 lantai 3 diberi tag "Button LP Lt 3 Grp 1" dan diarahkan ke alamat CIO0002.12, sedangkan status lampu ditandai dengan tag "LP Lt 3 Grp 1" yang terhubung ke alamat CIO0102.12.



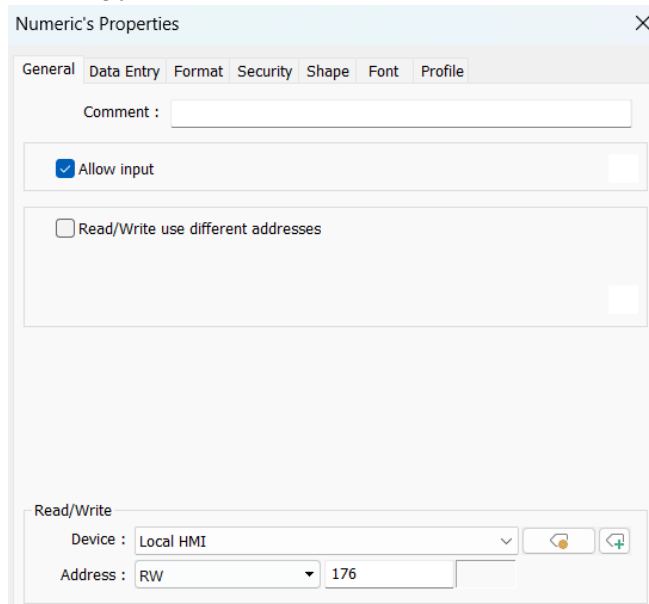
Gambar 27. Bit Lamp Indikator Status



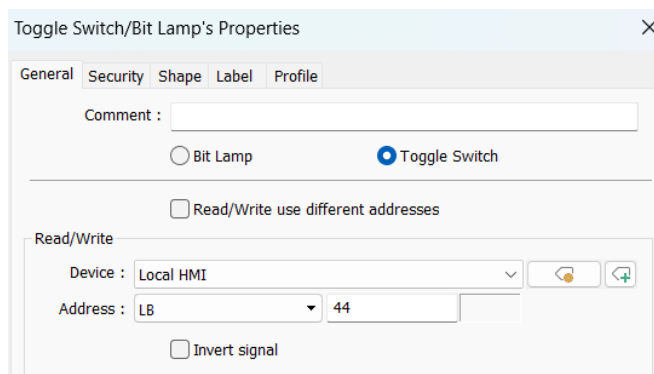
Gambar 28. Toggle Switch Kontrol

Selain tag yang berkomunikasi dengan PLC melalui OPC UA Client, sistem juga memanfaatkan tag dengan alamat Local HMI. Tag lokal digunakan untuk menyimpan data internal antarmuka yang tidak perlu dikirim langsung ke PLC, seperti username dan password login, serta input waktu penjadwalan. Pada halaman set time. Pengguna mengisi empat elemen input waktu yaitu jam dan menit untuk waktu nyala, serta jam dan menit untuk waktu mati. Sebagai contoh pada lantai 3 grup 1, masing-masing nilai waktu ini disimpan di alamat RW176 untuk jam nyala, RW177 untuk menit nyala, RW178 untuk jam mati, dan RW179 untuk menit mati.

Gambar 29 memperlihatkan konfigurasi elemen numeric input untuk alamat RW176 yang berfungsi sebagai input jam nyala lampu. Ketika seluruh nilai waktu telah dimasukkan, data ini akan diproses oleh macro. Untuk mengeksekusi penjadwalan, pengguna menekan tombol “set” yang terhubung ke address lokal LB44, seperti ditunjukkan pada Gambar 30.



Gambar 29. Konfigurasi Numeric Input



Gambar 30. Konfigurasi Button untuk Mengaktifkan Set Time

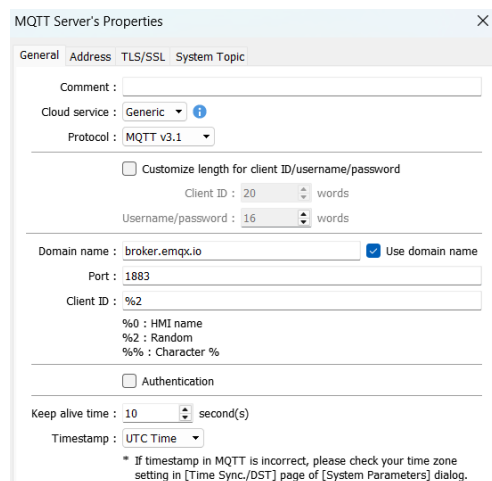
Program macro dijalankan secara periodik dengan interval tertentu dan bertugas mengatur penjadwalan otomatis berdasarkan waktu yang telah diinputkan oleh pengguna. Pertama, macro membaca nilai dari RW176 hingga RW179 dan menyimpannya ke dalam array `USER_DATA[]`, lalu mendistribusikan nilainya ke variabel `HR_ON`, `MN_ON`, `HR_OFF`, dan `MN_OFF`. Waktu sistem saat ini kemudian dibandingkan dengan waktu on dan off tersebut. Jika waktu saat ini sesuai dengan waktu on, macro akan menuliskan logika 1 ke tag “Button LP Lt 3 Grp 1” melalui koneksi OPC UA untuk menyalakan lampu. Sebaliknya, jika waktu off tercapai, nilai 1 kembali dituliskan ke tag yang sama untuk mematikan lampu. Setelah eksekusi selesai, flag `ENABLED` direset menjadi 0 agar siklus dapat diulang. Program macro ini ditampilkan pada Gambar 31.

```
20 macro_command main()
21 short USER_DATA[4]
22 short HR, MN, HR_ON, MN_ON, HR_OFF, MN_OFF
23 bool ENABLED, TIMER_OUT
24
25 //Ambil data dari HMI
26 GetData(ENABLED, "Local HMI", LB, 44, 1)
27 GetData(HR, "Local HMI", LW, 5019, 1)
28 GetData(MN, "Local HMI", LW, 5018, 1)
29 GetData(USER_DATA[0], "Local HMI", RW, 176, 4)
30
31 //Assign waktu dari array
32 HR_ON = USER_DATA[0]
33 MN_ON = USER_DATA[1]
34 HR_OFF = USER_DATA[2]
35 MN_OFF = USER_DATA[3]
36
37 //Logika penjadwalan
38 if ENABLED == 1 then
39   if HR == HR_ON and MN == MN_ON then
40     TIMER_OUT = 1
41   end if
42   SetData(TIMER_OUT, "OPC UA Client", "Button LP Lt 3 Grp 1 (ns:2;s:Channel2.Device1.Button LP Lt 3 Grp 1)", 1)
43 end if
44
45 if HR == HR_OFF and MN == MN_OFF then
46   TIMER_OUT = 0
47   SetData(TIMER_OUT, "OPC UA Client", "Button LP Lt 3 Grp 1 (ns:2;s:Channel2.Device1.Button LP Lt 3 Grp 1)", 1)
48   ENABLED = 0
49   SetData(ENABLED, "Local HMI", LB, 44, 1)
50 end if
51 end if
52 end macro_command
```

Gambar 31. Program Macro Set Time Gruping 1 Lantai 1

Salah satu aspek penting dalam integrasi sistem kontrol berbasis web ini adalah penggunaan protokol MQTT sebagai media komunikasi data antara antarmuka web dengan HMI. Konfigurasi MQTT pada HMI dilakukan melalui EasyBuilder Pro dengan cara menambahkan perangkat MQTT Client yang terhubung ke broker MQTT.

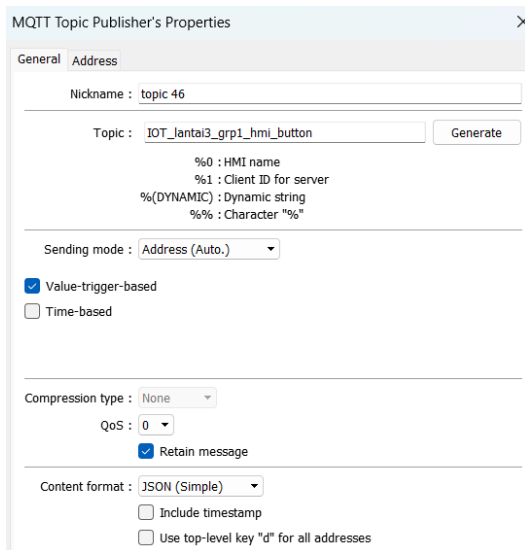
Langkah pertama dilakukan dengan membuka menu MQTT Server's Properties, kemudian menambahkan server MQTT dengan domain broker eksternal broker.emqx.io, dan port 1883 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 32. Konfigurasi ini tidak menggunakan autentikasi, dan Client ID diatur secara acak melalui kode %2 untuk memastikan bahwa setiap koneksi yang dilakukan oleh HMI bersifat unik. Pengaturan ini juga dilengkapi dengan interval keep alive selama 10 detik agar koneksi tetap aktif secara periodik, serta pengaturan waktu yang disesuaikan menggunakan UTC Time.



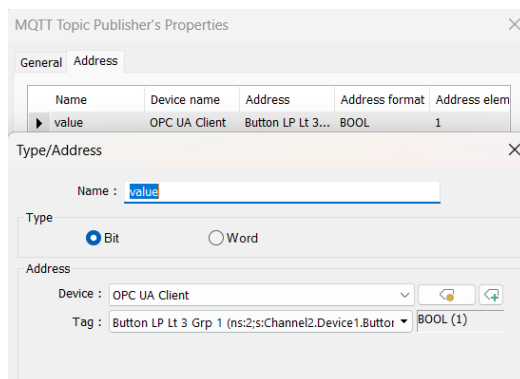
Gambar 32. Konfigurasi Broker MQTT

Selanjutnya, konfigurasi topic dilakukan melalui fitur MQTT Topic Publisher dan Subscriber. Untuk publisher dibuat sebuah topik dengan nama `IOT_lantai3_grp1_hmi_button` yang bertugas mengirimkan data kondisi tombol atau output lampu ke broker MQTT. Pengiriman data menggunakan metode value-trigger-based, dimana hanya akan terjadi jika nilai data berubah. Data yang dikirim adalah tipe bit yang diambil dari tag Button LP Lt 3 Grp 1 dari alamat OPC UA Client. Format pengiriman data

menggunakan JSON (Simple), dengan opsi Retain message agar data terakhir tetap tersimpan di broker.

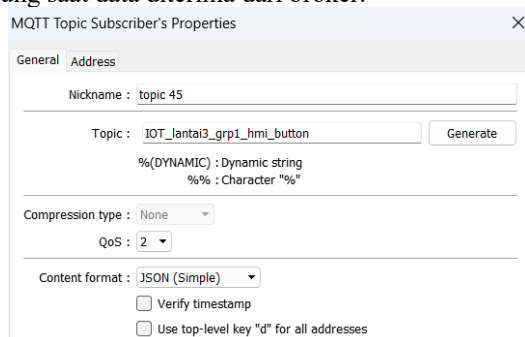


Gambar 33. Konfigurasi MQTT Topic Publisher



Gambar 34. Alamat Data Publisher

Setelah publisher, dilakukan pengaturan subscriber dengan menggunakan nama topik yang sama persis, yaitu IOT_lantai3_grp1_hmi_button. Format data yang diterima tetap menggunakan JSON, namun dengan Quality of Service (QoS) level 2, agar setiap pesan yang dikirim dari web ke HMI diterima tepat satu kali dan tanpa duplikasi. Mode operasi subscriber disetel agar memproses data secara langsung saat data diterima dari broker.



Gambar 35. Konfigurasi MQTT Topic Subscriber

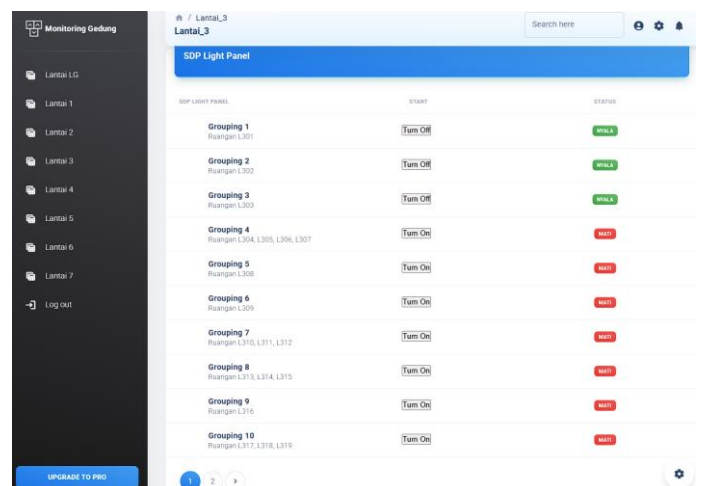
Web yang berfungsi sebagai interface pengguna akan melakukan subscribe dan publish ke topik tersebut sesuai dengan kondisi input maupun kontrol yang dilakukan oleh pengguna. Melalui konfigurasi ini, HMI akan berfungsi

sebagai publisher untuk mengirimkan status output, dan subscriber untuk menerima perintah kontrol dari web.

4. Pembuatan WEB

Perancangan antarmuka web dilakukan sebagai bagian dari integrasi sistem BMS yang bertujuan untuk memberikan akses kontrol dan monitoring terhadap status lampu pada tiap grup secara remote. Sistem web ini dibangun menggunakan framework React.js dan dikembangkan dalam Visual Studio Code. Web dirancang agar dapat menampilkan informasi secara langsung dengan menggunakan protokol komunikasi MQTT sehingga pengguna dapat melakukan kendali dua arah terhadap lampu melalui antarmuka web tersebut.

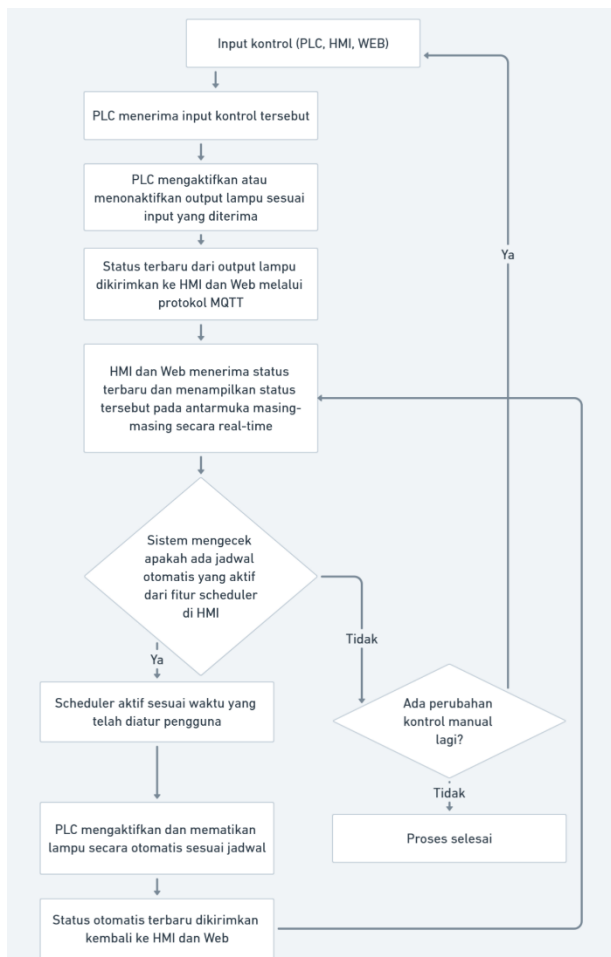
Antarmuka utama web terbagi menjadi beberapa komponen navigasi, yaitu sidebar, dashboard, dan area kontrol per lantai. Sidebar menampilkan daftar lantai dari LG hingga lantai 7 yang dapat dipilih oleh pengguna untuk melihat detail pengelompokan lampu di setiap lantai. Pada tampilan area kontrol per lantai, pengguna dapat melihat daftar grouping atau pembagian kontrol lampu berdasarkan ruang. Masing-masing grup dilengkapi dengan tombol kendali (Turn On/Off) dan indikator status (nyala/mati) yang ditampilkan dalam bentuk label berwarna hijau yang menunjukkan grup lampu sedang menyala atau merah yang menunjukkan bahwa lampu dalam kondisi mati.



Gambar 36. Tampilan Antarmuka Web Lantai 3

B. Sistem Kerja

Sistem terdiri atas tiga komponen utama yang saling terintegrasi yaitu PLC, HMI, dan web interface. PLC bertugas untuk mengendalikan langsung kondisi on/off dari tiap grup lampu sesuai dengan input dari HMI ataupun web. HMI berfungsi sebagai antarmuka lokal yang memungkinkan pengguna untuk menyalakan, mematikan, serta menjadwalkan waktu operasional lampu. Sementara itu, web berperan sebagai antarmuka jarak jauh berbasis MQTT yang dapat mengontrol dan memonitor status lampu secara realtime.

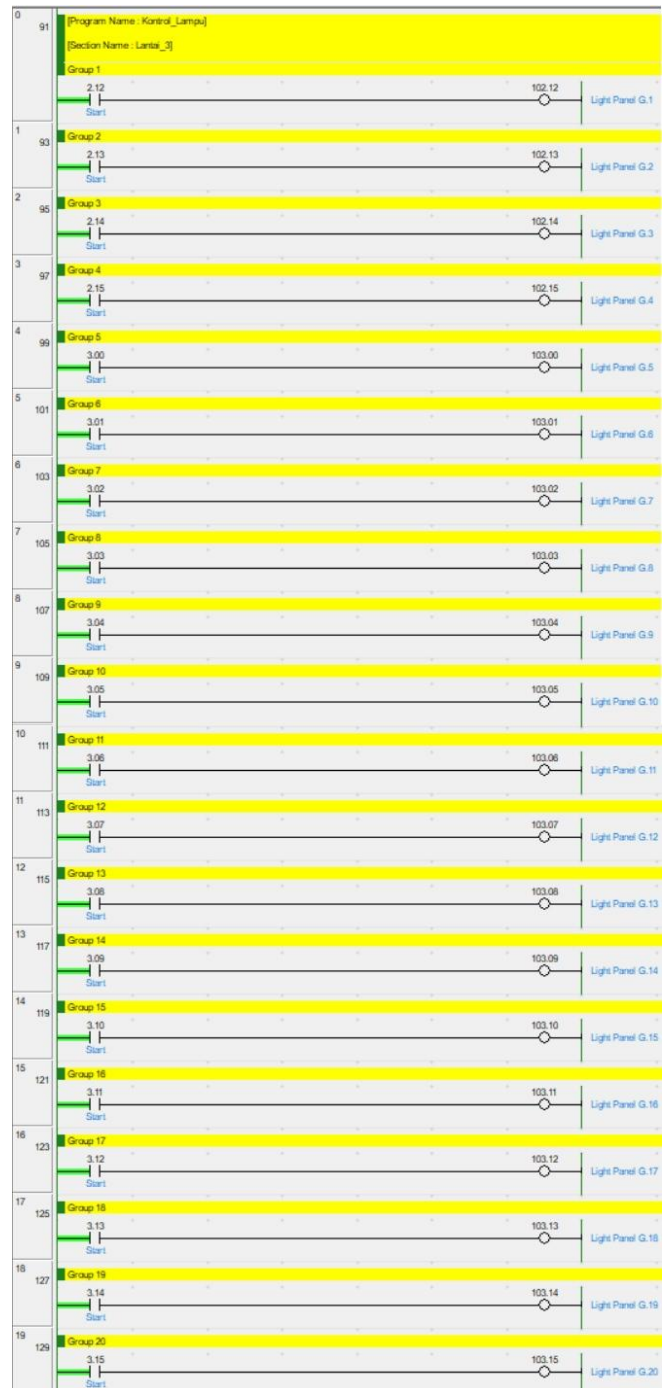


Gambar 37. Diagram Alir Komunikasi dan Interaksi Sistem.

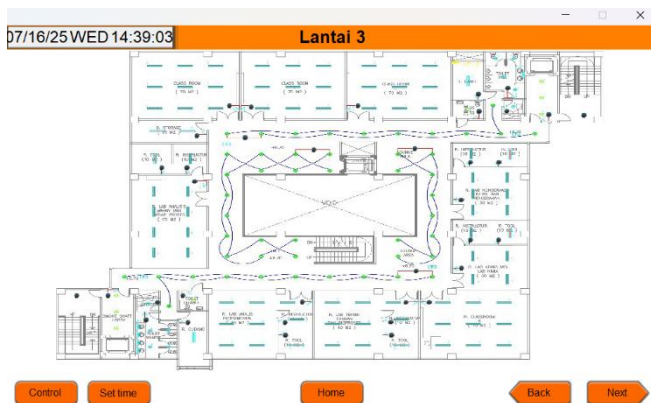
Diagram alir ini menjelaskan bahwa sistem dapat dikendalikan dari tiga titik, yaitu PLC, HMI, dan Web. Saat salah satu perangkat misalnya HMI mengirimkan perintah kontrol berupa sinyal ON atau OFF, PLC akan memproses input tersebut dan mengaktifkan output lampu secara fisik. Status perubahan output ini dikirimkan kembali ke HMI dan Web sehingga kedua perangkat menampilkan status aktual lampu secara realtime. Proses yang sama berlaku jika kontrol dilakukan dari Web. Demikian pula, ketika kontrol manual secara langsung dilakukan pada PLC melalui simulator ladder diagram, sistem tetap bekerja secara sinkron. Setelah status terbaru diterima dan ditampilkan, sistem akan memeriksa apakah terdapat jadwal otomatis yang aktif di HMI. Jika ada, maka scheduler akan bekerja sesuai waktu yang telah ditentukan pengguna, dan PLC akan secara otomatis mengubah status output lampu berdasarkan jadwal tersebut. Status yang diperbarui ini kembali dikirim ke HMI dan Web agar ditampilkan secara terkini. Jika tidak ada jadwal aktif, maka sistem akan memeriksa apakah ada kontrol manual baru dari pengguna. Bila tidak ada perubahan lebih lanjut, proses akan dianggap selesai. Namun jika terdapat input kontrol baru, siklus proses akan diulang kembali dari tahap awal. Diagram ini menggambarkan bagaimana sistem mendukung kontrol dua arah dan otomatisasi secara terintegrasi dan *realtime*.

Proses yang digambarkan dalam diagram alir tersebut dapat diamati melalui simulasi sistem kontrol pada lantai 3. Pada kondisi awal, seluruh grup lampu berada dalam keadaan mati. Pada gambar 38 menunjukkan bahwa status kontak di

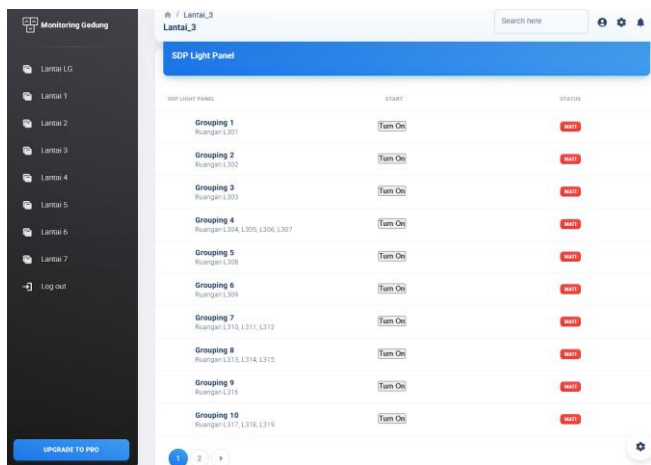
PLC seluruhnya masih terbuka, menandakan output lampu belum aktif. Kondisi ini juga divisualisasikan melalui tampilan antarmuka HMI pada Gambar 39, di mana seluruh titik indikator lampu pada denah lantai tampak padam. Selain itu, Gambar 40 dan Gambar 41 juga memperlihatkan tampilan web yang menunjukkan status semua grup lampu dalam kondisi mati.



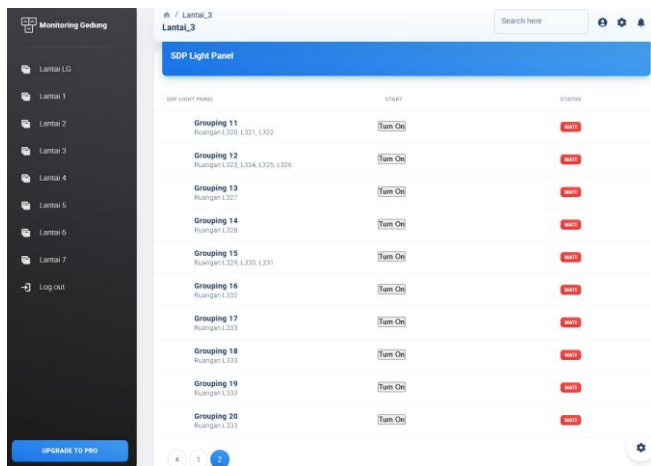
Gambar 38. Kontak di PLC Seluruhnya Terbuka



Gambar 39. Tampilan HMI lantai 3 memperlihatkan kondisi padam pada keseluruhan layout

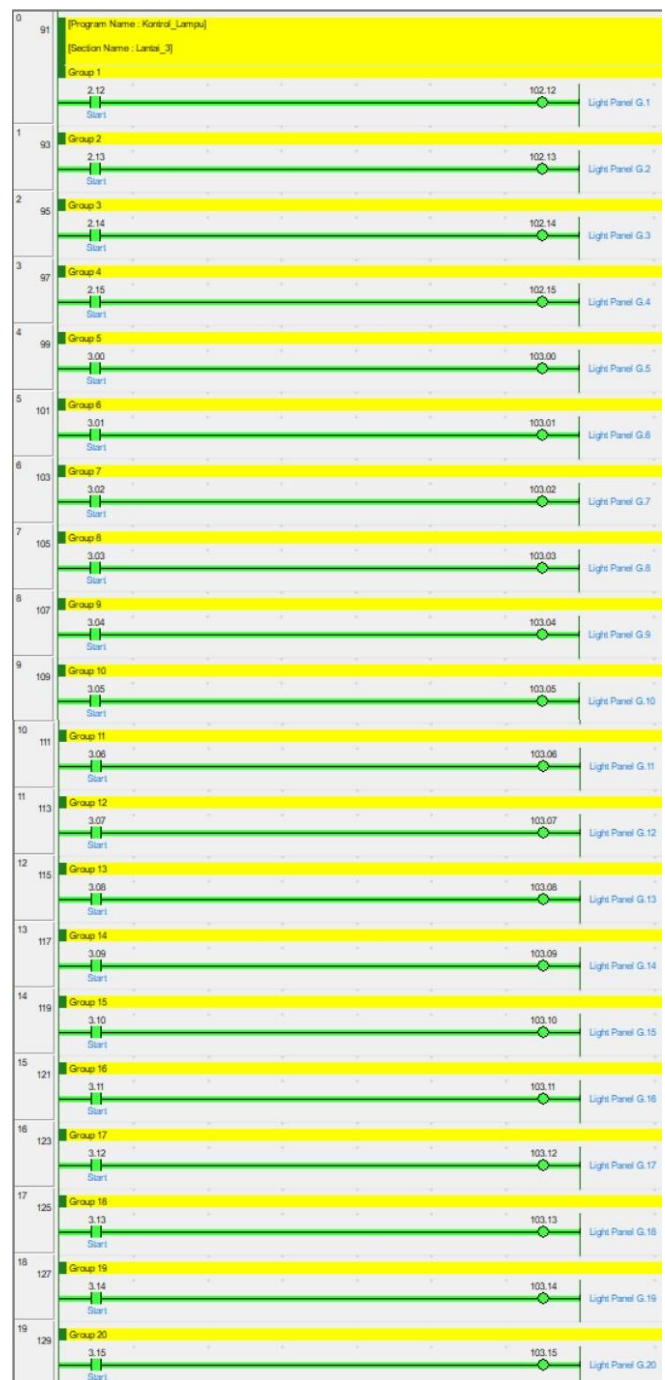


Gambar 40. Web Lantai 3 Page Pertama Menunjukkan Seluruh Status Grup Lampu Dalam Kondisi Mati



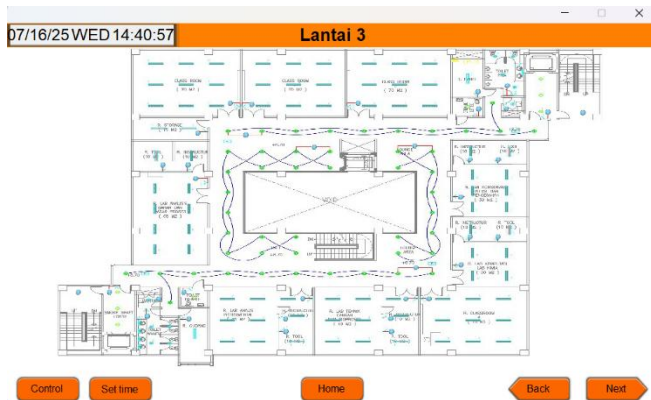
Gambar 41. Web Lantai 3 Page Kedua Menunjukkan Seluruh Status Grup Lampu Dalam Kondisi Mati

gambar 47 menunjukkan bahwa antarmuka web turut memperbarui status grup 1 hingga 20 menjadi nyala sebagai hasil komunikasi status dari PLC ke web melalui MQTT.

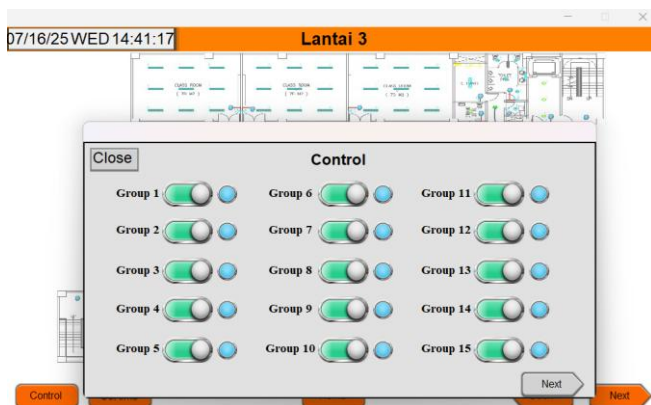


Gambar 42. Kontak di PLC Seluruhnya Tertutup

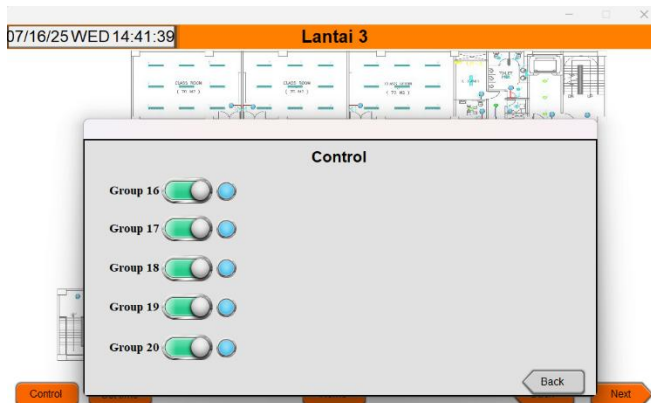
Selanjutnya dilakukan aksi menyalakan seluruh grup lampu 1 hingga 20 melalui HMI. Hasil dari proses ini terlihat pada gambar 42, di mana PLC seluruh output pada plc menunjukkan bahwa output 102.12 hingga 103.15 telah aktif. Status lampu yang menyala juga divisualisasikan pada gambar 4.3, dengan tampilan semua titik indikator lampu aktif sesuai lokasi pada layout lantai. Selain itu, pada gambar 44 dan gambar 45 juga menampilkan bahwa seluruh tombol kontrol dari grup 1 sampai grup 20 berada dalam posisi on atau indikator berwarna hijau. Secara bersamaan, status ini juga tercermin pada web seperti terlihat pada gambar 46 dan



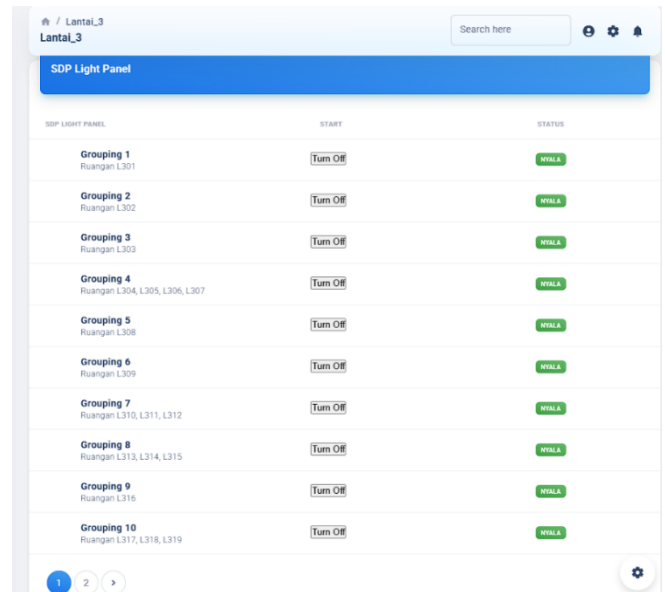
Gambar 43. Tampilan HMI Lantai 3 Memperlihatkan Kondisi Menyala pada Keseluruhan Layout



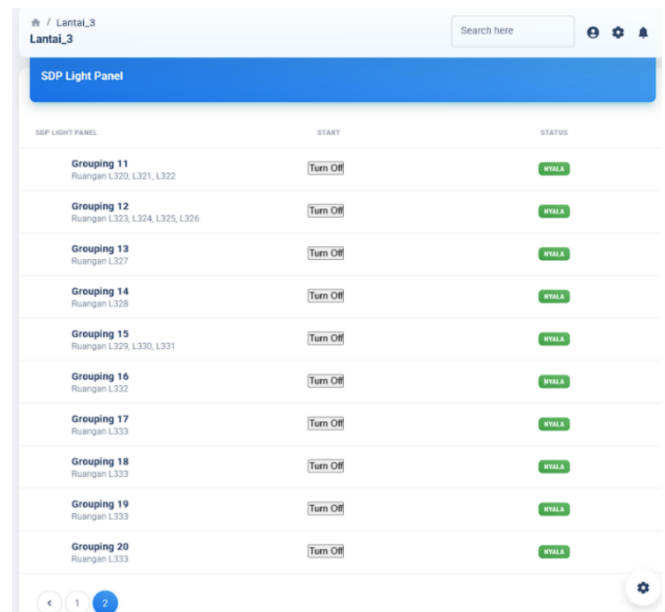
Gambar 44. Tampilan Page Satu Control HMI Lantai 3 Memperlihatkan Kondisi Menyala pada Keseluruhan Layout



Gambar 45. Tampilan Page Dua Control HMI Lantai 3 Memperlihatkan Kondisi Menyala pada Keseluruhan Layout



Gambar 46. Web Lantai 3 Page Pertama Menunjukkan Seluruh Status Grup Lampu Dalam Kondisi Nyala

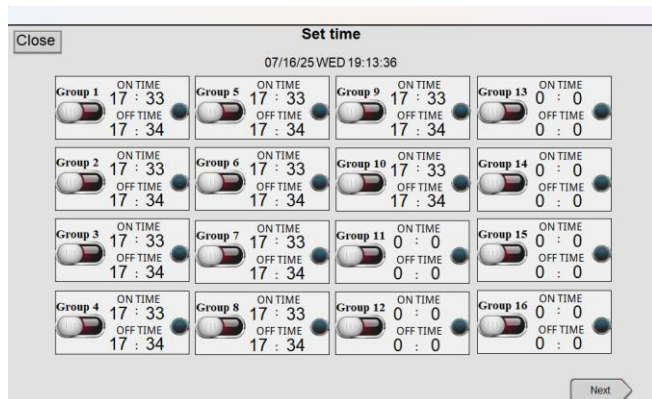


Gambar 47. Web Lantai 3 Page Pertama Menunjukkan Seluruh Status Grup Lampu Dalam Kondisi Nyala

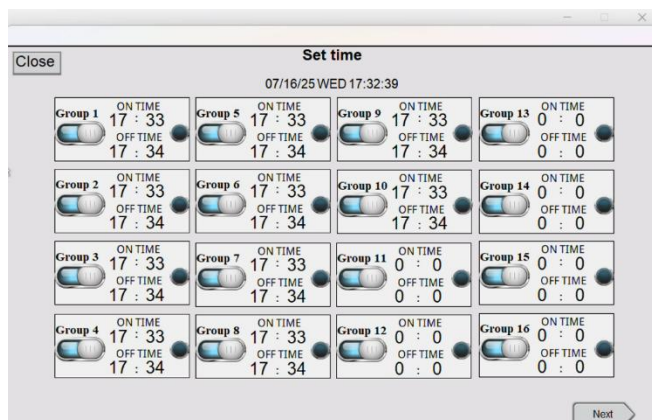
Selain kontrol manual, sistem ini mendukung kontrol otomatis melalui fitur scheduler pada HMI. Fitur ini diakses melalui tombol "Set Time" yang ditampilkan pada gambar 4.47, dimana pengguna dapat mengatur waktu nyala dan mati lampu berdasarkan jam dan menit. Pada simulasi ini, grup dari 1 hingga 10 diatur untuk menyala otomatis pada pukul 17:33 dan mati kembali pada pukul 17:34. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.48, yang merupakan kondisi awal sebelum waktu on tercapai indikator saklar masih dalam posisi mati.

Ketika waktu mencapai 17:33, seluruh saklar grup 1 hingga grup 10 otomatis berubah ke posisi menyala sebagaimana terlihat pada Gambar 4.49. PLC pun merespon dengan mengaktifkan output yang sesuai dan mengirimkan status terbaru ke HMI dan Web. Kemudian pada pukul 17:34, saklar kembali ke posisi mati, seperti ditunjukkan pada gambar 4.50 yang menandakan fitur scheduler bekerja sesuai

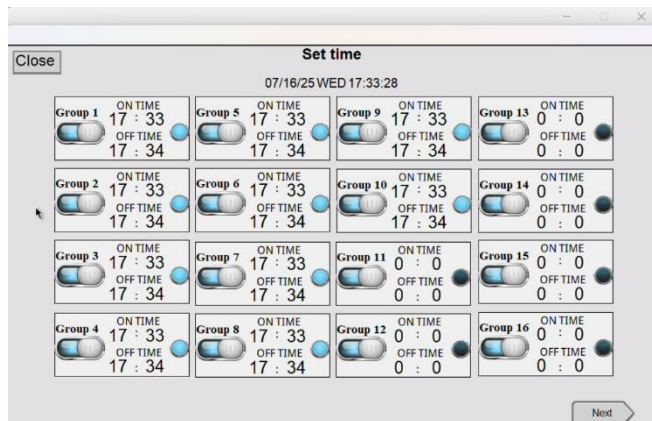
dengan waktu yang telah dijadwalkan. Sementara itu, grup 11 hingga 16 tidak diatur jadwal waktunya dan fitur scheduler-nya tidak diaktifkan. Hal ini menyebabkan grup tersebut tidak mengalami perubahan status lampu tetap dalam keadaan mati.



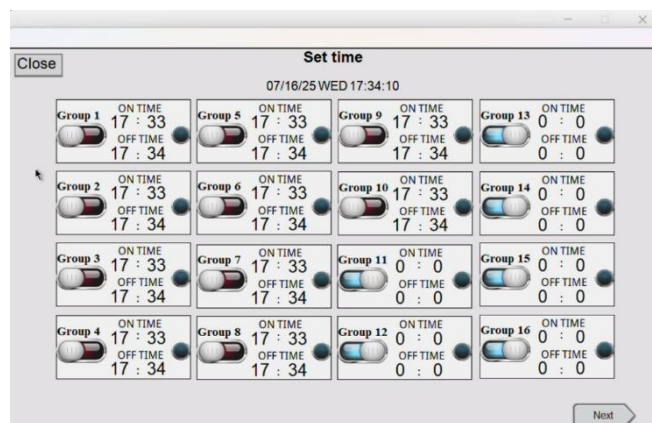
Gambar 48. Layout Set Time Lantai Tiga



Gambar 49. Penggunaan Set Time Lantai tiga



Gambar 50. Indikator Pada Set Time Lantai 3 Menyala



Gambar 51. Indikator Pada Set Time Lantai 3 Mati

Dengan begitu, proses ini menggambarkan implementasi dari diagram alir, di mana input dari jadwal waktu menghasilkan output lampu yang dikontrol secara otomatis, lalu statusnya disinkronkan ke HMI dan Web melalui protokol komunikasi MQTT.

C. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *blackbox testing*, dengan fokus pada fungsionalitas kontrol dari tiga sumber yaitu HMI, Web, dan langsung dari PLC. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat merespon setiap perintah yang diberikan dengan benar dan menjaga konsistensi status antar perangkat yang digunakan.

Pengujian dibagi berdasarkan sumber kontrol yaitu kontrol dari WEB, kontrol dari HMI, dan kontrol dari PLC. Masing-masing pengujian mencakup total 153 grup lampu yang tersebar mulai dari lantai LG hingga lantai 7. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap aksi kontrol *on/off* pada salah satu perangkat menghasilkan respon yang sinkron dan sesuai pada perangkat lainnya.

Pada Tabel 1, pengujian dilakukan melalui antarmuka HMI untuk grup di seluruh lantai. Setiap tombol *on/off* pada HMI ditekan dan hasilnya diamati melalui perubahan pada status kontak PLC serta indikator visual di Web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap aksi kontrol dari HMI berhasil diterima oleh PLC, dan status indikator di Web juga diperbarui secara langsung, hal ini menandakan sinkronisasi antar perangkat berjalan baik.

Tabel 1. Pengujian Kontrol dari HMI

Pengujian Kontrol dari HMI					
Lantai	Group Lampu	Aksi on/off	Status I/O PLC	Status indikator WEB nyala/mati	Keterangan
LG	1-10	✓	✓	✓	Sinkron
1	1-14	✓	✓	✓	Sinkron
2	1-20	✓	✓	✓	Sinkron
3	1-20	✓	✓	✓	Sinkron
4	1-21	✓	✓	✓	Sinkron
5	1-26	✓	✓	✓	Sinkron
6	1-24	✓	✓	✓	Sinkron
7	1-19	✓	✓	✓	Sinkron

Tabel 2 menampilkan hasil pengujian ketika kontrol dilakukan melalui antarmuka Web. Tombol kontrol yang di klik pada halaman Web langsung menghasilkan perubahan pada kontak output PLC serta indikator lampu di HMI. Hasil ini menunjukkan bahwa perintah kontrol yang dikirimkan

dari Web berhasil diterima dan dieksekusi dengan benar oleh PLC dan ditampilkan secara sinkron pada HMI.

Tabel 2. Pengujian Kontrol dari Web

Pengujian Kontrol dari WEB					
Lantai	Group Lampu	Aksi on/off	Status I/O PLC	Status indikator HMI menyala/mati	Keterangan
LG	1-10	✓	✓	✓	Sinkron
1	1-14	✓	✓	✓	Sinkron
2	1-20	✓	✓	✓	Sinkron
3	1-20	✓	✓	✓	Sinkron
4	1-21	✓	✓	✓	Sinkron
5	1-26	✓	✓	✓	Sinkron
6	1-24	✓	✓	✓	Sinkron
7	1-19	✓	✓	✓	Sinkron

Sementara pada Tabel 4.3, pengujian dilakukan dengan kontrol langsung melalui simulator PLC menggunakan CX-Programmer. Perubahan status output pada PLC secara manual berdampak langsung terhadap perubahan tampilan status pada antarmuka HMI dan Web. Pengujian ini menjelaskan bahwa sistem mampu mendeteksi dan menampilkan perubahan status secara langsung tanpa adanya kesalahan komunikasi antar perangkat.

Tabel 3. Pengujian Kontrol dari PLC

Pengujian Kontrol dari PLC					
Lantai	Group Lampu	Aksi on/off	Status indikator HMI menyala/mati	Status indikator WEB nyala/mati	Keterangan
LG	1-10	✓	✓	✓	Sinkron
1	1-14	✓	✓	✓	Sinkron
2	1-20	✓	✓	✓	Sinkron
3	1-20	✓	✓	✓	Sinkron
4	1-21	✓	✓	✓	Sinkron
5	1-26	✓	✓	✓	Sinkron
6	1-24	✓	✓	✓	Sinkron
7	1-19	✓	✓	✓	Sinkron

Berdasarkan hasil pengujian ketiga perangkat kontrol ini, dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol yang dirancang telah berhasil memenuhi kriteria keberhasilan yaitu mampu melakukan komunikasi dua arah secara *realtime*, serta menunjukkan kondisi sinkronisasi di antara ketiga perangkat yang terintegrasi dalam sistem. Dengan demikian, tujuan dan fungsi sistem kontrol pada penelitian ini dapat dinyatakan berhasil tercapai.

V. SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem simulasi BMS untuk kontrol dan monitoring lampu pada gedung 8 lantai dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perancangan sistem simulasi Building Management System (BMS) berbasis PLC, HMI, dan Web telah berhasil dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat lunak CX-Programmer, EasyBuilder Pro, dan Web. Sistem ini dirancang untuk mengontrol dan memantau pencahayaan gedung 8 lantai, dengan total 153 grup lampu dan ditampilkan dalam bentuk antarmuka HMI berdasar layout dari desain Autocad tiap lantai. Pengalamatan CIO dan struktur tag disusun secara sistematis untuk memudahkan pengaturan dan pemantauan.

2. Implementasi komunikasi antar perangkat berjalan efektif melalui integrasi protokol OPC UA untuk koneksi antara HMI dan PLC melalui KEPServerEX, serta protokol MQTT untuk komunikasi antara HMI dan Web. Penggunaan struktur topik yang identik pada publisher dan subscriber menjamin komunikasi dua arah secara *realtime*. Selain itu, pemrograman macro pada HMI memungkinkan pemrosesan data lokal seperti input penjadwalan waktu dan dibandingkan dengan waktu aktual secara otomatis.
3. Pengujian sistem menunjukan bahwa seluruh fitur berfungsi sesuai harapan. Simulasi kontrol dan monitoring dilakukan melalui pengujian Blackbox dengan hasil bahwa setiap aksi dari HMI, Web, maupun PLC memberikan respon yang sesuai dan memperbarui status secara *realtime* pada semua platform.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Pratama, "AUDIT ENERGI UNTUK PENCAPAIAN EFISIENSI ENERGI LISTRIK PT. INTAN PARIWARA KLATEN," 2018.
- [2] D. Erika and M. Aurora, "Rancangan Sistem Manajemen Energi Listrik di Lantai Dua Gedung Laboratorium Teknik Elektro ITN Malang," 2016.
- [3] D. Nugroho, Nafindro, R. Nugroho, and D. S. Pradnya P, "Penerapan Prinsip Performance-Based Smart Building Pada Perencanaan Sekolah Tinggi Multimedia Surakarta," *SENTHONG J. Ilm. Mhs. Arsit.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–32, 2020.
- [4] G. Lowry, "Modelling user acceptance of building management systems," *Autom. Constr.*, vol. 11, no. 6, pp. 695–705, 2002, doi: 10.1016/S0926-5805(02)00010-9.
- [5] H. Doukas, K. D. Patlitzianas, K. Iatropoulos, and J. Psarras, "Intelligent building energy management system using rule sets," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 10, pp. 3562–3569, 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.10.024.
- [6] U. A. Khatami, E. Sakti Pramukantoro, and F. A. Bakhtiar, "Pengujian Interoperabilitas pada IoT Middleware dalam Mengatasi Permasalahan Interoperabilitas," *J. Pengemb. ...*, vol. 3, no. 8, pp. 2548–964, 2019, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [7] Ali Khumaidi and Wargiono, "Perancangan Building Management System Menggunakan Arduino Mega 2560 dan Layanan Cloud," *Semin. Nas. dan Teknol.*, no. April 2018, pp. 667–673, 2018.
- [8] K. Pratama and I. N. B. B. C. A. P. Dwisaputra, "Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan 2022 Building Management System

Berbasis Arduino Dengan Protokol Komunikasi Modbus,” 2022.

- [9] F. Y. Hartawan and M. Galina, “Implementasi Programmable Logic Control (Plc) Omron Cp1E Pada Sistem Kendali Motor Induksi Star-Delta Untuk Kebutuhan Industri,” *JTT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 8, no. 2, p. 98, 2022, doi: 10.31884/jtt.v8i2.409.
- [10] D. Yuhendri, “Penggunaan PLC Sebagai Pengontrol Peralatan Building Automatis,” *JET (Journal Electr. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 121–127, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/952>
- [11] Dede Ajudin, “Pengenalan dasar PLC (Programmable Logic Controllers),” *Wordpress.Com*, no. December, pp. 0–6, 2015.
- [12] D. Pradikto, I. Anang, and T. Mt, “RANCANG BANGUN SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION (SCADA) PADA PENGENDAP KEDUA (CLARIFIER) UNTUK PROSES POLYELECTROLYTE FEEDER DI PDAM,” 2011.
- [13] T. Pudar and M. Laksono, *SISTEM SCADA WATER LEVEL CONTROL MENGGUNAKAN SOFTWARE WONDERWARE*. 2013.
- [14] U. Khoiriyah, M. Ridwan, and A. Cahyono, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Oxygen Plant menggunakan Citect Scada,” *J. Elkolind*, vol. 8, no. 3, pp. 185–189, 2021, doi: 10.33795/elkolind.v8i3/248.
- [15] L. Paananen, “IEC 61850 and KEPServerEX Data Communication in a Power Plant En-vironment,” no. May, 2024.
- [16] K. O. Bachri, Y. P. Karangga, and V. W. Mahyastuty, “Cylinder : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Perancangan Sistem Filtrasi Air Berbasis Virtual Programmable Logic Controller (PLC) dan Human-Machine Interface (HMI),” vol. 10, pp. 25–35, 2024.
- [17] Y. Ege, H. Citak, and M. Coramik, “Creating and Testing Virtual Hardware (Port),” no. October, 2017.
- [18] C. Barz, G. Domide, T. Latinovic, Z. Erdei, and A. Balan, “Practical application with plc in manipulation of a robotic arm,” *Carpathian J. Electr. Eng.*, vol. 8, no. 1, 2014, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/275955783>
- [19] M. F. Işık, M. R. Haboğlu, and B. Yartaşı, “Smart Phone Based Energy Monitoring System for 3 Phase Induction Motors,” *Int. J. Electron. Electr. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 90–93, 2017, doi: 10.18178/ijee.5.1.90-93.
- [20] M. I. Fariz and A. Y. Basuki, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Pada Line Produksi Menggunakan Weintek CMT FHDx,” vol. 14, no. 02, pp. 110–117, 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i2.009.
- [21] A. Kurnianto, J. Dedy Irawan, and F. Xaverius Ariwibisono, “Penerapan Iot (Internet of Things) Untuk Controlling Lampu Menggunakan Protokol Mqtt Berbasis Web,” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 1153–1161, 2023, doi: 10.36040/jati.v6i2.5393.
- [22] B. M. Susanto, E. S. J. Atmadji, and W. L. Brenkman, “Implementasi Mqtt Protocol Pada Smart Home Security Berbasis Web,” *J. Inform. Polinema*, vol. 4, no. 3, pp. 201–205, 2018, doi: 10.33795/jip.v4i3.207.
- [23] S. D. Pratama, L. Lasimin, and M. N. Dadaprawira, “Pengujian Black Box Testing Pada Aplikasi Edu Digital Berbasis Website Menggunakan Metode Equivalence Dan Boundary Value,” *J-SISKO TECH (Jurnal Teknol. Sist. Inf. dan Sist. Komput. TGD)*, vol. 6, no. 2, p. 560, 2023, doi: 10.53513/jsk.v6i2.8166.
- [24] M. Kumar, A. Professor, S. Kumar Singh, R. K. Dwivedi, and A. Professor, “A Comparative Study of Black Box Testing and White Box Testing Technique,” *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Manag. Stud.*, vol. 3, no. 10, pp. 32–44, 2015, [Online]. Available: www.ijarcsms.com