
IoT-Based Smart Switch Design Using ESP32 for Smart Room Control

Mickhael Gunawan¹⁾, Hanifah Ekawati²⁾, dan Ahmad Fahrijal Pukeng³⁾

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, STMIK Widya Cipta Dharma ³Program Studi Teknik Informatika, STMIK Widya Cipta Dharma

¹Jl. M. Yamin No.25, Gn. Kelua, Kec. Samarinda Ulu, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75123

E-mail: 2243052@wicida.ac.id¹⁾, hanifah@wicida.ac.id²⁾, pukeng@wicida.ac.id³⁾

ABSTRACT

The rapid growth of the Internet of Things (IoT) environment significantly impacts the transformation of conventional spaces into automated smart room ecosystems. However, the core obstacle inside current commercial smart building ecosystems lies in the high dependency on intrusive relays or module wiring modifications inside physical concrete structures, which can be categorized as a destructive and economically inefficient installation protocol. This scientific research introduces an innovative design and construction of an alternative standalone non-destructive smart switch system powered by an ESP32 microcontroller architecture. The systems structural engineering employs an iterative prototyping paradigm as its central design framework, encompassing systematic execution from field requirement assessment to direct target deployment iterations. Mechanically, the device executes spatial lighting manipulation by driving micro servo units to trigger physical lever modules externally, preserving the layout of pre-existing components. For user interaction, a native client-side web application interface was developed to be hosted locally on the microcontrollers standalone Access Point node at port localhost, avoiding latency issues and dependency on public cloud clusters.

Keywords: *Internet of Things, Embedded System, Smart Room Automation, ESP32 Microcontroller, Non-Destructive Hardware, Basis Path Testing.*

Rancang Bangun Smart Switch Berbasis Iot Dengan ESP32 Untuk Kendali Smart Room

ABSTRAK

Akselerasi perkembangan ekosistem Internet of Things (IoT) telah mendorong pembaruan besar pada tata kelola infrastruktur bangunan melalui implementasi otomasi ruangan pintar atau smart room. Hambatan utama pada penerapan sistem otomasi komersial saat ini adalah besarnya ketergantungan terhadap pemasangan modul relay internal yang mewajibkan proses pembongkaran jalur perkabelan di dalam struktur dinding, sehingga diklasifikasikan sebagai metode instalasi yang merusak (destructive) dan membutuhkan biaya operasional tinggi. Penelitian ilmiah ini mengusulkan rancang bangun solusi alternatif berupa alat otomasi sakelar pintar (smart switch) berbasis mikrokontroler ESP32 yang bersifat non-destructive. Kerkayasaan perangkat ini memanfaatkan metodologi eksperimental berbasis paradigma prototyping terstruktur, yang mengintegrasikan tahapan secara berulang mulai dari penyerapan aspirasi pengguna hingga pengujian lapangan secara langsung. Secara mekanis, pemutusan dan penyambungan aliran daya listrik ruang dikendalikan melalui pergerakan lengan motor micro servo untuk menekan tuas sakelar fisik konvensional secara add-on dari luar panel. Sistem interaksi pengguna dijumpai oleh aplikasi native web responsive yang di-host secara mandiri melalui port localhost pada jaringan nirkabel lokal mikrokontroler tanpa bergantung pada konektivitas internet eksternal maupun arsitektur cloud server.

Kata Kunci: Internet of Things, Sistem Embedded, Otomasi Sakelar, Mikrokontroler ESP32, Mekanis Non-Destructive, Pengujian Basis Path.

1. PENDAHULUAN

Akselerasi perkembangan teknologi informasi dan tata kelola gelombang komunikasi nirkabel pada dekade ini telah melahirkan paradigma baru bernama Internet of Things (IoT). Melalui implementasi teknologi embedded system, ekosistem IoT mampu menjembatani integrasi

antara berbagai modul perangkat keras fisik dengan jaringan komunikasi digital untuk melakukan proses pertukaran data, pengawasan, serta kendali otomatisasi tanpa mengharuskan adanya intervensi manusia secara konvensional dan berulang. Salah satu domain implementasi IoT yang menunjukkan kurva pertumbuhan

paling masif dan berdampak langsung pada aktivitas harian adalah digitalisasi tata kelola ruang atau yang jamak disebut dengan istilah Smart Room. Implementasi ruangan cerdas ini pada dasarnya mengintegrasikan berbagai layanan digital antarmuka responsif guna menunjang produktivitas, kenyamanan, serta menekan pola pemborosan konsumsi energi bagi para penghuninya. Namun, fakta di lapangan menunjukkan bahwa sebagian besar infrastruktur bangunan kelas, kantor, maupun hunian saat ini masih mengadopsi skema manajemen kelistrikan manual. Pengguna ruangan diwajibkan untuk mendatangi dan menekan tuas sakelar mekanis yang melekat pada dinding secara langsung guna mematikan atau menyalakan lampu pencahayaan. Pola interaksi manual ini melahirkan inefisiensi yang masif, terutama ketika posisi pengguna berada jauh dari jangkauan sakelar fisik atau ketika ruangan telah dikosongkan namun perangkat lampu tetap dibiarkan menyala akibat kelalaian manusia. Faktor ketidakterintegrasi sistem kelistrikan konvensional dengan jaringan nirkabel ini mengakibatkan minimnya fungsi pemantauan jarak jauh, yang pada akhirnya memicu pemborosan daya energi listrik dalam skala besar dan menurunkan usia pakai komponen lampu itu sendiri. Sebagai langkah taktis mitigasi pemborosan energi, pasar teknologi sebenarnya telah menyediakan perangkat komersial smart home berupa modul relay elektronik. Kendati demikian, adopsi teknologi relay komersial tersebut menemui hambatan besar dalam proses instalasinya. Pemasangan modul relay mewajibkan teknisi untuk melakukan pembongkaran casing panel sakelar dan memotong serta merombak ulang jalur kabel bertegangan tinggi yang tertanam di dalam dinding semen. Prosedur instalasi ini dinilai sangat destruktif (merusak struktur bangunan), memiliki tingkat risiko kecelakaan kerja kelistrikan yang tinggi, memerlukan waktu pengerjaan yang lama, serta menuntut pengeluaran finansial yang tidak sedikit bagi pihak pengelola gedung. Kondisi problematik tersebut dikonfirmasi secara riil melalui studi lapangan dan pengumpulan data primer lewat wawancara terstruktur bersama Bapak Mohammad Thoyib selaku Kepala Seksi Mekanik di lingkungan kampus STMIK Widya Cipta Dharma. Berdasarkan data hasil wawancara, manajemen kelistrikan di gedung bertingkat institusi saat ini masih mengandalkan kontrol manual terikat waktu dengan frekuensi pengecekan hanya dua kali dalam seminggu akibat keterbatasan Sumber Daya Manusia (SDM) petugas kebersihan. Petugas diwajibkan menyusuri lorong-lorong bangunan bertingkat dan membuka paksa ruangan-ruangan terkunci murni hanya untuk mendeteksi apakah terdapat lampu kelas atau fasilitas pendingin ruangan (AC) yang lupa dinonaktifkan oleh mahasiswa maupun dosen pasca-kuliah. Fenomena kelalaian pengguna ruangan ini terjadi secara konstan setiap minggu dan menjadi variabel utama pembengkakan biaya tagihan listrik operasional institusi. Melalui pemaparan kebutuhan tersebut, pihak divisi mekanik

memberikan rekomendasi kritis bahwa institusi sangat membutuhkan inovasi alat kendali nirkabel model tempel (add-on) eksternal sakelar yang efisien, murah, tidak merusak struktur dinding perkabelan lama, serta wajib mempertahankan fungsi sakelar manual asli sebagai jalur cadangan (fail-safe) jika jaringan nirkabel mengalami gangguan teknis. Berlandaskan pada rumusan masalah dan urgensi kebutuhan lapangan di atas, dilakukan penelitian ilmiah terapan yang berfokus pada perancangan dan implementasi sebuah purwarupa otomasi sakelar pintar (smart switch) berbasis mikrokontroler ESP32. Pengembangan teknologi embedded system ini mengusung pendekatan mekanis non-destructive, di mana unit alat dirancang untuk melekat secara eksternal di luar panel wajah sakelar konvensional bangunan tanpa memutus sambungan kabel listrik internal. Sistem ini memanfaatkan kekuatan torsi motor micro servo sebagai lengan mekanis penggerak tuas sakelar secara fisik. Seluruh aktivitas komunikasi data kontrol dijalankan secara mandiri melalui jaringan nirkabel lokal (localhost Access Point) yang dipancarkan langsung oleh chip ESP32, sehingga pengguna dapat mengakses aplikasi native web pengontrol dari perangkat gawai secara real-time tanpa membutuhkan koneksi internet publik ataupun arsitektur cloud server yang kompleks. Solusi ini diharapkan mampu menjawab tantangan efisiensi operasional tata kelola energi gedung secara aplikatif, ekonomis, andal, dan aman.

2. RUANG LINGKUP

Arah jalannya penelitian ilmiah terapan ini dibatasi secara ketat melalui parameter ruang lingkup dan batasan masalah sebagai berikut demi menjaga fokus kedalaman analisis eksperimen:

1. Ruang Lingkup Permasalahan: Penelitian difokuskan murni pada implementasi rekayasa perangkat keras dan perangkat lunak untuk melahirkan purwarupa (prototype) sistem otomasi smart switch non-destructive dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan tunggal dan server web lokal.
2. Batasan Spesifikasi Sakelar Fisik: Purwarupa alat add-on mekanis yang dibangun dalam penelitian ini dirancang, dikalibrasi, dan diuji secara eksklusif hanya untuk beroperasi pada tiga variasi model sakelar konvensional yang terpasang di area gedung, yaitu sakelar bermerek Viola tipe V-353, sakelar merek Architech seri Platinum B9-K01A, dan sakelar tipe Piano seri N551. Penyesuaian dimensi eksternal alat mengacu penuh pada spesifikasi ketiga komponen sakelar tersebut.
3. Lokasi dan Batasan Operasional: Aktivitas observasi jenis kelistrikan serta pengumpulan data teknis dilakukan di dalam lingkungan gedung bertingkat institusi STMIK Widya Cipta Dharma, sedangkan proses pengujian fungsional alat dijalankan secara spesifik di dalam area Ruang Mekanik STMIK Widya Cipta Dharma. Lingkup rekayasa dibatasi hanya pada fungsionalitas sistem kontrol kendali

sakelar pencahayaan dan beban AC melalui jaringan lokal nirkabel, tanpa melibatkan integrasi database eksternal cloud.

4. Target Hasil: Menghasilkan sebuah model kerja awal alat smart switch berbasis IoT yang mandiri, interaktif, memiliki responsivitas tinggi (real-time), serta memiliki tingkat keamanan kelistrikan optimal karena memisahkan jalur daya mikrokontroler dengan jalur listrik bertegangan tinggi.

3. BAHAN DAN METODE

3.1 Bahan dan Perangkat Penelitian

Eksperimen rancang bangun embedded system ini menggunakan kombinasi berbagai komponen perangkat keras dan perangkat lunak terdedikasi untuk merealisasikan performa alat otomatisasi yang optimal. Perangkat keras komparatif yang digunakan dijabarkan secara rinci sebagai berikut:

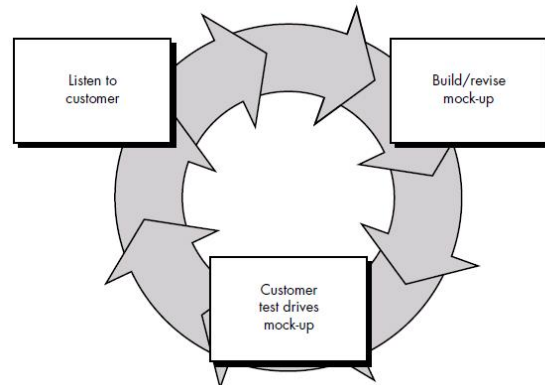
1. Laptop Acer Nitro AN515-58: Digunakan sebagai stasiun kerja utama peneliti untuk mengeksekusi penulisan baris kode program firmware, kompilasi file, dan perancangan tata letak antarmuka aplikasi.
2. Mikrokontroler ESP32 (DOIT 38-Pin Development Board): Bertindak sebagai otak pengendali utama sistem. Perangkat ini dipilih karena mengukung CPU Xtensa LX6 arsitektur 32-bit dual-core, dilengkapi SRAM internal sebesar 416KB, serta telah terintegrasi dengan transiver radio nirkabel Wi-Fi 2.4GHz yang memungkinkannya menjalankan web server mandiri secara localhost
3. Mikrokontroler Arduino Uno R3: Difungsikan secara khusus dan murni hanya sebagai unit catu daya tambahan (external power supply extension). Arduino Uno mendistribusikan tegangan konstan 5V melalui power rail menuju komponen motor servo dan layar LCD guna menanggulangi keterbatasan keluaran batas kuat arus listrik pada pin GPIO ESP32 saat motor servo mengeksekusi beban mekanis induktif.
4. Dua Unit Motor Micro Servo TowerPro MG90S: Berfungsi sebagai aktuator mekanis utama. Servo ini memiliki dimensi kompak namun dibekali dengan susunan gear metal dan bearing internal yang mampu menghasilkan kekuatan tarikan mekanis (stall torque) tinggi sebesar 1.8 kgF.cm hingga 2.2 kgF.cm pada tegangan operasi 5V, sehingga sangat andal untuk menekan tuas sakelar fisik yang keras
5. Satu Unit Motor Micro Servo TowerPro SG90: Digunakan sebagai aktuator pembantu beroda gigi plastik hemat energi untuk menggerakkan sakelar berbeban pegas ringan.
6. Modul Liquid Crystal Display (LCD) 16x2 dengan Modul I2C (Chip PCF8574): Digunakan sebagai media penampil visual status sistem dan alamat IP local server. Integrasi modul I2C mereduksi kebutuhan penggunaan pin data dari 16 jalur menjadi hanya 2 jalur kabel serial (SDA dan SCL).
7. Dua Unit Breadboard Solderless 400-Points dan Kabel Jumper (Male-to-Male, Male-to-Female): Digunakan sebagai papan proyek landasan perakitan skema sirkuit

kelistrikan sementara tanpa memerlukan proses penyolderan permanen.

3.2 Metodologi Pengembangan Prototyping

Penelitian ini mengimplementasikan kerangka kerja rekayasa perangkat lunak dan perangkat keras terstruktur melalui adopsi paradigma Prototyping iteratif. Metode ini dipilih karena menawarkan fleksibilitas tinggi dalam memfasilitasi komunikasi dua arah yang intensif antara peneliti dengan pihak pengelola gedung (mekanik) guna meminimalisir deviasi kebutuhan sistem. Alur tahapan prototyping dalam penelitian ini dirancang secara sistematis melalui tiga langkah utama:

1. *Listen to Customer*: Langkah awal yang melibatkan interaksi langsung secara tatap muka dengan Kasi Mekanik kampus melalui teknik wawancara terstruktur dan observasi fisik ruangan. Tahap ini menghasilkan parameter formal mengenai spesifikasi fungsional alat serta analisis non-fungsional perangkat keras.
2. *Build and Customize Mockup*: Tahap di mana peneliti mentranslasikan hasil penyerapan aspirasi ke dalam blueprint teknis. Langkah ini mengeksekusi pembuatan desain User Interface tombol aplikasi via figma, perancangan diagram alir logika program, pemetaan skema rangkaian pin kelistrikan, kompilasi baris kode pemrograman pada Arduino IDE, hingga proses perakitan fisik komponen di atas papan karton keras terisolasi.
3. *Customer Test Drive the Mockup*: Model kerja awal alat diuji cobakan secara langsung bersama pengguna guna mengidentifikasi celah kesalahan operasional, malfungsi gerak tuas, ataupun kekurangan estetika visual antarmuka aplikasi. Seluruh keluhan, masukan, dan catatan revisi dari pengguna pada fase ini dijadikan sebagai data primer bagi peneliti untuk memodifikasi, merombak, dan menyempurnakan program firmware menuju bentuk final alat yang andal.



Gambar 1. Metode Prototype

Sumber: Survey Paper: Perbandingan Metode Pengembangan Perangkat Lunak (Waterfall, Prototype, RAD)

3.3 Metode Pengujian Sistem

Guna menjamin tingkat kelayakan operasional, purwarupa alat Smart Switch dievaluasi menggunakan dua metode pengujian berlapis:

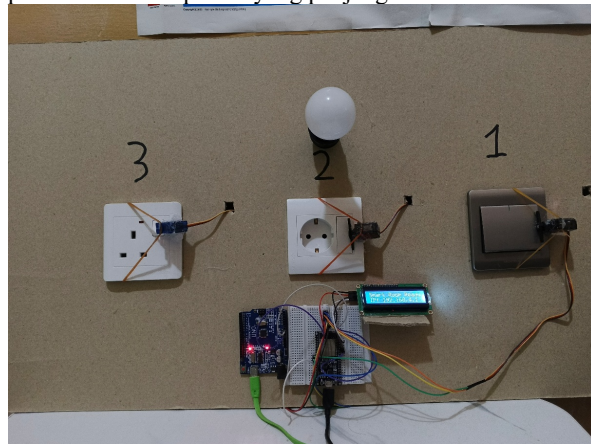
1. Pengujian *Black Box*: Fokus pada pengujian fungsional luar sistem berdasarkan spesifikasi kebutuhan masukan dan keluaran tanpa melihat struktur baris kode pemrograman. Kasus uji dirancang untuk memvalidasi ketepatan respons antarmuka halaman web, akurasi penerimaan parameter HTTP, kelancaran transmisi koneksi nirkabel lokal Wi-Fi ESP32, kestabilan penampilan teks karakter pada layar LCD, serta keberhasilan pergerakan mekanis motor servo dalam memutar derajat lengan penggerak sakelar.

2. Pengujian *White Box*: Fokus mengevaluasi struktur logika internal, kondisi percabangan, dan jalur eksekusi dari baris kode program firmware yang ditanamkan pada memori ESP32.

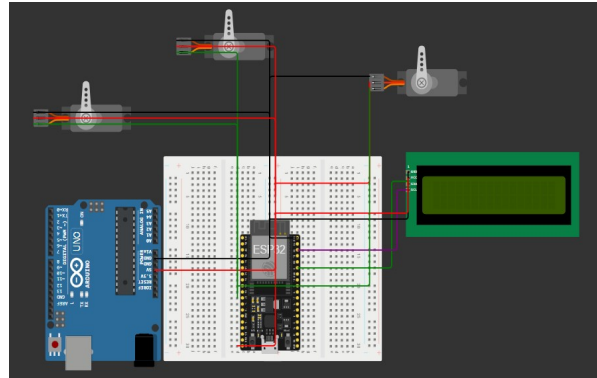
4. PEMBAHASAN

4.1 Analisis Jaringan dan Arsitektur Sistem

Prototipe alat Smart Switch ini dirancang mengusung arsitektur jaringan lokal mandiri (*standalone network environment*) tanpa melibatkan konektivitas internet luar, gerbang cloud, ataupun infrastruktur database eksternal. Chip ESP32 dikonfigurasi pada mode *Soft Access Point* (SoftAP) dengan parameter SSID nirkabel "Smart_Switch" dan kata sandi terenkripsi "HIDDEN12345". Saat sistem mendapatkan pasokan daya listrik, modul Wi-Fi internal ESP32 secara aktif memancarkan gelombang radio pada frekuensi 2.4GHz di area lokal Ruang Mekanik. Pengguna dapat menghubungkan gawai pintar mereka langsung ke SSID tersebut (disarankan mengaktifkan mode pesawat terlebih dahulu untuk memutuskan intervensi paket data seluler luar). Setelah jembatan komunikasi nirkabel lokal terhubung, mikrokontroler akan bertindak sebagai *Local Web Server* aktif yang berjalan pada port HTTP standar 80. Ketika browser pada gawai memanggil alamat IP statis 192.168.4.1, server ESP32 mentransmisikan seluruh baris kode aplikasi antarmuka kontrol yang disimpan di dalam memori flash menuju perangkat klien secara instan. Model komunikasi ini menghasilkan tingkat responsivitas kontrol yang sangat tinggi dengan latensi mendekati 0 milidetik (*real-time processing*), karena paket data perintah tidak perlu melewati jalur perutean internet publik yang panjang dan fluktuatif.



Gambar 2 Smart Switch



Gambar 3 Arsitektur Sistem

4.2 Logika Firmware Perangkat Lunak Antarmuka

Aplikasi web antarmuka kontrol dikodekan memanfaatkan kombinasi skrip HTML5, CSS3, dan JavaScript murni yang di-inject langsung ke dalam memori flash ESP32 menggunakan array string program konstan berbasis macro `PROGMEM`. Langkah ini memangkas konsumsi ruang penyimpanan memori internal. Pada struktur *main loop* kode firmware di Arduino IDE, diimplementasikan algoritma penanganan delay nirkabel yang bersifat *Non-Blocking Delay* dengan memanfaatkan fungsi pencatat waktu bawaan internal chip, yaitu fungsi `millis()`. Penggunaan variabel penanda `lcdTimer` dan konstanta batas jeda waktu `lcdDelay = 5000` (setara dengan durasi 5 detik) diaplikasikan untuk mengatur pergantian tampilan teks karakter pada layar LCD tanpa membekukan jalan operasional server klien. Ketika perintah tombol dieksekusi, penanda status `isShowingAction` disetel pada nilai logika `true` dan LCD mencetak status sakelar yang ditekan. Struktur kontrol `if (isShowingAction && (millis() - lcdTimer >= lcdDelay))` secara konstan mengevaluasi selisih waktu berjalan. Jika durasi 5 detik telah terlampaui, fungsi `showDefaultLCD()` dipanggil secara otomatis untuk membersihkan layar LCD dan mengembalikan visualisasi teks menuju informasi alamat IP asal tanpa menghentikan atau mengganggu fungsi penanganan lalu lintas request jaringan `server.handleClient()` yang berjalan di latar belakang.

4.3 Analisis Komprehensif Hasil Pengujian Blackbox

Pengujian fungsional luar (*Black Box Testing*) diaplikasikan secara intensif bersama pengguna akhir untuk memvalidasi responsivitas alat. Berdasarkan data hasil pengujian bertahap yang tertuang dalam Tabel 4.8, aspek penampilan antarmuka web, pemrosesan argumen input kontrol, serta penampilan karakter alamat IP pada layar LCD 1602 meraih persentase keberhasilan mutlak 100%. Namun, pada fase uji coba pergerakan mekanis awal, unit motor servo MG90S mencatatkan riwayat 2 kali kegagalan dari total 11 kali percobaan akibat ketidaktepatan penentuan sudut kalibrasi lengan penekan sakelar tunggal yang bermodel tebal. Sementara motor servo SG90 mencatatkan 2 kali kegagalan dari 8 kali percobaan akibat kerasnya pegas penahan tuas sakelar Viola V-353. Masalah operasional mekanis tersebut

berhasil ditanggulangi melalui evaluasi tiga tahapan evolusi purwarupa sebagai berikut:

1. Skenario Kalibrasi Servo (Fase Uji Pertama): Menemukan adanya anomali di mana posisi lengan motor servo bergerak liar dan bergetar (*floating status*) saat alat pertama kali dinyalakan karena tidak memiliki nilai inisialisasi awal pada baris pemrograman kode. Peneliti menyempurnakan program dengan menyuntikkan instruksi kalibrasi paksa (*initial position values*) ke sudut OFF (Servo 0 ke 115°, Servo 1 ke 55°, dan Servo 2 ke 95°) di dalam fungsi `setup()` firmware, serta menyetel derajat putaran spesifik per servo untuk menyesuaikan ketebalan panel wajah masing-masing sakelar target.

2. Penambahan Layar Monitor LCD (Fase Uji Kedua): Mengatasi kendala pengguna yang kesulitan menebak alamat IP jaringan lokal dari Access Point ESP32 saat ingin membuka browser. Peneliti menambahkan integrasi layar LCD 1602 berbasis bus I2C untuk menyajikan visualisasi teks string "Smart Room Ready" disandingkan dengan tampilan alamat IP nirkabel secara dinamis sebagai panduan navigasi pengguna.

3. Sinkronisasi Default Nilai Antarmuka Web (Fase Uji Ketiga): Memperbaiki ketidakselarasan status visual di mana rencana indikator tombol aplikasi web masih menampilkan status netral "SIAP" pasca-booting, padahal kondisi riil sakelar fisik di dinding sedang dalam kondisi tidak mengalirkan arus listrik. Peneliti memodifikasi skrip JavaScript klien dengan membangun fungsi sinkronisasi status otomatis (`syncState`) yang memanfaatkan metode *fetch request API* menuju endpoint internal server `/state` untuk menarik kondisi array memori variabel `switchState` pada mikrokontroler, sehingga status rencana di web secara otomatis langsung menyesuaikan ke nilai awal "OFF" dengan akurasi tinggi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian proses perencanaan, perakitan, penyusunan skrip kode pemrograman, hingga tahap pengujian terstruktur yang telah dilaksanakan secara menyeluruh, dapat ditarik empat poin kesimpulan ilmiah yang kuat sebagai berikut:

1. Penelitian ini telah berhasil merancang, memprogram, dan merealisasikan sebuah model purwarupa alat mekanis pintar (Smart Switch) fungsional yang dikendalikan oleh chip mikrokontroler tunggal ESP32 untuk mendukung otomatisasi ruangan pintar (*smart room ecosystem*).

2. Pengusulan konsep rekayasa mekatronika add-on eksternal dengan mengandalkan daya dorong motor micro servo (MG90S dan SG90) terbukti secara nyata mampu mengonversi fungsionalitas panel sakelar kelistrikan konvensional (Viola V-353, Architech Platinum, dan Piano N551) menjadi sakelar nirkabel digital tanpa memicu kerusakan struktur semen dinding ataupun merombak susunan jalur kabel utama bangunan.

3. Sistem interaksi pengguna berbasis halaman native web terbukti andal beroperasi secara mandiri dan

responsif melalui pemanfaatan port jaringan localhost. Aplikasi pengontrol mampu menyajikan visualisasi data perubahan status kelistrikan secara real-time dan bebas kendala latensi tanpa memerlukan dependensi paket kuota internet eksternal maupun sewa klaster server cloud pihak ketiga.

4. Implementasi pengujian terstruktur dengan teknik Basis Path White Box berkekuatan indeks Cyclomatic Complexity $V(G) = 12$ sukses menjalankan peran penjamin mutu perangkat lunak (*software quality assurance*), terbukti dengan keberhasilannya melacak keberadaan satu titik kelemahan logika parsing argumen (`cmd` argumen tidak valid) pada firmware sistem yang lolos dari pengujian fungsional Black Box biasa, sehingga proses remediasi baris program pengaman dapat diselesaikan demi menjaga stabilitas fungsionalitas purwarupa alat.

6. SARAN

Meskipun purwarupa alat Smart Switch telah beroperasi memenuhi ekspektasi dan target dari manfaat praktis institusi, peneliti merumuskan empat poin saran pengembangan teknis yang krusial untuk dijadikan panduan akademis bagi peneliti selanjutnya dalam menyempurnakan performa sistem ini di masa depan:

1. Rekayasa Desain Casing Dudukan (*Mounting Bracket Design*): Konstruksi penempelan motor servo luar panel pada penelitian saat ini masih mengandalkan media lem tembak konvensional yang diperkuat lilitan karet gelang elastis. Metode add-on ini rentan mengalami penurunan daya rekat dan bergeser posisi akibat paparan suhu panas motor servo serta getaran mekanis torsi lengan penggerak secara konstan. Peneliti selanjutnya disarankan untuk merancang struktur casing pelindung dan dudukan penyangga khusus (*bracket*) terdedikasi memanfaatkan pemodelan software CAD dan dicetak menggunakan teknologi *3D Printing*. Pemilihan material filamen plastik disarankan berkarakteristik *engineering-grade* seperti material ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) karena memiliki struktur kaku dan ketahanan termal tinggi hingga suhu 100°C sehingga terhindar dari deformasi bentuk. Sebagai opsi alternatif ideal, material filamen PETG (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) dapat diintegrasikan karena mengusung daya rekat antar-lapisan (*interlayer bonding*) yang kokoh serta memiliki tingkat fleksibilitas material yang berfungsi krusial untuk meredam hentakan tekanan torsi mekanis ketika lengan servo bergerak menekan tuas sakelar sakelar.

2. Ekspansi Lengan Mekanis Universal (*Universal Leverage Mechanisms*): Kalibrasi penentuan derajat putaran pulsa PWM motor servo pada penelitian ini masih terikat kaku pada spesifikasi dimensi luar tiga merek sakelar tertentu. Peneliti masa depan direkomendasikan untuk mengembangkan desain lengan mekanis sekunder atau tuas adaptif geser yang bersifat universal, sehingga alat smart switch ini dapat langsung dipasang secara fleksibel (*plug-and-play approach*) pada

berbagai variasi ketebalan, merek, dan bentuk sakelar pegas konvensional yang beredar luas di pasaran global.

3. Optimasi Arsitektur Satu Daya Tunggal (*Dedicated Power Circuit Integration*): Skema kelistrikan purwarupa saat ini yang masih mendayagunakan satu unit mikrokontroler Arduino Uno tambahan murni hanya sebagai perantara pembagi arus beban LCD dan motor servo dinilai kurang efisien dan menambah dimensi fisik alat. Untuk riset lanjutan, disarankan untuk mengeliminasi penggunaan mikrokontroler sekunder tersebut. Peneliti dapat menggantinya dengan mengintegrasikan sirkuit regulator penurun tegangan terdedikasi, semisal modul *Step-Down Buck Converter* tipe LM2596 atau rangkaian adaptor DC 5V eksternal terpisah. Pemisahan jalur distribusi daya antara sirkuit digital mikrokontroler (ESP32) dengan sirkuit daya motor servo ini akan memangkas dimensi fisik kompartemen alat menjadi jauh lebih ringkas, meminimalkan pembiayaan produksi, serta menjamin stabilitas kuat arus listrik saat motor servo mengeksekusi perintah secara berulang.

4. Penyesuaian Torsi Aktuator pada Sakelar Industri (*Industrial Torque Configuration*): Jika sistem otomasi non-destructive ini hendak diimplementasikan pada jenis sakelar panel daya besar di gedung pusat gardu, peneliti selanjutnya wajib melakukan kalkulasi ulang terhadap besaran konstanta gaya tekan (tingkat kekerasan pegas mekanis) sakelar target. Apabila tuas sakelar gedung terasa sangat berat saat ditekan manual, maka spesifikasi motor penggerak wajib ditingkatkan menggunakan jenis servo ber-torsi tinggi (*high-torque servo motor status*) yang kapasitasnya berada di atas kemampuan torsi seri standar MG90S/SG90 guna menjamin kelancaran penekanan sakelar tanpa memicu slip gigi motor.

7. REFERENSI

- A. Admane, P. H. Sanap, S. S. Tambekar, N. P. Kinkar, A. S. Raut, & P. K. Yengandalwar. (2025). Review Paper: Smart Home Automation Using Cloud Computing and ESP32. *Journal of Engineering Sciences*, 16(03), 404–411. <https://www.jespublication.com>
- Abougamea, A. K. E., & Lim, S. C. (2023). Smart power switch using internet of things. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 29(3), 1809–1816. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v29.i3.pp1809-1816>
- Aditama, J., & Sarwo. (2024). Implementasi Dan Perancangan Sistem Kontrol Akses Terminal Access Controller Pada Perangkat Jaringan Switch. *Jurnal Komunikasi, Sains Dan Teknologi*, 3(2), 319–327. <https://doi.org/10.61098/jkst.v3i2.193>
- Agustin, W., Rio, U., Muzawi, R., Nasution, T., & Haryono, D. (2021). Penguatan Pengelolaan Website Desa Untuk Meningkatkan Layanan Administrasi Kependudukan di Desa Pasir Baru Rokan Hulu. *Abdiformatika: Jurnal Pengabdian Masyarakat Informatika*, 1(1), 8–17.

- <https://doi.org/10.25008/abdiformatika.v1i1.132>
- Akbar, A., Mutaqin, Z., & Samsumar, L. D. (2022). IoT-Based Smart Room Using Web Server-Based Esp32 Microcontroller Smart Room Berbasis IoT Menggunakan Microcontroller Esp32 Berbasis Web Server. *Formosa Journal of Computer and Information Science (FJCIS)*, 1(2), 91–98.
- Al-Faruq, M. N. M., Nur'aini, S., & Aufan, M. H. (2022). Perancangan Ui / Ux Semarang Virtual Tourism. *Walisono Journal of Information Technology*, 4(1), 43–52.
- Alvino Octaviano. (2023). Penerapan IoT untuk Atap Warung Kopi Melalui Telegram. *Scientia Sacra: Jurnal Sains, Teknologi Dan Masyarakat*, 3(4), 56–62. <http://pijarpemikiran.com/index.php/Scientia>
- Alwahid, M. (2024). *Pengembangan sistem klasifikasi jenis sampah otomatis dengan menggunakan esp32 berbasis internet of things (iot) tugas akhir*.
- Azizah, N., & Nurcahyo, G. W. (2021). Identifikasi dalam Penetapan Staf Dosen dan Karyawan Berprestasi dengan Menggunakan Metode SMART. *Jurnal Sistim Informasi Dan Teknologi*, 3, 114–119. <https://doi.org/10.37034/jsisfotek.v3i3.53>
- Azkiya, C. S. (2024). *COMERS (Community Service Articles) e-ISSN: XXXX-XXXX*. 25–31. <https://ejournal.univbhaktiasih.ac.id/index.php/comers>
- Bintang Samudra A . G, & Rizky Nur Hidayat. (n.d.). *laporan MENYALAKAN LAMPU LED DENGAN HANDPHONE-dikonversi-2021-07-14T02_05_59.013Z*.
- Budi, I. S. (2023). Penggunaan Hardware Dan Software Dalam Pembuatan Media Pembelajaran Berbasis Ict Bagi Sekolah Sd/Mi. *Cognitive: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*, 1(1), 63–75. <https://doi.org/10.61743/cg.v1i1.22>
- Chandra, D., & Hermansyah. (2024). *Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi Transformasi Digital Kedai Kopi Sudut Kota Berbasis Website Dengan Javascript*. 2(2), 729–743.
- Darnita, Y., Discrise, A., & Toyib, R. (2021). 7094-25296-1-PB(arduino). *Informatika Upgris*, 7(1), 3–7.
- Deli Nirmala, & Eko Punto Hendro. (2021). Batasan Masalah. *Departemen Linguistik FIB UNDIP*, 5, 6.
- Hafan, M. R., Majid, N. A., Arwiana, S. D., & Erina, T. N. (2024). *4598-Article Text-9278-1-10-20250112*. 300–309.
- Hafidz Atsal Nurohman, & Pramono. (2025). Pengembangan Sistem Kontrol Akses Pintu Otomatis Menggunakan RFID, Keypad, Servo SG90, dan ESP32 untuk Keamanan Berbasis IoT. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Bisnis (SENATIB)*, 779–787.