

Pembuatan Media Pembelajaran *Smart Building Control* Berbasis IoT dengan KKA Menggunakan ESP32

Haris Ilman Fiqih^{1,*}, Demas Yangindrajat²

^{1,2} Balai Besar Pengembangan Penjaminan Mutu Pendidikan Vokasi Bidang otomotif dan Elektronika,
Jl. Teluk Mandar, Arjosari, Kota Malang

* corresponding author: harisilmanfiqih0794@gmail.com

Abstrak/Abstract

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan objek fisik dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lain melalui coding dan kecerdasan artifisial (KKA). Pemanfaatan KKA dalam hal ini tidak hanya terbatas pada otomatisasi, tetapi juga mencakup kemampuan membuat program melalui prompt pada fitur AI, sehingga mendukung pengembangan sistem yang lebih cepat dan adaptif. Konsep ini memiliki peluang besar dalam bidang pendidikan, khususnya pada pembelajaran teknik bangunan, karena membantu peserta didik memahami sistem penerangan dengan kontrol otomatis secara interaktif dan aplikatif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan media pembelajaran *Smart Building Control* berbasis IoT yang terintegrasi dengan KKA, serta merancang model lanjutan menggunakan Trackbar untuk mengontrol tingkat kecerahan lampu secara fleksibel. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan tahapan yang disesuaikan untuk menghasilkan produk pembelajaran yang aplikatif, inovatif, dan mudah diterapkan di sekolah kejuruan. Perangkat keras yang digunakan meliputi ESP32 Dev Kit sebagai mikrokontroler, layar OLED 1,3 inci sebagai penampil status, tiga LED sebagai objek kontrol, kabel jumper, dan kabel USB. Pemrograman dilakukan menggunakan Arduino IDE dengan dukungan library yang tersedia luas. Tahapan implementasi terdiri dari dua bagian, yaitu: (1) praktikum pembuatan media pembelajaran IoT berbasis kontrol lampu, dan (2) praktikum model lanjutan dengan integrasi Trackbar untuk pengaturan kecerahan lampu. Hasil penelitian diharapkan dapat mendorong inovasi pembelajaran berbasis teknologi, meningkatkan kualitas pengajaran, mengembangkan kompetensi pendidik, serta memperkuat hubungan antara dunia pendidikan, dunia kerja, dan dunia industri.

The Internet of Things (IoT) is a concept that connects physical objects with sensors, software, and other technologies through coding and artificial intelligence (AI). The use of AI in this context is not only limited to automation but also includes the ability to create programs through prompts in AI features, thus supporting faster and more adaptive system development. This concept offers great opportunities in education, particularly in construction engineering learning, as it helps students understand lighting systems with automatic control in a more interactive and applicative way. This research aims to develop an IoT-based Smart Building Control learning media integrated with AI, as well as to design an advanced model using a trackbar to control lamp brightness more flexibly. The method employed is Research and Development (R&D), with stages adapted to produce practical, innovative, and easy-to-implement learning products for vocational schools. The hardware used includes an ESP32 Dev Kit as a microcontroller, a 1.3-inch OLED display as a status viewer, three LEDs as control objects, jumper wires, and a USB cable. Programming is carried out using Arduino IDE with the support of widely available libraries. The implementation stage consists of two parts: (1) practical work on developing IoT-based lamp control learning media, and (2) advanced practice integrating a trackbar for lamp brightness adjustment. The results of this research are expected to encourage innovation in technology-based learning, improve teaching quality, enhance educator competence, and strengthen the linkage between education, the workplace, and industry.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

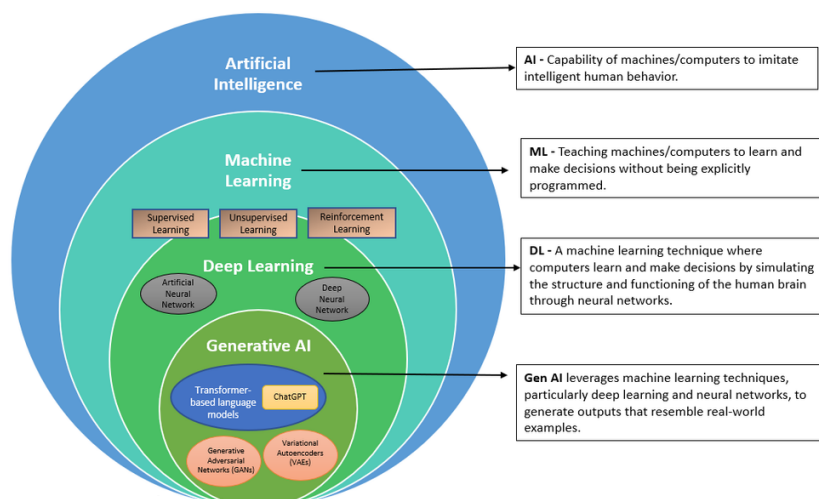


Kata Kunci: Media Pembelajaran, *Smart Building Control*, IoT, KKA, ESP32

Keywords: Learning Media, *Smart Building Control*, IoT, coding and artificial intelligence, ESP32

1. Pendahuluan

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan objek fisik sehari-hari dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, serta teknologi lain sehingga dapat saling terhubung dan bertukar data melalui internet (Geraldine et al., 2024). Pemanfaatan IoT, kecerdasan artifisial (KA), dan mahadata kini semakin mendominasi berbagai bidang kehidupan. Proses digitalisasi pun telah mengubah cara manusia bekerja, berkomunikasi, dan menyelesaikan masalah (Lopes et al., 2025). Dalam dunia pendidikan modern, pembelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial (KKA) menjadi kebutuhan yang esensial. KA menghadirkan sistem atau teknologi yang dirancang untuk meningkatkan mutu proses pembelajaran. Melalui penerapannya, proses belajar dapat dipersonalisasi sesuai kebutuhan masing-masing peserta didik. Selain berfungsi sebagai teknologi pendukung, pemahaman, pemanfaatan, hingga pengembangan KA juga dapat dijadikan sebagai materi pembelajaran di berbagai jenjang pendidikan. Dasar pemikiran mengenai Pembelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial ini mengacu pada Naskah Akademik Pembelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial pada Pendidikan Dasar dan Menengah, yang akan diuraikan lebih lanjut pada bagian berikut.



Gambar 1. Cakupan Kecerdasan Artifisial(Pemerintah Indonesia, 2025)

Integrasi KKA dalam dunia pendidikan tidak hanya berfungsi untuk meningkatkan literasi digital serta kemampuan memecahkan masalah, tetapi juga membekali peserta didik dengan keterampilan penting seperti berpikir komputasional, analisis data, algoritma pemrograman, etika kecerdasan artifisial, pola pikir berpusat pada manusia (*human-centered mindset*), perancangan sistem KA, hingga teknik-teknik KA. Perkembangan teknologi di era digital telah melahirkan beragam inovasi yang ditujukan untuk meningkatkan efisiensi dan kenyamanan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu inovasi yang berkembang pesat adalah sistem otomasi rumah atau *Smart Building*, yang memungkinkan pengguna mengontrol perangkat elektronik secara otomatis maupun dari jarak jauh (Ho et al., 2025).

Salah satu permasalahan yang sering muncul dalam rumah tangga adalah pengelolaan lampu secara manual yang cenderung tidak efisien, berpotensi menyebabkan pemborosan energi, dan kurang praktis. Dengan adanya pengendalian lampu berbasis IoT, teknologi sensor, konektivitas internet, serta sistem otomasi dapat dimanfaatkan untuk mengatur sekaligus

mengoptimalkan penggunaan listrik (Frontera-Bergas et al., 2025). Tujuan utama penerapan IoT dalam pengendalian lampu adalah memberikan kemudahan sekaligus efisiensi sesuai kebutuhan, serta memungkinkan pemantauan dan pengaturan listrik dari jarak jauh menggunakan ponsel pintar maupun komputer. Melalui teknologi *Smart Building*, seluruh perangkat rumah tangga dapat dikendalikan hanya dengan satu smartphone berbasis Android (Shaharuddin et al., 2023). Beberapa penelitian terkait dengan pemanfaatan Modul ESP32 dan *Internet of Things* yang diterapkan pada bangunan di Indonesia.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

Peneliti dan Tahun	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Muhammad Agung Raharjo, Fatmawati Sabur (2020)	Perancangan System Smart Office Berbasis <i>Internet of Things</i> Politeknik Penerbangan Makassar. (Agung Raharjo & Sabur, 2020)	Penelitian Eksperimen	Pengujian yang dilakukan terhadap pengontrolan lampu, AC, Komputer dan Printer yang terhubung dalam sistem smart office dapat berfungsi dengan baik.
Rizky Putri Intan Hafsari, Yohanes Sunardy Pai, Rahman Arifuddin (2025)	Implementasi Kendali Lampu Otomatis Rumah Berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) dengan Esp32 Dan Blynk Melalui Smartphone. (Putri et al., 2025)	<i>Research and Development</i>	Alat kontrol lampu berbasis ESP32 yang dapat menyalakan dan mematikan lampu secara online melalui smartphone menggunakan WiFi. Sistem ini berfungsi menggantikan saklar manual, diprogram dengan Arduino IDE, dan dapat dioptimalkan untuk kontrol nirkabel baik melalui WiFi maupun internet.
Joni Apriyanto, dkk (2024)	Rancangan <i>Smart Lighting</i> Dengan Sensor Cahaya dan Gerak: Pengujian Desain Di Rumah Tinggal. (Apriyanto et al., 2024)	<i>Research and Development</i>	Sistem mampu mengontrol lampu secara otomatis sesuai kondisi ruangan, sehingga meningkatkan efisiensi energi. Dalam penerapan dunia nyata, perlu diperhatikan aspek teknis seperti lokasi sensor, koneksi relai ke saklar manual, perkabelan, catu daya, dan penempatan alat smart lighting untuk memastikan sistem bekerja optimal sesuai kebutuhan pengguna.
Juan Renhard Okman Tampubolon, dkk (2025)	Rancang Bangun IoT Otomatis Berbasis Sensor PIR untuk Menghemat Energi Listrik pada saat Ruang Kosong. (Okman Tampubolon et al., 2025)	Penelitian Eksperimen	Sistem mampu merespons gerakan dalam ± 2 detik, mengurangi konsumsi energi hingga 30–50% tergantung kondisi ruangan. Penelitian ini juga mengisi celah dari studi sebelumnya yang belum mengintegrasikan pemantauan real-time dan fitur <i>override manual</i> .
Muhammad Raihan Parama Latief, Hariz Farsi, Zainul Abidin (2025)	Efisiensi Konsumsi Energi Listrik Pada Sistem Pencahayaan Ruang Kelas Melalui Pengembangan Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas Berbasis <i>Internet of Things</i> dan Aplikasi Web. (Latief et al., 2025)	<i>Research and Development</i>	sistem berhasil mengurangi konsumsi energi listrik secara signifikan melalui pengelolaan pencahayaan yang lebih efisien. Selain itu, aplikasi web memberikan fleksibilitas dan kemudahan bagi pengguna untuk memantau serta mengendalikan pencahayaan ruang kelas secara jarak jauh.
Anggra Dinanda Ariyadi, Hani Zulfia Zahro, Joseph Dedy Irawan (2023)	Prototype Penerapan <i>Smart Building</i> Berbasis Internet Of Thing (Dinanda Ariyadi et al., 2023)	<i>Research and Development</i>	Prototype dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Sensor DHT11, LDR, dapat mendeteksi suhu dan kelembapan sesuai dengan yang diharapkan dengan hasil rata-rata error suhu 8%, kelembapan 0%, intensitas cahaya 63% dan diperoleh pengujian user berjalan sesuai dengan yang diharapkan dengan persentase 84% memilih setuju, 16% memilih netral, 0% memilih tidak setuju.

Peneliti dan Tahun	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
Muhammad Diky Darmawan, Rini Puji Astutik, Hendra Ariwianto (2023)	Rancang Bangun Prototipe Sistem Otomatis Bangunan Pintar Pada Rumah Kos Bertingkat. (Darmawan et al., 2023)	<i>Research and Development</i>	Rancang bangun ini menghasilkan inovasi yang memberikan kenyamanan, efisiensi listrik, dan meminimalisir human error. Hasil uji coba menunjukkan sistem bekerja baik dengan tingkat error kecil (suhu 0,3% dan kelembaban 0,2%).
Afunia Bundha Lasera, Ibnu Hary Wahyudi (2020)	Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik berbasis IoT ESP32 pada <i>Smart Home System</i> . (Lasera & Wahyudi, 2020)	<i>Research and Development</i>	prototipe ini mampu bekerja sesuai dengan perancangan dan memiliki fungsi yang dirancang pada tahapan identifikasi, yaitu: pengendalian perangkat elektronika yang memberikan info mati atau hidupnya perangkat (ON/OFF); informasi arus dan daya; informasi suhu lingkungan; dan informasi perkiraan biaya bulanan rekening listrik terkini.
Muhammad Tegar Tirta Laksana, Auliya Rahman Isnain, Heni Sulistiani (2025)	Penerapan Teknologi Aplikasi Rumah Pintar Berbasis Web Menggunakan Microcontroller ESP32. (Laksana et al., 2024)	<i>Research and Development</i>	Penelitian ini berhasil dikembangkan dan menunjukkan hasil yang positif. Aplikasi ini mempermudah pengguna dalam memantau dan mengontrol peralatan rumah tangga melalui antarmuka web yang responsif dan mudah diakses.

Berdasarkan tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa penelitian-penelitian tersebut menunjukkan fokus yang kuat pada pengembangan dan implementasi solusi praktis untuk sistem otomasi bangunan pintar (*Smart Building*), seperti kontrol pencahayaan, keamanan, dan efisiensi energi. Meskipun penelitian-penelitian tersebut berhasil menciptakan prototipe fungsional untuk menghemat energi atau memberikan kenyamanan, namun memiliki kesenjangan utama (*gap*) dalam hal aplikasi pedagogis atau pendidikan. Dengan membuat sistem pintar untuk penggunaan langsung, penelitian dengan judul "Pembuatan Media Pembelajaran *Smart Building Control* Berbasis IoT dengan KKA Menggunakan ESP32" secara unik melengkapi *gap* yang ada dengan menggeser fokus dari produk komersial menjadi media pembelajaran. Penulis tidak hanya merancang dan membangun sistem *Smart Building*, tetapi juga mengubahnya menjadi alat bantu ajar yang membuat peserta didik memahami prinsip-prinsip di balik teknologi IoT dan AI. Selain itu, penelitian ini menjadi sebuah kontribusi orisinal (state of the art) di bidang pendidikan kejuruan dan pengembangan kurikulum berbasis teknologi.

Pada umumnya, penerapan teknologi rumah pintar masih belum banyak dikenal ataupun digunakan secara luas dalam kehidupan sehari-hari. Inilah yang menjadi dasar penelitian untuk merancang sistem *Smart Building* dengan memanfaatkan konsep IoT (Urianto & Faridha, 2022). Hal tersebut menjadi gagasan bahwa berbagai benda di dunia nyata dapat saling terhubung dan berkomunikasi sebagai bagian dari satu sistem terpadu dengan memanfaatkan jaringan internet. Pada desain penelitian ini digunakan beberapa modul relay dan koneksi WiFi untuk menghubungkan perangkat ke internet serta menyediakan konsol aplikasi sebagai pengendali. Implementasi sistem dilakukan melalui miniatur rumah (maket) yang dapat dikontrol menggunakan smartphone Android.

Penelitian ini berfokus pada pembuatan media pembelajaran dengan sistem pengendalian penerangan dengan mengatur tingkat kecerahan lampu di miniatur rumah menggunakan ESP32 dengan *WiFi Direct* sehingga dapat menghemat energi (Lee et al., 2023). Sistem dirancang untuk menggantikan fungsi saklar dengan sistem nirkabel yang dapat diakses melalui smartphone.

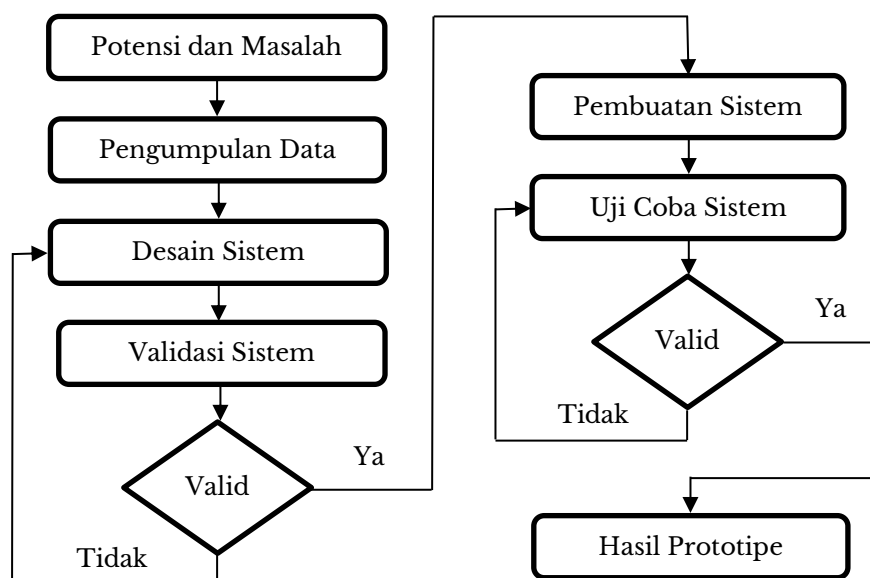
Tahapan yang dilakukan media pembelajaran ini adalah melakukan kontrol *switch* dan kontrol tingkat kecerahan lampu via web (*Local Wi-Fi*); dan dengan Tampilan OLED (*Status IP Real-time*). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi IoT di bidang bangunan (Kocak & Bunyatova, 2025), khususnya dalam meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan konservasi energi. Ke depan, sistem ini dapat dijadikan dasar pengembangan lebih lanjut, misalnya dengan menambahkan integrasi ke sistem keamanan tambahan atau memperluas fungsi pengendalian jarak jauh melalui internet (Andreas et al., 2019).

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengembangkan media pembelajaran *Smart Building Control* berbasis IoT dengan integrasi Kecerdasan Artifisial (KKA) menggunakan ESP32 yang tidak hanya berfungsi sebagai sistem otomasi penerangan, tetapi juga dapat digunakan sebagai alat bantu ajar di pendidikan kejuruan. Pertanyaan penelitian yang diajukan yaitu: (1) bagaimana sistem IoT dengan ESP32 dapat diimplementasikan untuk mengontrol tingkat kecerahan lampu pada miniatur rumah melalui *WiFi Direct* dan *web server*, serta (2) sejauh mana media pembelajaran ini mampu meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap prinsip kerja teknologi IoT dan AI dalam konteks bangunan pintar.

2. Metodologi

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini mengadopsi metode *Research and Development (R&D)* untuk mengembangkan sebuah media pembelajaran, yaitu *Smart Building Control* yang terintegrasi dengan teknologi IoT dan dikendalikan menggunakan ESP32. Tahapan R&D dalam penelitian ini meliputi studi pendahuluan untuk menganalisis kebutuhan dan potensi produk, perancangan produk berupa *Smart Building Control*, pengembangan sistem IoT dan program mikrokontroler ESP32, serta validasi ahli dan uji coba produk untuk memastikan kelayakan dan efektivitasnya sebagai media pembelajaran.




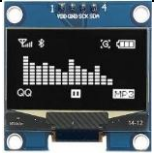




Gambar 2. Langkah-Langkah Penelitian

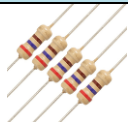

Pada tahap awal, peneliti melakukan identifikasi masalah dan meninjau berbagai referensi dari penelitian sebelumnya. Kemudian, pada tahap kedua, peneliti mengumpulkan data yang relevan dari hasil identifikasi tersebut, lalu menganalisisnya untuk menentukan kebutuhan penelitian. Selanjutnya, pada tahap ketiga, peneliti mulai merancang prototipe produk berdasarkan analisis yang telah dilakukan. Tahap keempat adalah validasi desain, di mana rancangan produk dinilai kelayakannya. Apabila terdapat masukan atau saran perbaikan, maka pada tahap kelima akan dilakukan revisi untuk menghasilkan produk yang lebih berkualitas dan berfungsi secara optimal. Dan terakhir, tahap keenam adalah uji coba produk untuk memastikan hasil rancangan dapat berfungsi dengan baik dan sesuai harapan.

2.2. Perangkat Keras dan Lunak

Pembuatan media pembelajaran *Smart Building Control* Berbasis IoT dengan KKA Menggunakan ESP32 ini memerlukan dukungan perangkat keras dan perangkat lunak, diantaranya sebagai berikut:

Tabel 2. Perangkat Keras

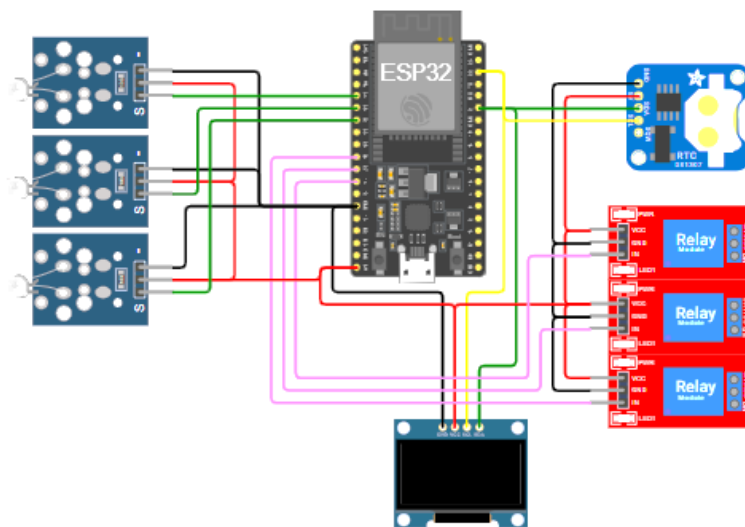
Gambar	Nama	Deskripsi
	ESP-WROOM32 ESP32 ESP 32S	Modul resmi dari Espressif yang berisi chip ESP32, memori, dan antena terintegrasi, siap pakai. (Lim et al., 2024)
	Modul display OLED 1.3 inci I2C	modul display OLED 1.3 inci dengan koneksi I2C. OLED lebih unggul dari LCD karena setiap pikselnya memancarkan cahaya sendiri, menghasilkan kontras tajam dan hitam pekat. Dengan resolusi umumnya 128x64 piksel dan hanya butuh dua kabel data (SDA & SCL)
	ESP32 Board Expansion	Papan sirkuit cetak (PCB) yang dirancang untuk mempermudah penggunaan modul ESP32 (seperti ESP-WROOM-32) dengan menyediakan akses yang lebih mudah ke pin-pinnya dan menambah fungsionalitas lain.
	Miniatur (maket) Rumah	Miniatur rumah (maket) sebagai representasi rumah yang akan dijadikan media pembelajaran untuk dikontrol secara IoT.
	Kabel Data USB A ke Micro-B	Untuk menghubungkan ESP32 ke komputer dan mengunggah program.
	Kabel Jumper	Untuk menghubungkan ESP32 ke modul relay dan komponen lainnya.

Gambar	Nama	Deskripsi
	Resistor 220 Ohm	Resistor 220 Ohm adalah komponen pasif elektronik yang berfungsi untuk menghambat atau membatasi arus listrik dalam sebuah rangkaian. Nilai hambatannya sebesar 220 Ohm (Ω).
	Lampu LED	Lampu LED (<i>Light Emitting Diode</i>) adalah komponen elektronik yang menghasilkan cahaya ketika arus listrik melewatinya. Dibandingkan dengan lampu pijar konvensional, LED jauh lebih efisien dalam hal konsumsi energi.

Penulis menggunakan Arduino IDE sebagai perangkat lunak utama untuk pemrograman, karena kemudahannya dalam penulisan, kompilasi, dan pengunggahan kode ke mikrokontroler ESP32. Pilihan ini didasari oleh antarmuka yang sederhana dan komunitas yang besar, yang sangat membantu dalam proses pengembangan (Nizam et al., 2022). Melalui Arduino IDE, semua perintah dan logika kendali untuk sistem IoT, termasuk komunikasi data dan aktivasi komponen, dapat diatur secara efisien.

2.3. Rangkaian Sistem dan *Flowchart*

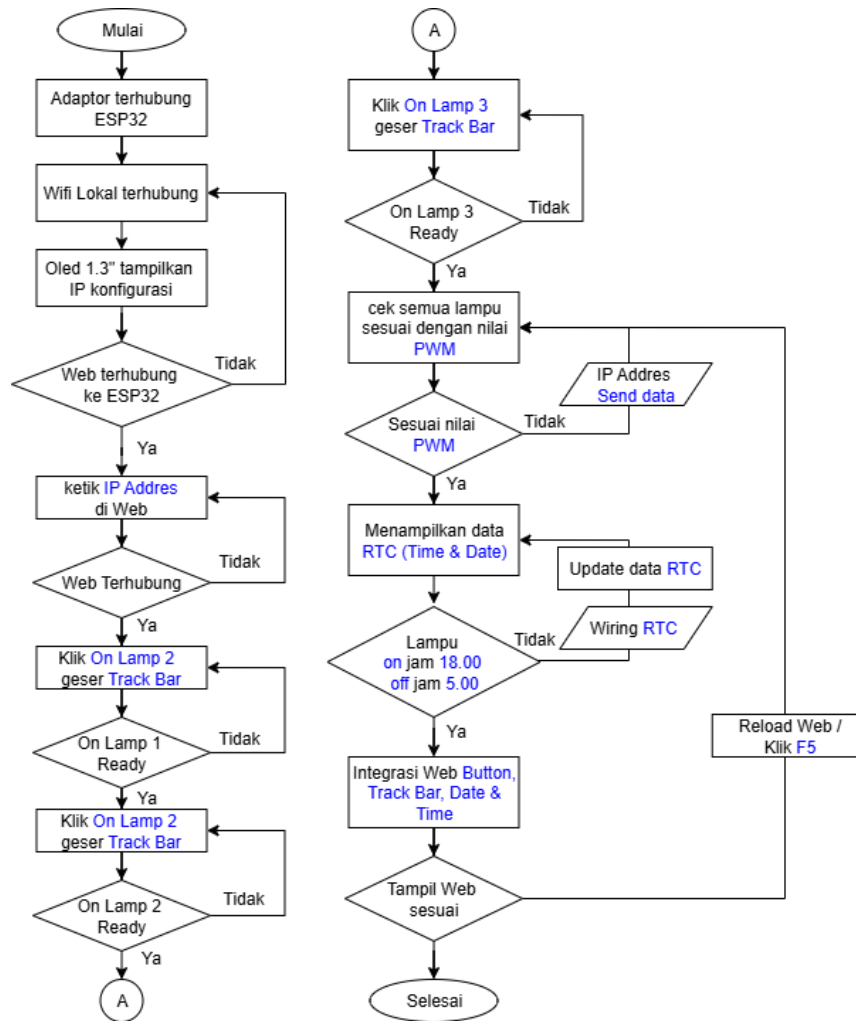
Dalam pengembangan suatu sistem, perencanaan menjadi langkah krusial untuk menyederhanakan dan mengarahkan proses perancangan alat. Agar alur kerja dari sistem yang akan dibuat dapat dipahami dengan mudah, perlu dibuat sebuah konsep rangkaian sistem yang divisualisasikan melalui simulasi.



Gambar 4. Rangkaian Sistem Media Pembelajaran

Gambar di atas merupakan diagram wiring sistem kendali lampu berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan beberapa modul eksternal, yaitu tiga sensor cahaya (representasi *Trackbar*) sebagai input kondisi lingkungan, modul RTC DS3231 sebagai pencatat waktu nyata, modul relay 4 channel sebagai aktuator untuk menyalakan atau mematikan lampu, serta OLED 1.3" sebagai media tampilan informasi. Sensor cahaya dihubungkan ke pin analog ESP32 untuk membaca intensitas cahaya, sedangkan RTC dan OLED menggunakan

komunikasi I2C melalui jalur SDA dan SCL yang sama dengan suplai VCC dan GND. Modul relay mendapat sinyal kendali dari pin digital ESP32 dan berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengatur nyala lampu berdasarkan perintah yang diproses oleh ESP32 (Romadlon Ardliyansyah & Bachri, 2022). Secara keseluruhan, rangkaian ini memungkinkan ESP32 untuk membaca kondisi cahaya dan waktu, kemudian mengendalikan lampu secara otomatis atau manual, sekaligus menampilkan status sistem melalui layar OLED (Gunawan et al., 2025).



Gambar 5. Flowchart Sistem

Diagram alir di atas menggambarkan proses kerja sistem *Smart Building Control* berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan OLED 1.3", web server, PWM, dan RTC (*Real Time Clock*). Alur dimulai dari inialisasi ESP32 yang terhubung ke adaptor dan WiFi lokal, kemudian OLED menampilkan IP konfigurasi untuk diakses melalui browser (Easterline et al., 2024). Setelah web terhubung, pengguna dapat menyalakan dan mengatur intensitas lampu menggunakan tombol dan *Trackbar*, dimulai dari Lampu 1, Lampu 2, hingga Lampu 3. Sistem kemudian memverifikasi kesesuaian nilai PWM dari semua lampu dan menampilkan data RTC berupa waktu dan tanggal. RTC juga berfungsi sebagai pengatur otomatis lampu dengan jadwal hidup pukul 18.00 dan mati pukul 05.00. Jika seluruh integrasi web button, *Trackbar*, date, dan time berjalan

sesuai, maka webserver akan menampilkan kondisi yang diinginkan, sedangkan jika terjadi ketidaksesuaian data atau error, sistem meminta reload halaman web untuk sinkronisasi ulang (Zakaria et al., 2023). Dengan demikian, sistem ini menggabungkan kontrol manual melalui web dengan kontrol otomatis berbasis waktu untuk meningkatkan efisiensi dan kepraktisan pengendalian lampu (El-Khozondar et al., 2024).

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melalui tahapan perancangan rangkaian sistem dan penyusunan *flowchart* untuk media pembelajaran *Smart Building control* menggunakan WiFi dengan ESP32, maka langkah selanjutnya adalah menjelaskan hasil penggunaan media pembelajaran tersebut dengan tahapan yaitu: melakukan kontrol lampu via web (Local WiFi); dan melakukan kontrol melalui *Trackbar* untuk mengatur kecerahan lampu via web. Berikut adalah hasil dan pembahasan dari setiap aspek pengujian yang dilakukan.

3.1. Kontrol Relay Via Web (*Local Wi-Fi*)

Pada tahap ini, peserta pelatihan melakukan Instalasi Arduino IDE dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Download Arduino IDE
 - 1) Membuka <https://www.arduino.cc/en/software>
 - 2) Memilih sesuai sistem operasi (Windows, macOS, Linux)
 - 3) Meng-Install dengan mengikuti *wizard* yang tersedia.
- b. Menambahkan Board ESP32 ke Arduino IDE
 - 1) Membuka Arduino IDE → *File* → *Preferences*
 - 2) Pada kolom *Additional Boards Manager URLs*, masukkan: https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json
 - 3) Klik OK.
 - 4) Membuka *Tools* → *Board* → *Board Manager*
 - 5) Mencari esp32 by *Espressif Systems*, lalu klik *Install*.
- c. Memilih Board ESP32
 - 1) Membuka *Tools* → *Board* → ESP32 Arduino → ESP32 Dev Module.
 - 2) Pada *Tools* → *Port*, pilih *port* COM sesuai dengan ESP32 yang terhubung.

Langkah selanjutnya adalah menginstalasi Library yang dibutuhkan untuk dapat membuat program dengan tahapan dibawah ini:

- a. Memasukkan *Library Adafruit GFX* dan *SH110X* (OLED)
 - 1) Membuka *Tools* → *Manage Libraries*.
 - 2) Mencari *Adafruit GFX Library*, lalu klik *Install*.
 - 3) Mencari *Adafruit SH110X* dan *SSD1306*, lalu klik *Install*.
- b. *Library WiFi* dan *WebServer*. Sudah tersedia secara default setelah menginstall board ESP32.

Berikutnya adalah membuat rangkaian *wiring system* dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. *Wiring* OLED ke ESP32 (I2C)
 - 1) VCC → 3.3V
 - 2) GND → GND
 - 3) SDA → GPIO21
 - 4) SCL → GPIO22
- b. *Wiring* Lampu/LED ke ESP32
 - 1) Lampu 1 → GPIO32
 - 2) Lampu 2 → GPIO26
 - 3) Lampu 3 → GPIO25
 - 4) Relay 1 → GPIO34
 - 5) Relay 2 → GPIO24
 - 6) Relay 3 → GPIO23

Selanjutnya adalah membuat program dasar ESP32 dengan LED dan Web Control dengan program dibawah ini:

```

#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <ESP8266.h>

// ===== OLED =====
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

// ===== PIN LAMPU =====
#define LAMP1 32 // Lampu 1
#define LAMP2 26 // Lampu 2
#define LAMP3 25 // Lampu 3

// ===== WIFI =====
const char* ssid = "BOE-"; // SSID WIFI
const char* password = ""; // tanpa password
WebServer server(80);

// ===== STATUS LAMPU =====
bool lamp1state = false;
bool lamp2state = false;
bool lamp3state = false;

function toggleLamp(lamp) {
  fetch('/toggle?lamp=' + lamp)
  .then(response => response.json())
  .then(state => {
    let btn = document.getElementById("btn"+lamp);
    btn.className = "btn " + (state.on ? "on" : "off");
    btn.innerText = "Lampu " + lamp + ": " + (state.on ? "ON" : "OFF");
  });
}

html.replace("X11", lamp1state ? "on" : "off");
html.replace("X12", lamp2state ? "on" : "off");
html.replace("X13", lamp3state ? "on" : "off");

html.replace("X11", lamp1state ? "ON" : "OFF");
html.replace("X12", lamp2state ? "ON" : "OFF");
html.replace("X13", lamp3state ? "ON" : "OFF");

return html;
}

// ===== UPDATE OLED =====
void updateOLED() {
  display.clearDisplay();
}

void updateOLED() {
  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0, 0);
  display.println("WiFi Connected");
  display.println("IP: ");
  display.println(WiFi.localIP());
  display.println();
  display.println("Lampu1: ");
  display.println(lamp1state ? "ON" : "OFF");
  display.println("Lampu2: ");
  display.println(lamp2state ? "ON" : "OFF");
  display.println("Lampu3: ");
  display.println(lamp3state ? "ON" : "OFF");
  display.display();
}

// ===== HANDLER =====
void handleRoot() {
  server.send(200, "text/html", htmlPage());
}

void handleToggle() {
  bool state = false;
  if (server.hasArg("lamp")) {
    int lamp = server.arg("lamp").toInt();
    if (lamp == 1) { lamp1state = !lamp1state; digitalWrite(LAMP1, lamp1state ? HIGH : LOW); state
    if (lamp == 2) { lamp2state = !lamp2state; digitalWrite(LAMP2, lamp2state ? HIGH : LOW); state
    if (lamp == 3) { lamp3state = !lamp3state; digitalWrite(LAMP3, lamp3state ? HIGH : LOW); state
  }

  String ipStr = WiFi.localIP().toString();
  Serial.println("WiFi connected, IP: " + ipStr);

  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0, 0);
  display.println("WiFi Connected");
  display.println("IP address:");
  display.println(ipStr);
  display.display();

  // ===== DNS =====
  if (DNS.begin("esp32lamp")) {
    Serial.println("DNS responder started: http://esp32lamp.local");
  }

  // Web server
  server.on("/", handleRoot);
  server.on("/toggle", handleToggle);
  server.begin();

  updateOLED();
}

```

Gambar 6. Program Kontrol Lampu/LED via Web

Selanjutnya adalah meng-upload program tersebut ke ESP32 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Menghubungkan ESP32 ke laptop via USB.
- 2) Memilih board ESP32 Dev Module di Arduino IDE.
- 3) Memilih *port* COM yang sesuai.
- 4) Klik tombol *Upload* (panah kanan).
- 5) Menunggu hingga muncul pesan *Done Uploading*.

Terakhir yaitu melakukan uji coba tampilan melalui web berdasarkan program yang sudah diupload, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Setelah upload berhasil, OLED akan menampilkan alamat IP.
- 2) Membuka *browser* (Chrome/Edge/Firefox).
- 3) Ketik alamat IP yang tampil di OLED.
- 4) Akan muncul halaman kontrol dengan 3 tombol untuk menyalakan dan mematikan lampu.

3.2. Kontrol *Trackbar* untuk Mengatur Tingkat Kecerahan Lampu

Bagian ini merupakan puncak dari seluruh materi yang telah dipelajari. Peserta akan menerapkan semua pengetahuan dan keterampilan, mulai dari perancangan maket, perakitan komponen elektronika, hingga pemrograman, untuk menciptakan sebuah karya nyata. Proyek akhir ini bertujuan untuk mengukur kemampuan peserta diantaranya dapat:

- a) Menerjemahkan konsep maket ke dalam bentuk fisik.
- b) Mengintegrasikan sistem elektronika (ESP32) dan pemrograman ke dalam maket.
- c) Menyelesaikan masalah teknis yang mungkin muncul selama proses perakitan dan pengujian.
- d) Menghasilkan produk akhir yang fungsional, rapi, dan sesuai dengan kriteria yang ditentukan.

Berikut adalah program untuk menyalakan LED internal pada kontrol *Trackbar* untuk mengatur tingkat kecerahan lampu:

```
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

// === Konfigurasi OLED ===
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

// === Konfigurasi WiFi ===
const char* ssid = "BOE-";
const char* password = "";

// === Konfigurasi Pin Lampu ===
const int pinTaman = 25;
const int pinTeras = 32;
const int pinRuangan = 33;

// Duty cycle PWM (0-255)
int dutyTaman = 0;
int dutyTeras = 0;
int dutyRuangan = 0;

WebServer server(80);

html.replace("TERAS", String(dutyTeras));
html.replace("RUANGAN", String(dutyRuangan));
return html;
}

// === Update OLED ===
void updateOLED() {
  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0, 0);
  display.println("Smart Building");
  display.println("IP: ");
  display.println(WiFi.localIP());
  display.println("");
  display.println("Taman : "); display.println(dutyTaman);
  display.println("Teras : "); display.println(dutyTeras);
  display.println("Ruangan : "); display.println(dutyRuangan);
  display.display();
}

// === Handler WEB ===
void handleRoot() {
  server.send(200, "text/html", webPage());
}

void handleTaman() {
  if (server.hasArg("val")) {
    dutyTaman = server.arg("val").toInt();
    digitalWrite(pinTaman, dutyTaman);
  }
}
```

```

// === Konfigurasi Pin (LED) ===
#define FREQ      5000
#define RESOLUTION 8
#define CH_TAMAN  0
#define CH_TERAS  1
#define CH_RUANGAN 2

// === Fungsi Web Page ===
String webPage() {
  String html = R"rawliteral(
<DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>Smart Building Control</title>
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
<style>
body {
  background: linear-gradient(135deg, #FFD700, #FFA500, #FF8B3B);
  color: #222;
  font-family: Arial, sans-serif;
  text-align: center;
  margin: 0;
  padding: 0;
}
h2 {
  color: #000;
  text-shadow: 1px 1px 4px #fff176;
  margin-top: 20px;

```

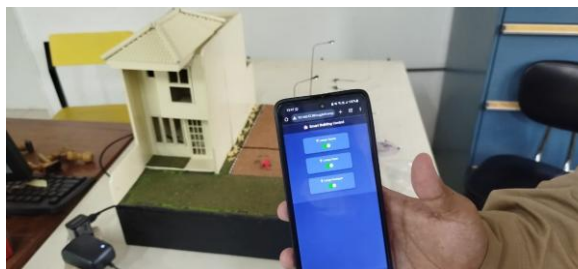
Gambar 6. Program Kontrol *Trackbar* untuk Mengatur Tingkat Kecerahan Lampu OLED

Setiap peserta atau kelompok akan membuat sebuah maket miniatur bangunan (misalnya, rumah, caffe, atau gedung sederhana). Maket ini harus memiliki sistem penerangan internal (lampu LED) yang dapat dikontrol secara nirkabel melalui *web server* yang dijalankan oleh ESP32 dengan kriteria proyek sebagai berikut:

- a) Maket Fisik: Maket harus dibuat dengan rapi, proporsional, dan memiliki detail yang memadai.
- b) Fungsi Elektronika: Semua lampu LED harus berfungsi dan dapat dikontrol dari halaman web.
- c) Program: Program harus stabil, tidak mengalami crash, dan halaman web dapat diakses dengan mudah.
- d) Presentasi: Peserta diharapkan dapat mempresentasikan maket dan menjelaskan alur kerja programnya.

3.3. Tampilan Media Pembelajaran dan *Web Server*

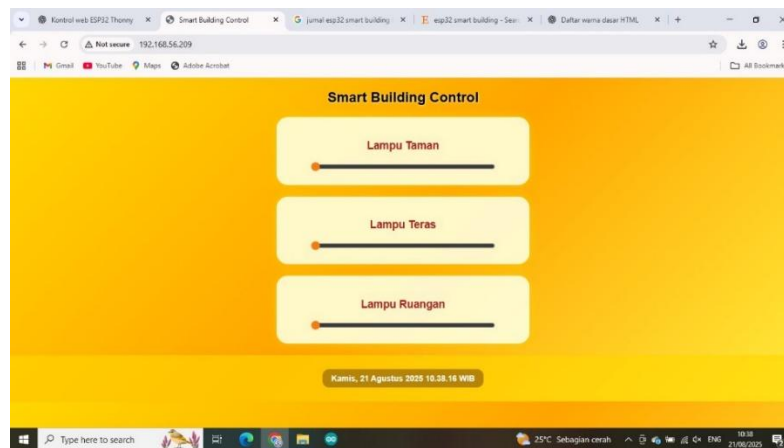
Penelitian ini menghasilkan sebuah media pembelajaran yang inovatif, tidak hanya dalam wujud fisik, tetapi juga dalam fungsionalitasnya yang terintegrasi dengan teknologi modern.





Gambar 7. Tampilan Fisik Media Pembelajaran

Mengacu pada gambar di atas, media pembelajaran yang dikembangkan menampilkan wujud perangkat elektronik yang dipadukan secara teratur dalam sebuah maket rumah. Di dalam maket tersebut tersusun berbagai komponen elektronika yang memiliki fungsi masing-masing, dengan mikrokontroler sebagai pengendali utama dan elemen pendukung lain yang saling berhubungan. Rancangan ini tidak hanya berperan melindungi rangkaian, tetapi juga memberikan visualisasi yang jelas sehingga memudahkan pembelajaran mengenai susunan serta keterkaitan antar komponen elektronik dalam sebuah sistem terintegrasi.



Gambar 8. Tampilan Fisik Media Pembelajaran

Gambar di atas menunjukkan tampilan antarmuka web dari media pembelajaran *Smart Building Control* berbasis IoT dengan KKA menggunakan ESP32. Pada halaman tersebut terlihat tiga kontrol utama berupa slider untuk mengatur intensitas pencahayaan pada Lampu Taman, Lampu Teras, dan Lampu Ruangan secara real-time. Desain antarmuka dibuat sederhana namun interaktif, sehingga memudahkan pengguna dalam memahami cara kerja sistem kendali otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) (Alam et al., 2024). Informasi waktu yang ditampilkan di bagian bawah halaman juga menambah fungsi sebagai penunjuk aktivitas sistem secara kontekstual. Tampilan ini memperlihatkan keterhubungan antara ESP32 dengan web server yang mendukung konsep Komputasi, Komunikasi, dan Automasi dalam pembelajaran, sehingga peserta didik dapat lebih mudah mempelajari prinsip kerja *Smart Building* berbasis teknologi modern.

3.4. Refleksi R&D dalam Pengembangan Media Pembelajaran

Pengembangan media pembelajaran Smart Building Control berbasis IoT dengan KKA ini dilaksanakan menggunakan metode Research and Development (R&D) yang terdiri dari beberapa tahapan utama. Setiap tahapan tidak hanya berorientasi pada hasil produk teknis, tetapi juga menekankan aspek kelayakan, efektivitas, serta relevansi dalam konteks pendidikan vokasi. Pada tahap awal, peneliti melakukan analisis kebutuhan dengan meninjau literatur terkait penelitian sebelumnya serta memetakan potensi penerapan IoT dalam dunia pendidikan. Hasil studi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara penelitian Smart Building yang berfokus pada prototipe teknis dengan kebutuhan media pembelajaran. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan diarahkan untuk menjembatani gap tersebut, yaitu dari sekadar otomasi rumah pintar menjadi alat bantu ajar interaktif.

Tahap selanjutnya adalah merancang produk Smart Building Control yang terintegrasi dengan ESP32. Perancangan mencakup desain rangkaian elektronik, penyusunan skema wiring, dan pembuatan maket miniatur rumah sebagai representasi nyata lingkungan bangunan pintar. Desain juga memasukkan elemen pedagogis, seperti tampilan OLED untuk memvisualisasikan status sistem dan antarmuka web server yang sederhana namun edukatif. Setelah perancangan selesai, tahap pengembangan dilakukan dengan menulis program mikrokontroler menggunakan Arduino IDE. Implementasi meliputi integrasi modul WiFi untuk kontrol via web server, pengaturan intensitas lampu dengan PWM melalui trackbar, serta penambahan tampilan status real-time di OLED. Tahap ini sekaligus menguji stabilitas sistem, kesesuaian logika pemrograman, dan keterhubungan antar modul.

Produk yang dikembangkan selanjutnya divalidasi oleh para Widyaiswara di bidang teknik bangunan. Validasi mencakup aspek fungsionalitas (apakah sistem berjalan sesuai rancangan), kepraktisan (apakah mudah dioperasikan dalam konteks pembelajaran), dan pedagogis (apakah sesuai untuk mendukung capaian pembelajaran teknik bangunan). Saran perbaikan dari validator dijadikan masukan untuk penyempurnaan sistem. Tahap terakhir adalah uji coba melalui implementasi maket miniatur rumah yang dilengkapi sistem penerangan berbasis IoT. Uji coba dilakukan dengan mengontrol lampu melalui web server lokal dan trackbar untuk pengaturan intensitas cahaya. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja stabil, responsif, serta mudah dipahami oleh peserta didik. Secara keseluruhan, rangkaian tahapan R&D ini memastikan bahwa media pembelajaran yang dihasilkan tidak hanya sebatas prototipe fungsional, tetapi juga memiliki nilai aplikatif, edukatif, dan inovatif. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi modern yang relevan dengan kebutuhan dunia pendidikan vokasi, sekaligus mendukung keterampilan abad 21 seperti literasi digital, pemrograman, dan pemahaman sistem IoT.

4. Kesimpulan & Saran

4.1. Kesimpulan

Media Pembelajaran ini dirancang untuk melakukan pengendalian penerangan dengan mengatur tingkat kecerahan lampu di miniatur rumah menggunakan ESP32 dengan *WiFi Direct* sehingga dapat menghemat energi listrik. Tahapan yang dilakukan media pembelajaran ini adalah melakukan kontrol *switch* dan kontrol tingkat kecerahan lampu via web (*Local Wi-Fi*); dan dengan Tampilan OLED (*Status IP Real-time*). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi IoT di bidang bangunan, khususnya dalam meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan konservasi energi. Ke depan, sistem ini dapat dijadikan dasar pengembangan lebih lanjut, misalnya dengan menambahkan integrasi ke sistem keamanan tambahan atau memperluas fungsi pengendalian jarak jauh melalui internet.

4.2. Saran

Disarankan agar pengembangan selanjutnya dapat mencakup penambahan fitur otomatisasi melalui sensor lingkungan seperti cahaya, suhu, maupun gerak, sehingga sistem tidak hanya dapat dikendalikan secara manual tetapi juga mampu merespons kondisi sekitar secara mandiri. Selain itu, antarmuka web perlu ditingkatkan agar lebih interaktif, responsif, dan dilengkapi dengan dashboard monitoring yang menampilkan status perangkat dalam bentuk grafik maupun indikator visual yang informatif. Integrasi dengan platform IoT berbasis cloud juga penting dilakukan agar kontrol dan pemantauan dapat diakses dari jarak jauh melalui internet, didukung dengan penerapan keamanan data melalui autentikasi pengguna dan enkripsi komunikasi. Dari sisi media pembelajaran, perlu adanya modul penunjang serta maket rumah mini untuk mempermudah pemahaman konsep *Smart Building* berbasis IoT, yang kemudian diuji coba dalam lingkungan belajar nyata untuk menilai efektivitas dan mendapatkan umpan balik dari pengguna dalam rangka penyempurnaan sistem.

Referensi

- Agung Raharjo, M., & Sabur, F. (2020). Perancangan Sistem Smart Office Berbasis Internet of Things Politeknik Penerbangan Makassar. *Airman: Jurnal Teknik Dan Keselamatan Transportasi*, 3(2), 141–146. <https://doi.org/10.46509/ajtk.v3i2.168>
- Alam, T., Rokonuzzaman, M., Sarker, S., Abadin, A. F. M. Z., Debnath, T., & Hossain, M. I. (2024). Internet of Things-based Home Automation with Network Mapper and MQTT Protocol. *Computers and Electrical Engineering*, 120(PC), 109807. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2024.109807>
- Andreas, Aldawira, C. R., Putra, H. W., Hanafiah, N., Surjarwo, S., & Wibisurya, A. (2019). Door security system for home monitoring based on ES_p32. *Procedia Computer Science*, 157, 673–682. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.218>
- Apriyanto, J., Irianto, C. G., Ariman, A., & Yamin, M. I. (2024). Rancangan Smart Lighting Dengan Sensor Cahaya Dan Gerak: Pengujian Desain Di Rumah Tinggal. *JUTECH: Journal Education and Technology*, 5(2), 340–353. <https://doi.org/10.31932/jutech.v5i2.3989>
- Darmawan, M. D., Astutik, R. P., & Ariwianto, H. (2023). *Rancang Bangun Prototipe Sistem Otomatis Bangunan Pintar Pada Rumah Kos Bertingkat Design*

- and Build Prototype Smart Building Automatic Systems in Multi storey Boarding Houses.* 11(2).
- Dinanda Ariyadi, A., Zulfia Zahro', H., & Dedy Irawan, J. (2023). Prototype Penerapan Smart Building Berbasis Internet of Thing. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(1), 797–804. <https://doi.org/10.36040/jati.v7i1.6163>
- Easterline, L. M., Putri, A. A. Z. R., Atmaja, P. S., Dewi, A. L., & Prasetyo, A. (2024). Smart Air Monitoring with IoT-based MQ-2, MQ-7, MQ-8, and MQ-135 Sensors using NodeMCU ESP32. *Procedia Computer Science*, 245(C), 815–824. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.308>
- El-Khozondar, H. J., Mtair, S. Y., Qoffa, K. O., Qasem, O. I., Munyarawi, A. H., Nassar, Y. F., Bayoumi, E. H. E., & Halim, A. A. E. B. A. El. (2024). A smart energy monitoring system using ESP32 microcontroller. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9(June), 100666. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100666>
- Frontera-Bergas, M., Vinaixa-Fernández, M., Oliver-Riera, B., Ramis-Bibiloni, J., Isern, E., & Alorda-Ladaria, B. (2025). A Multi-Sensor IoT Platform for monitoring medicine storage beyond the hospital. *Internet of Things (The Netherlands)*, 33(July), 101711. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101711>
- Geraldine, J., Ramianti, R., & Dewi, R. (2024). Smart Light Electricity Automation and Monitoring System Based on the Internet of Things (IOT) on Campus Environment Prototype. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 4(2), 805–813. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v4i2.5082>
- Gunawan, B., Putra, A. A., & Umaimah. (2025). Perancangan Sistem Penerangan Otomatis Berbasis Mikrokontroler Esp32 Dan Sensor Ldr Di Desa Bolo. *Seminar Hasil Pengabdian Masyarakat Dan Kuliah Kerja Nyata*, 6(1), 1–12.
- Ho, K. C., Xu, R. F., Wu, C. X., & Liao, J. Z. (2025). Design and implementation of an adjustable Micro PDL Driver for smart buildings. *HardwareX*, 22(April). <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2025.e00648>
- Kocak, O., & Bunyatova, U. (2025). Integrating smart air purifiers in building controls: A conceptual approach to infection and energy management. *Energy Reports*, 13(February), 2545–2554. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.01.072>
- Laksana, M. T. T., Isnain, A. R., & Heni Sulistiani. (2024). Penerapan Teknologi Aplikasi Rumah Pintar Berbasis Web Menggunakan Microcontroller ESP32. *Jurnal Pepadun*, 5(2), 121–130. <https://doi.org/10.23960/pepadun.v5i2.217>
- Lasera, A. B., & Wahyudi, I. H. (2020). Pengembangan Prototipe Sistem Pengontrolan Daya Listrik berbasis IoT ESP32 pada Smart Home System. *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 5(2), 112–120. <https://doi.org/10.21831/elinvo.v5i2.34261>
- Latief, M. R. P., Farisi, H., & Abidin, Z. (2025). Efisiensi Konsumsi Energi Listrik Pada Sistem Pencahayaan Ruang Kelas Melalui Pengembangan Sistem Kontrol Lampu Ruang Kelas Berbasis Internet Of Things dan Aplikasi Web. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 9(3), 1–15. <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/14606>
- Lee, K. P., Chng, C. W., Tong, D. L., & Tseu, K. L. (2023). Optimizing Energy Consumption on Smart Home Task Scheduling using Particle Swarm Optimization. *Procedia Computer Science*, 220, 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.03.027>

- Lim, Z. Y., Ong, L. Y., & Leow, M. C. (2024). Radio frequency-based human activity dataset collected using ESP32 microcontroller in line-of-sight and non-line-of-sight indoor experiment setups. *Data in Brief*, 57, 111101. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.111101>
- Lopes, R. A., Silva, F., Menezes-Barros, R., Amaro, N., Carvalho, A. G. de, & Martins, J. (2025). Exploring energy flexibility from smart electrical water heaters to improve electrification benefits in residential buildings: Findings from real-world operation. *Energy*, 316(January). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134381>
- Nizam, M. N., Haris Yuana, & Zunita Wulansari. (2022). Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 767–772. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713>
- Okman Tampubolon, J. R., Ramadan, W., Buulolo, J., Purba, P. P., & Siregar, S. D. (2025). Rancang Bangun IoT Otomatis Berbasis Sensor PIR untuk Menghemat Energi Listrik pada saat Ruangan Kosong. *Jurnal Sistem Komputer Dan Informatika (JSON)*, 6(4), 257–263. <https://doi.org/10.30865/json.v6i4.8805>
- Pemerintah Indonesia, K. (2025). *Naskah Akademik Pembelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial pada Pendidikan Dasar dan Menengah*.
- Putri, R., Hafsari, I., Pai, Y. S., & Arifuddin, R. (2025). Implementasi Kendali Lampu Otomatis Rumah Berbasis Internet of Things (Iot) Dengan Esp32 Dan Blynk Melalui Smartphone. *Jurnal Ilmu Teknik*, 2(4), 283–291. <https://doi.org/10.62017/tektonik>
- Romadlon Ardliyansyah, M. S., & Bachri, A. (2022). Rancang Bangun Sistem Keamanan Dan Pengendali Jarak Jauh Sepeda Motor Menggunakan Android Berbasis Nodemcu ESP32 dan GPS. *Jurnal FORTECH*, 3(1), 27–33. <https://doi.org/10.56795/fortech.v3i1.104>
- Shaharuddin, S., Abdul Maulud, K. N., Syed Abdul Rahman, S. A. F., Che Ani, A. I., & Pradhan, B. (2023). The role of IoT sensor in smart building context for indoor fire hazard scenario: A systematic review of interdisciplinary articles. *Internet of Things (Netherlands)*, 22(April), 100803. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100803>
- Urianto, U., & Faridha, M. (2022). Perancangan Dan Instalasi Smart Building Berbasis Mikrokontroler Esp32 Di Laboratorium Teknik Elektronika Skmn 1 Tamiang Layang. *Jurnal EEICT (Electric Electronic Instrumentation Control Telecommunication)*, 5(1), 17–23. <https://doi.org/10.31602/eeict.v5i1.6862>
- Zakaria, S., Mativenga, P., & Ariff, E. A. R. E. (2023). An Investigation of Energy Consumption in Fused Deposition Modelling using ESP32 IoT Monitoring System. *Procedia CIRP*, 116, 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.045>