

Development of an IoT-Based Learning Media on a Miniature HVAC System for Operating Rooms

Rancang Bangun Media Pembelajaran Berbasis IoT pada Miniatur Sistem HVAC Kamar Operasi

Kusnadi, Hikmah Maya Sari, Ahmad Syahri Ramadhan

DIII Teknik Elektromedik Politeknik Unggulan Kalimantan, Indonesia

Article Info

Corresponding

Author:

Kusnadi

✉ kusnadiaja31@gmail.com

History:

Submitted: xx-xx-xxxx

Revised: xx-xx-xxxx

Accepted: xx-xx-xxxx

Keyword:

HVAC, IoT, learning media,
ESP32, Blynk

Kata Kunci:

HVAC, IoT, media
pembelajaran, ESP32, Blynk



Copyright © 2025
by Jurnal Porygon

All writings published in this journal are personal views of the authors and do not represent the views of the Constitutional Court.



<https://doi.org/xx.xxxxx/xxxxxxx>

Abstract

Due to its complexity and high cost, a full-scale HVAC system is difficult to implement in educational settings, hence a miniature model is needed to represent its working principles. This study aims to design an IoT-based miniature HVAC system as an affordable and interactive learning medium. The miniature was developed using an ESP32 microcontroller as the main controller because of its dual-core processing capability, integrated Wi-Fi and Bluetooth connectivity, and wide support for sensors and actuators. The ESP32 processes data from the DHT22 (temperature & humidity), MPX5010DP (air pressure), PMS5003 (air quality), and PIR (motion) sensors, then controls actuators including blower fans, exhaust fans, a PTC heater, and a mini air conditioner. The system can be operated both automatically and manually via the Blynk application, which provides real-time monitoring of environmental parameters. The research employed the Research and Development (R&D) method through stages of hardware-software design, expert validation, and functional testing using the System Usability Scale (SUS). Expert validation results showed the media to be in the very feasible category ($\geq 82\%$), while the SUS test produced an average score of 75.1, categorized as good, indicating that the system is user-friendly and well-accepted. In conclusion, this IoT-based HVAC miniature successfully represents the core functions of a real HVAC system at a smaller scale and economical cost.

Abstrak

Kompleksitas dan biaya sistem HVAC asli membuatnya sulit dihadirkan dalam lingkungan pendidikan, sehingga diperlukan media alternatif berupa miniatur yang mampu merepresentasikan prinsip kerjanya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang miniatur HVAC berbasis Internet of Things (IoT) sebagai media pembelajaran interaktif yang terjangkau dan edukatif. Miniatur yang dikembangkan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama karena memiliki kemampuan pemrosesan ganda (dual-core), konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, serta dukungan terhadap berbagai sensor dan aktuator. ESP32 mengolah data dari sensor DHT22 (suhu & kelembapan), MPX5010DP (tekanan udara), PMS5003 (kualitas udara), dan PIR (gerakan), kemudian mengendalikan aktuator berupa blower fan, exhaust fan, PTC heater, dan AC mini. Sistem dapat dikontrol secara otomatis maupun manual melalui aplikasi Blynk yang menampilkan parameter lingkungan secara real-time. Metode penelitian menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) melalui tahapan perancangan, pengujian hardware-software, validasi ahli, serta uji fungsionalitas dengan System Usability Scale (SUS). Hasil validasi ahli menunjukkan media berada pada kategori sangat layak ($\geq 82\%$), sedangkan uji SUS menghasilkan skor rata-rata 75,1 yang termasuk kategori baik, menandakan sistem mudah digunakan dan diterima pengguna. Kesimpulannya, miniatur HVAC berbasis IoT ini berhasil merepresentasikan fungsi utama sistem HVAC asli dengan skala lebih sederhana dan biaya lebih ekonomis.

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) telah mendorong transformasi di berbagai sektor, termasuk pendidikan. Pemanfaatan teknologi digital dalam proses pembelajaran menjadi salah satu strategi penting untuk meningkatkan kualitas pendidikan melalui penyediaan media pembelajaran yang lebih interaktif, adaptif, dan kontekstual (Anwar dan Murtopo 2024). Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah Internet of Things (IoT), yaitu konsep yang memungkinkan berbagai perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu melakukan pemantauan, pengendalian, dan pertukaran data secara real-time (Nefati dkk. 2025). Teknologi ini telah banyak diterapkan pada berbagai bidang, termasuk otomasi bangunan, industri, dan sistem pendukung pelayanan kesehatan.

Salah satu penerapan IoT yang semakin berkembang di bidang kesehatan adalah pada sistem Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC). Sistem HVAC memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga kualitas udara, suhu, kelembaban, tekanan ruangan, serta kebersihan udara di fasilitas pelayanan kesehatan, khususnya kamar operasi. Pengendalian parameter lingkungan tersebut diperlukan untuk meminimalkan risiko infeksi, menjaga keselamatan pasien, serta mendukung kenyamanan tenaga medis selama tindakan operasi berlangsung. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, parameter-parameter tersebut dapat dipantau secara real-time sehingga memudahkan proses pengawasan, pemeliharaan, dan pengambilan keputusan secara lebih cepat dan akurat (Sentosa dan Anugrah 2024).

Meskipun sistem HVAC memiliki peranan yang sangat vital, proses pembelajaran mengenai sistem tersebut pada pendidikan teknik, khususnya Teknik Elektromedik, masih didominasi oleh pendekatan teoritis dengan keterbatasan fasilitas praktik. Peralatan HVAC berskala industri memiliki harga yang relatif mahal, ukuran yang besar, serta membutuhkan ruang dan biaya operasional yang tinggi sehingga tidak semua institusi pendidikan mampu menyediakannya sebagai media praktikum (Sani dkk. 2025). Kondisi ini menyebabkan mahasiswa mengalami keterbatasan dalam memahami prinsip kerja, sistem kontrol, serta proses monitoring HVAC secara langsung.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan media pembelajaran berbasis IoT mampu meningkatkan efektivitas proses pembelajaran. Penelitian oleh (Ariawan dan Ratnaya 2023) berhasil mengembangkan media pembelajaran AC Split berbasis IoT yang terbukti meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap sistem pendingin. Penelitian lain oleh (Putranto dan Simunng 2025) serta (Budi dan Santiyadnya 2024) juga menunjukkan bahwa trainer berbasis IoT yang dikembangkan memperoleh tingkat kelayakan yang sangat baik sebagai media pembelajaran praktis. Hasil-hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis IoT mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik melalui simulasi sistem yang menyerupai kondisi sebenarnya.

Selain mendukung proses pembelajaran mahasiswa, simulasi HVAC berbasis IoT juga memiliki manfaat bagi tenaga teknis di fasilitas pelayanan kesehatan, khususnya teknisi elektromedik dan teknisi pemeliharaan rumah sakit (Susanto dan Muhammad 2024). Media simulasi dapat digunakan sebagai sarana pelatihan untuk mempelajari prosedur pemantauan, pengoperasian, identifikasi

gangguan, serta pemeliharaan sistem HVAC tanpa harus melakukan intervensi langsung pada instalasi yang sedang digunakan untuk pelayanan pasien. Pendekatan ini memungkinkan proses pelatihan dilakukan secara lebih aman, efisien, dan fleksibel (Syuhada dkk. 2025).

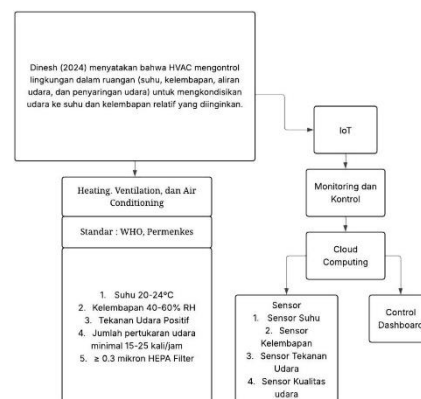
2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan pengembangan miniatur simulasi HVAC kamar operasi berbasis Internet of Things (IoT) sebagai media pembelajaran yang mampu merepresentasikan kondisi sistem HVAC di rumah sakit secara lebih realistis. Media pembelajaran ini diharapkan dapat membantu mahasiswa memahami prinsip kerja HVAC, sistem monitoring lingkungan ruang operasi, serta implementasi teknologi IoT dalam bidang elektromedik. Selain itu, pengembangan media ini juga diharapkan dapat menjadi alternatif pembelajaran yang ekonomis, interaktif, dan aplikatif sekaligus mendukung peningkatan kompetensi sumber daya manusia dalam pengelolaan fasilitas pelayanan kesehatan.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) yang bertujuan untuk menghasilkan suatu produk berupa media pembelajaran berbasis Internet of Things (IoT) pada miniatur sistem HVAC kamar operasi serta menguji kelayakan dan efektivitas penggunaannya sebagai media pembelajaran. Penelitian dan pengembangan (Research and Development) merupakan metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu sekaligus menguji kelayakan dan keefektifan produk tersebut sebelum diterapkan secara lebih luas (Waruwu 2024).

Pada penelitian ini, tahapan pengembangan mengacu pada metode Research and Development (R&D) Sugiyono yang telah disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Tahapan tersebut meliputi potensi dan masalah, pengumpulan data, desain produk, validasi desain, revisi desain, pembuatan produk, uji fungsi produk, revisi produk, dan finishing produk (Okpatrioka Okpatrioka 2023). Kerangka Teori penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 yang menggambarkan proses pengembangan media pembelajaran mulai dari identifikasi kebutuhan hingga produk akhir siap digunakan



Gambar 1. Kerangka Teori Penelitian

Pengumpulan data dilakukan pada beberapa tahap pengembangan dengan menggunakan instrumen yang berbeda sesuai tujuan pengujian. Validasi produk dilakukan oleh ahli media dan ahli materi menggunakan lembar validasi untuk menilai aspek desain, fungsi, tampilan, dan kesesuaian materi pada media pembelajaran yang dikembangkan. Hasil validasi digunakan sebagai dasar dalam melakukan revisi produk sebelum diujicobakan kepada pengguna.

Selanjutnya, uji coba produk dilakukan kepada mahasiswa Program Studi Teknik Elektromedik untuk mengetahui efektivitas media pembelajaran yang dikembangkan. Efektivitas pembelajaran diukur menggunakan pre-test dan post-test sehingga dapat diketahui peningkatan pemahaman mahasiswa setelah menggunakan media pembelajaran berbasis IoT pada miniatur sistem HVAC kamar operasi (Akmaludin dkk. 2025). Selain itu, tingkat kemudahan penggunaan (usability) media pembelajaran dievaluasi menggunakan System Usability Scale (SUS). Instrumen SUS digunakan untuk mengetahui persepsi pengguna terhadap kemudahan penggunaan, efisiensi, dan tingkat penerimaan media pembelajaran yang telah dikembangkan (Ginting dan Silalahi, t.t.). Hasil pengujian validasi ahli, peningkatan hasil belajar melalui pre-test dan post-test, serta nilai SUS digunakan sebagai dasar untuk menentukan tingkat kelayakan, efektivitas, dan usability media pembelajaran berbasis IoT pada miniatur sistem HVAC kamar operasi

B. PEMBAHASAN

Pembahasan penelitian ini difokuskan pada analisis hasil perancangan, pengujian, serta validasi miniatur HVAC berbasis IoT yang telah dikembangkan. Tujuan utama dari pembahasan ini adalah untuk menilai sejauh mana miniatur HVAC mampu merepresentasikan sistem HVAC kamar operasi yang sesungguhnya, sekaligus meninjau efektivitasnya sebagai media pembelajaran interaktif.

1. Pengujian Alat

Tujuan dari pengujian adalah untuk mengetahui keakuratan perancangan “Rancang Bangun Media Pembelajaran Berbasis IoT Pada Miniatur Sistem HVAC Kamar Operasi” Dalam pengujian ini, peneliti memeriksa apakah perangkat berfungsi sebagaimana mestinya. Tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut :

a. Pengujian ESP32

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kestabilan output tegangan 3.3V, output tegangan 5V yang berasal dari board ESP32 dan juga untuk mengetahui kestabilan tegangan V_{in} dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap nilai ideal 7.0V Tegangan ini penting karena menjadi sumber referensi daya untuk sensor-sensor digital seperti DHT22 dan PIR. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3 :

Tabel 1 Hasil Pengujian Output Tegangan ESP32 3.3V

Pengukuran ke-	Output Tegangan (Vdc)	Tegangan Terukur (Vdc)	Error	Error (%)
1	3.3	3.320	0.020	0.61
2	3.3	3.319	0.019	0.58
3	3.3	3.318	0.018	0.55
4	3.3	3.318	0.018	0.55
5	3.3	3.317	0.017	0.52
6	3.3	3.317	0.017	0.52
7	3.3	3.318	0.018	0.55

Pengukuran ke-	Output Tegangan (Vdc)	Tegangan Terukur (Vdc)	Error	Error (%)
8	3.3	3.318	0.018	0.55
9	3.3	3.317	0.017	0.52
10	3.3	3.318	0.018	0.55
Rata-Rata pH Terukur			3.32 Vdc	
Error			0.02 Vdc	
Error (%)			0.55 %	

Dari hasil pengujian, rata-rata tegangan terukur sebesar 3.318 V, dengan error rata-rata 0.018 V dan error relatif 0.55%. Nilai ini tergolong stabil dan masih dalam batas toleransi deviasi, sehingga tegangan 3.3V dapat digunakan secara andal sebagai sumber daya untuk komponen digital pada sistem.

Tabel 2 Hasil Pengujian Output Tegangan ESP32 5V

Pengukuran ke-	Output Tegangan (Vdc)	Tegangan Terukur (Vdc)	Error	Error (%)
1	5.00	4.996	0.004	0.08
2	5.00	4.996	0.004	0.08
3	5.00	4.996	0.004	0.08
4	5.00	4.996	0.004	0.08
5	5.00	4.997	0.003	0.06
6	5.00	4.997	0.003	0.06
7	5.00	4.996	0.004	0.08
8	5.00	4.997	0.003	0.06
9	5.00	4.997	0.003	0.06
10	5.00	4.997	0.003	0.06
Rata-Rata pH Terukur			5.00 Vdc	
Error			0.00 Vdc	
Error (%)			0.07%	

Hasil pengujian menunjukkan rata-rata tegangan sebesar 5.00 Vdc dengan error rata-rata 0.00 Vdc dan error relatif 0.07%. Ini menunjukkan bahwa tegangan 5V yang dihasilkan cukup stabil dan sesuai dengan kebutuhan daya dari komponen dalam sistem.

Tabel 3 Hasil Pengujian Tegangan Vin ESP32

Pengukuran ke-	Output Tegangan (Vdc)	Tegangan Terukur (Vdc)	Error	Error (%)
1	7.00	6.986	0.014	0.20
2	7.00	6.984	0.016	0.23
3	7.00	6.985	0.015	0.21
4	7.00	6.984	0.016	0.23
5	7.00	6.980	0.020	0.29
6	7.00	6.980	0.020	0.29
7	7.00	6.984	0.016	0.23
8	7.00	6.987	0.013	0.19
9	7.00	6.984	0.016	0.23
10	7.00	6.985	0.015	0.21
Rata-Rata pH Terukur			6.98 Vdc	
Error			0.02 Vdc	
Error (%)			0.23%	

Dari hasil pengujian pada Tabel di atas, rata-rata hasil pengukuran menunjukkan tegangan Vin sebesar 6.98 Vdc dengan error rata-rata 0.02 Vdc dan error relatif 0.23%. Nilai ini

menunjukkan bahwa input daya ke board ESP32 tetap dalam batas toleransi aman dan tidak berpengaruh negatif terhadap performa sistem.

b. Pengujian Sensor MPX5010DP

Sensor MPX5010DP digunakan untuk mengukur tekanan udara dalam sistem HVAC. Karena sensor ini menghasilkan sinyal analog berupa tegangan, maka diperlukan pengukuran kestabilan output tegangannya untuk memastikan hasil pengolahan data tekanan akurat. Hasil pengujian dari Sensor MPX5010DP dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4 Hasil Pengujian Sensor MPX5010DP

Pengukuran Ke-	Output Tegangan (Vdc)	Tegangan Terukur (Vdc)	Error	Error (%)
1	5.00	4.986	0.014	0.28
2	5.00	4.984	0.016	0.32
3	5.00	4.985	0.015	0.30
4	5.00	4.984	0.016	0.32
5	5.00	4.980	0.020	0.40
6	5.00	4.980	0.020	0.40
7	5.00	4.984	0.016	0.32
8	5.00	4.987	0.013	0.26
9	5.00	4.984	0.016	0.32
10	5.00	4.985	0.015	0.30
Rata-rata tegangan terukur				4.98 Vdc
Error				0.02 Vdc
Akurasi/Error %				0.32%

Hasil pengukuran menunjukkan rata-rata tegangan sebesar 4.98 Vdc, dengan error rata-rata 0.02 Vdc dan error relatif 0.32%. Nilai ini tergolong stabil, dan sensor MPX5010DP dapat dikatakan bekerja dengan baik untuk memberikan data tekanan udara pada sistem.

c. Power Supply Unit (PSU)

PSU berperan penting sebagai sumber utama daya sistem, khususnya untuk mengalirkan tegangan ke ESP32 dan komponen eksternal lainnya. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan output PSU 12V sebanyak 10 kali. Hasil pengujian dari Sensor MPX5010DP dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5 Hasil Pengujian Power Supply Unit

Pengukuran Ke-	Output Tegangan (Vdc)	Tegangan Terukur (Vdc)	Error	Error (%)
1	5.00	4.986	0.014	0.28
2	5.00	4.984	0.016	0.32
3	5.00	4.985	0.015	0.30
4	5.00	4.984	0.016	0.32
5	5.00	4.980	0.020	0.40
6	5.00	4.980	0.020	0.40
7	5.00	4.984	0.016	0.32
8	5.00	4.987	0.013	0.26
9	5.00	4.984	0.016	0.32
10	5.00	4.985	0.015	0.30

Pengukuran Ke-	Output Tegangan (Vdc)	Tegangan Terukur (Vdc)	Error	Error (%)
		Rata-rata tegangan terukur		4.98 Vdc
		Error		0.02 Vdc
		Akurasi/Error %		0.32%

Dari hasil pengukuran, tegangan output PSU menunjukkan nilai yang sangat stabil yaitu 11.96 Vdc dengan error rata-rata 0.04 Vdc dan error relatif 0.33%. Ini menunjukkan bahwa PSU bekerja optimal dan cocok untuk digunakan dalam sistem HVAC miniatur ini.

Power Supply Unit (PSU) 5V digunakan sebagai sumber daya utama untuk sejumlah komponen penting seperti mikrokontroler ESP32, sensor, dan aktuator dalam sistem HVAC miniatur berbasis IoT. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana tegangan output dari PSU mendekati nilai ideal sebesar 5.00 Vdc, serta memastikan kestabilannya dalam kondisi pengoperasian normal.

Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali menggunakan multimeter digital yang dikalibrasi. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui nilai rata-rata tegangan terukur, error absolut (dalam volt), dan error relatif dalam persentase. Pengujian ini penting untuk memastikan kualitas catu daya karena fluktuasi tegangan dapat mempengaruhi performa dan akurasi pembacaan sensor.

Tabel 6 Hasil Pengujian Tegangan Output PSU 5V

Pengukuran Ke-	Output Tegangan (Vdc)	Tegangan Terukur (Vdc)	Error	Error (%)
1	5.00	5.097	0.097	1.94
2	5.00	5.101	0.101	2.02
3	5.00	5.099	0.099	1.98
4	5.00	5.101	0.101	2.02
5	5.00	5.097	0.097	1.94
6	5.00	5.097	0.097	1.94
7	5.00	5.101	0.101	2.02
8	5.00	5.099	0.099	1.98
9	5.00	5.101	0.101	2.02
10	5.00	5.097	0.097	1.94
Rata-rata tegangan terukur				5.10 Vdc
Error				0.10 Vdc
Akurasi/Error %				1.98 %

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rata-rata tegangan terukur sebesar 5.10 Vdc dengan rata-rata error 0.10 Vdc dan rata-rata error relatif sebesar 1.98%. Nilai ini masih berada dalam batas toleransi tegangan untuk peralatan elektronik 5V dan menunjukkan bahwa PSU mampu memberikan daya secara stabil dan andal kepada seluruh komponen dalam sistem HVAC miniatur ini.

2. Perancangan dan Implementasi Media Pembelajaran

Perancangan media pembelajaran berbasis IoT pada miniatur HVAC kamar operasi dilakukan dengan mengintegrasikan sensor, aktuator, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali. Komponen utama yang digunakan meliputi sensor DHT22 untuk suhu dan kelembapan, MPX5010DP untuk tekanan udara, PMS5003 untuk kualitas udara, serta PIR untuk mendeteksi gerakan. Data dari sensor diproses oleh ESP32 dan ditampilkan melalui LCD 20x4 serta aplikasi Blynk secara real-time. Sistem ini mampu dikendalikan secara otomatis maupun manual, sehingga pengguna dapat memahami hubungan antara parameter lingkungan dengan kinerja HVAC.

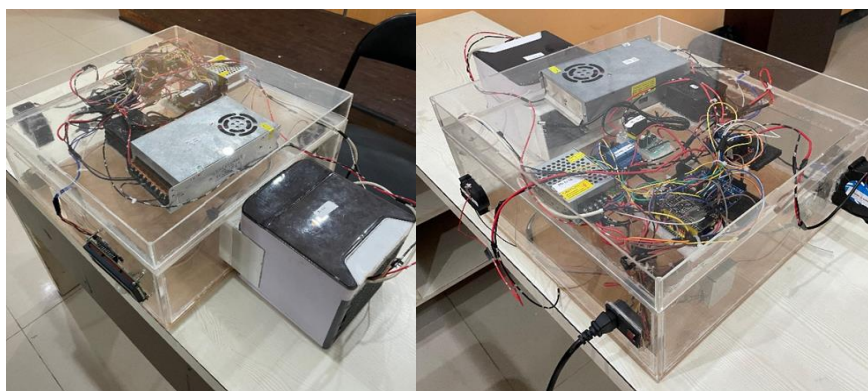
Proses implementasi miniatur HVAC menunjukkan bahwa rancangan dapat berjalan sesuai dengan prinsip kerja sistem HVAC sesungguhnya, namun dalam skala yang lebih sederhana dan ekonomis. Hasil uji fungsional memperlihatkan bahwa setiap komponen bekerja sesuai perannya, seperti blower untuk sirkulasi udara, PTC sebagai pemanas, serta AC mini untuk pendingin. Dengan rancangan ini, mahasiswa teknik elektromedis dapat mempelajari dasar kerja HVAC kamar operasi tanpa harus berhadapan dengan sistem skala industri yang lebih kompleks dan mahal.

Miniatur HVAC berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang tidak hanya untuk merepresentasikan sistem HVAC kamar operasi, tetapi juga untuk memberikan pengalaman belajar langsung kepada mahasiswa. Melalui media ini, mahasiswa dapat memahami bagaimana proses pendinginan, pemanasan, dan sirkulasi udara dikendalikan secara otomatis maupun manual.

Pada mode otomatis, sistem bekerja dengan membaca data dari sensor suhu, kelembapan, dan tekanan udara. Data tersebut diolah oleh mikrokontroler ESP32, kemudian ESP32 memberikan perintah kepada aktuator seperti blower, PTC heater, dan AC mini sesuai ambang batas yang telah ditentukan. Misalnya, ketika suhu ruangan naik melebihi standar, AC mini otomatis aktif untuk menurunkan suhu. Sebaliknya, ketika suhu turun terlalu rendah, PTC heater akan menyala untuk menaikkan suhu. Dengan demikian, mahasiswa dapat melihat bagaimana sistem kontrol berbasis sensor berjalan secara real-time.

Pada mode manual, mahasiswa dapat menggunakan aplikasi Blynk untuk mengendalikan setiap komponen secara langsung melalui smartphone. Melalui aplikasi ini, mahasiswa dapat menyalakan atau mematikan blower, exhaust, AC mini, maupun heater sesuai kebutuhan. Hal ini mensimulasikan peran Building Management System (BMS) dalam pengaturan HVAC di dunia nyata.

Dengan pendekatan ini, mahasiswa tidak hanya mengetahui nama dan fungsi komponen, tetapi juga dapat mempraktikkan bagaimana sistem HVAC dikendalikan, baik secara otomatis berbasis IoT maupun secara manual. Media pembelajaran ini memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk melakukan eksplorasi, troubleshooting, serta memahami hubungan antara sensor, mikrokontroler, dan aktuator dalam satu kesatuan sistem HVAC.



Gambar 2. Implementasi “Rancang Bangun Media Pembelajaran Berbasis IoT pada Miniatur Sistem HVAC Kamar Operasi”



Gambar 3. Tampilan LCD 20x4 dan Dashboard Blynk Saat Sistem Berjalan

Validasi ahli materi dilakukan dengan tujuan untuk menilai kelayakan isi materi yang terdapat pada media pembelajaran miniatur HVAC berbasis IoT. Proses validasi ini melibatkan empat orang validator yang memiliki keahlian di bidang Teknik Elektromedik serta pengalaman di rumah sakit maupun industri terkait. Hasil penilaian ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 7 Hasil Kueioner Ahli Materi

Validator	Bidang Keahlian	Skor Perolehan	Skor Maksimal	Persentase (%)	Kategori
1	Teknik Elektromedik	56	60	93.3%	Sangat Layak
2	Teknik Elektromedik	60	60	100%	Sangat Layak
3	Teknik Elektromedik	59	60	98.3%	Sangat Layak
4	Teknik Elektromedik	45	60	75%	Layak
Rata-rata		55	60	91.65%	Sangat Layak

Validasi ahli media dilakukan dengan tujuan untuk menilai kualitas tampilan, kemudahan penggunaan, serta kesesuaian media dengan kebutuhan pengguna. Penilaian ini diberikan oleh beberapa validator ahli yang menilai instrumen menggunakan skala Likert dengan skor 1 sampai 4. Hasil perhitungan persentase dari masing-masing validator ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 8 Hasil Kueioner Ahli Media

Validator	Bidang Keahlian	Skor Perolehan	Skor Maksimal	Persentase (%)	Kategori
1	Teknik Elektromedik	94	100	94%	Sangat Layak
2	Teknik Elektromedik	80	100	80%	Layak
3	Teknik Elektromedik	87	100	87%	Sangat Layak
4	Teknik Elektromedik	73	100	73%	Layak
5	Teknik Sipil	77	100	77%	Layak
Rata-rata		82.2	100	82%	Sangat Layak

Hasil validasi dari ahli materi dan ahli media juga mendukung bahwa miniatur ini layak digunakan. Ahli materi memberikan skor 91,65% dengan kategori sangat layak, sedangkan ahli media memberikan skor 82,2% juga dengan kategori sangat layak. Temuan ini

mengindikasikan bahwa media pembelajaran yang dikembangkan telah sesuai dengan aspek substansi materi maupun aspek visual, mekanis, dan fungsionalitas media.

3. Pengukuran Efektivitas Media Pembelajaran

Efektivitas media diukur melalui dua pendekatan, yaitu validasi ahli dan uji coba pengguna dengan instrumen System Usability Scale (SUS). Hasil validasi menunjukkan bahwa miniatur HVAC berbasis IoT mampu menyajikan materi pembelajaran secara akurat dan sesuai dengan kebutuhan pendidikan teknik elektromedis.

Tabel 9 Hasil Perhitungan Skor SUS

Responden	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Total Skor	SUS Score
1	3	2	3	3	3	2	3	2	3	3	23	57,5
2	3	2	4	3	4	2	3	2	3	4	28	70
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	24	60
4	3	2	3	2	3	3	2	2	3	4	20	50
5	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	23	57,5
6	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	35	87,5
7	4	1	4	2	4	1	4	1	3	3	35	87,5
8	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	31	77,5
9	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	35	87,5
10	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	35	87,5
11	4	1	4	3	3	1	4	1	4	3	30	75
12	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	35	87,5
13	4	2	4	4	4	2	4	2	4	3	27	67,5
14	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	35	87,5
15	4	1	4	1	4	1	4	1	4	1	35	87,5
Rata-rata Score												75,1

Selain itu, uji coba dengan kuesioner SUS memperoleh skor rata-rata 75,1 yang termasuk kategori baik, menunjukkan bahwa media ini mudah digunakan dan diterima oleh mahasiswa. Hal ini sejalan dengan tujuan penelitian, yaitu menjadikan miniatur HVAC sebagai media pembelajaran interaktif yang tidak hanya menyampaikan konsep teoritis, tetapi juga mendorong motivasi belajar melalui praktik langsung.

Dari hasil pre-test dan post-test, terlihat adanya peningkatan pemahaman mahasiswa setelah menggunakan media pembelajaran ini. Peningkatan skor ini menunjukkan bahwa media mampu membantu mahasiswa memahami prinsip kerja HVAC kamar operasi secara lebih komprehensif. Mahasiswa tidak hanya memahami teori melalui penjelasan, tetapi juga memperoleh pengalaman nyata melalui simulasi miniatur yang dilengkapi pemantauan berbasis IoT.

Tabel 10 Hasil Pre-Test dan Post-Test

Jenis Tes	Rata-rata	Skor Tertinggi	Skor Terendah	Standar Deviasi
Pre-Test	76,15	100	50	14,46
Post-Test	93,85	100	80	7,68

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran berbasis IoT pada miniatur HVAC kamar operasi efektif digunakan dalam pembelajaran mahasiswa teknik elektromedis. Media ini berhasil meningkatkan pemahaman konsep, memotivasi mahasiswa untuk belajar, serta mendukung proses pembelajaran yang lebih interaktif dan kontekstual sesuai dengan kebutuhan bidang elektromedis.

C. KESIMPULAN

Miniatur HVAC berbasis IoT yang dikembangkan berhasil merepresentasikan prinsip kerja sistem HVAC asli pada kamar operasi. Fungsi utama berupa pengaturan suhu, kelembapan, tekanan udara, dan kualitas udara dapat direalisasikan melalui penggunaan sensor DHT22, MPX5010DP, PMS5003, dan PIR yang terintegrasi dengan aktuator berupa blower fan, exhaust fan, PTC heater, dan AC mini. Sistem ini dapat bekerja dalam mode otomatis maupun manual dengan kendali real-time melalui aplikasi Blynk. Pengguna dapat mengendalikan blower, exhaust fan, heater, maupun AC mini secara manual melalui tombol kontrol pada dashboard Blynk. Saat tombol ditekan, perintah akan dikirim ke ESP32 untuk mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator sesuai kebutuhan.

Berdasarkan kriteria interpretasi kelayakan menurut Riduwan (2011), hasil validasi ahli materi sebesar 91.65% termasuk dalam kategori “sangat layak”. Dengan demikian, dari aspek isi dan materi, media pembelajaran yang dikembangkan dinyatakan telah sesuai dan dapat digunakan dalam proses pembelajaran. Berdasarkan kriteria interpretasi kelayakan menurut Riduwan (2011), hasil validasi ahli media sebesar 82.2% termasuk dalam kategori “sangat layak”. Dengan demikian, dari aspek tampilan, keterbacaan, kemudahan penggunaan, serta kesesuaian desain, media pembelajaran berbasis IoT pada miniatur sistem HVAC kamar operasi yang dikembangkan dinyatakan telah memenuhi standar kelayakan dan dapat digunakan dalam proses pembelajaran. Sedangkan uji System Usability Scale (SUS) memperoleh skor rata-rata 75,1 dengan kategori baik. Hal ini menunjukkan bahwa miniatur HVAC berbasis IoT yang dikembangkan mudah digunakan, diterima oleh pengguna, serta layak dijadikan media pembelajaran. Dengan demikian, miniatur HVAC berbasis IoT ini efektif sebagai sarana pembelajaran yang mampu menyederhanakan sistem HVAC asli yang kompleks menjadi model yang lebih sederhana, ekonomis, dan edukatif, tanpa mengurangi prinsip kerjanya. Implementasi teknologi IoT pada miniatur sistem HVAC memungkinkan pemantauan dan pengendalian parameter lingkungan secara real-time melalui platform digital, sehingga mendukung efektivitas media sebagai sarana pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmaludin, Ramdhan, Muhammad Khumaedi, dan Khoirul Huda. 2025. “Efektivitas Media Pembelajaran Berbasis Android untuk Meningkatkan Hasil Belajar Mikrometer Sekrup.” *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan* 5 (3): 466–72. <https://doi.org/10.36312/panthera.v5i3.493>.
- Anwar, Khairil, dan Murtopo Murtopo. 2024. “Pemanfaatan Teknologi Informasi dan Komunikasi (ICT) dalam Mengembangkan Media Pembelajaran.” *EDU-RILIGIA: Jurnal Ilmu Pendidikan Islam dan Keagamaan* 8 (1). <https://doi.org/10.47006/er.v8i1.20422>.
- Ariawan, Kadek Nova, dan I. Gede Ratnaya. 2023. “Pengembangan Media Pembelajaran Sistem Kontrol AC Split Jarak Jauh Berbasis IoT Pada Mata Kuliah Sistem Kontrol Otomatis Di Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Undiksha.” *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha* 12 (2). <https://doi.org/10.23887/jjpte.v12i2.66419>.
- Budi, Christian Setia, dan Nyoman Santiyadnya. 2024. “Pengembangan Media Pembelajaran Smart Control System Berbasis IoT Yang Bersifat Adaptif Untuk Mengatur Suhu Dan Kelembaban

- Tanah Pada Mata Kuliah Sistem Kendali Cerdas.” *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha* 13 (3). <https://doi.org/10.23887/jjpte.v13i3.86064>.
- Ginting, Guidio Leonarde, dan Natalia Silalahi. t.t. “Analisis Kepuasan Pengguna Terhadap e-Learning Moodle Berbasis Web Dengan Menerapkan Metode SUS.” *Journal of Informatics Management and Information Technology* 5 (1). <https://doi.org/10.47065/jimat.v5i1.469>.
- Nefati, Musab Ali El, Muhammad Akbar Hariyono, Muhammad Rashif Anshari, dan Mursalinor Ripa’i. 2025. “Design and Development a Learning Media for Dialyzer Reprocessing System Based on Arduino.” *Journal of Azzaytuna University (JAZU)* 56. <https://doi.org/10.35778/jazu.i56.646>.
- Okpatrioka Okpatrioka. 2023. “Research And Development (R&D) Penelitian Yang Inovatif Dalam Pendidikan.” *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa dan Budaya* 1 (1): 86–100. <https://doi.org/10.47861/jdan.v1i1.154>.
- Putranto, Bagus Setyana Muslim, dan Okky Herodion Simunng. 2025. “Rekayasa Sistem Pengendalian Alat Penyejuk Ruangan Pada Gedung Pertemuan Berbasis IoT.” *Journal of Applied Microcontroller and Autonomous System* 5 (2). <https://doi.org/10.71302/jamas.v5i2.28>.
- Sani, Kamarulnizam, Muhammad Hanif Ali, Nurul Hanim Rahiman, dan Siti Fazlyana Mat Husin. 2025. “Kompetensi Pengurusan Praktikum Serta Peranan Pensyarah Pembimbing di Institusi Pendidikan Swasta: Satu Kajian Rintis: Practicum Management Competencies and the Role of Mentoring Lecturers in Private Educational Institutions: A Pilot Study.” *e-Jurnal Penyelidikan dan Inovasi* 12 (1): 58–70. <https://doi.org/10.53840/ejpi.v12i1.217>.
- Sentosa, Agung Mulya, dan Dena Anugrah. 2024. “Alat Monitoring Suhu dan Tekanan Udara di Ruang Isolasi Kelas Negatif Berbasis IoT.” *Medika Teknika : Jurnal Teknik Elektromedik Indonesia* 5 (2): 114–23. <https://doi.org/10.18196/mt.v5i2.22844>.
- Susanto, Rudi, dan Nibras Faiq Muhammad. 2024. “Internet of Things (Iot)-Based Air Conditioner Control And Monitoring System at Al Firdaus Preschool Education Park (TPP) Surakarta.” *International Journal of Information System & Technology* 8 (158). <https://doi.org/10.30645/ijistech.v8i2.352>.
- Syuhada, Nurnadiyah, Arief Taufikurrahman, dan Arino Bemi Sado. 2025. “Perancangan Prototype Building Management System untuk Air Conditioning Berbasis Iot.” *JTIM : Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia* 7 (2): 326–36. <https://doi.org/10.35746/jtim.v7i2.622>.
- Waruwu, Marinu. 2024. “Metode Penelitian dan Pengembangan (R&D): Konsep, Jenis, Tahapan dan Kelebihan.” *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan* 9 (2): 1220–30. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>. eidel Publishing Company, 1983