



Pengembangan Mikrokontroler ESP-32 Sebagai Alat Akuisisi Data Untuk Monitoring Kinerja Sistem Refrigerasi Pada Laboratorium Teknik Refrigerasi dan Tata Udara

Sunardi¹⁾, Muhammad Nuriyadi²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung

¹⁾sunardi@polban.ac.id, ²⁾nuriyadi@polban.ac.id*

ARTICLE HISTORY

Received:
January 13, 2025
Revised
May 24, 2025
Accepted:
October 15, 2025
Online available:
November 24, 2025

Keywords:

Esp32; Data Logger;
Measuring Instrument; Data
Acquisition

*Correspondence:

Name: Muhammad Nuriyadi
E-mail: nuriyadi@polban.ac.id

Kantor Editorial
Politeknik Negeri Ambon
Pusat Penelitian dan Pengabdian
Masyarakat
Jalan Ir. M. Putuhena, Wailela-
Rumahtiga, Ambon Maluku,
Indonesia
Kode Pos: 97234

ABSTRACT

Training units in refrigeration laboratories still use manual measurements. Manual data collection is highly dependent on human observation, with timing and accuracy unstable and low overall accuracy. For this reason, it is necessary to develop a data acquisition tool using an ESP-32 microcontroller as a data processor equipped with a DS18B20 temperature sensor, SCT013 electric current sensor, and ZMPT101B voltage sensor. The development of this tool produces a monitoring tool that can store measurement data in real time and accurately for learning activities. From the analysis results, it was found that measuring air conditioning system parameters using Data Acquisition (DAQ ESP-32) produces dynamic measurements, more accurate and precise than manual measurements. The difference in parameters ranges from 4 to 10 percent.

1. PENDAHULUAN

Pengembangan alat monitoring kinerja trainer sistem refrigerasi dan tata udara memiliki beberapa kepentingan yang signifikan, diantaranya untuk mengurangi kesalahan yang diakibatkan dari pengamatan manusia, Dengan memantau kinerja sistem secara terus-menerus, alat monitoring ini dapat membantu dalam mendeteksi potensi masalah sebelum menjadi serius. Pemeliharaan preventif yang tepat waktu dapat mengurangi risiko kerusakan yang mahal

dan mengurangi waktu tidak produktif karena downtime sistem.

Beberapa penelitian telah mengembangkan dan memvalidasi unit pelatihan untuk pendingin dan pengkondisian udara. (Abu-Mulaweh 2009) menciptakan peralatan eksperimental pengkondisian udara portabel yang dapat mendemonstrasikan berbagai proses pengkondisian udara dan dasar-dasar siklus pendinginan. (Lucas 2023) merancang Alat Ekstraktor Freon Improvisasi sebagai Trainer Inovatif yang berisi bagian-bagian elektrik dan non elektrik serta berfungsi sebagai bahan pembelajaran pada mata



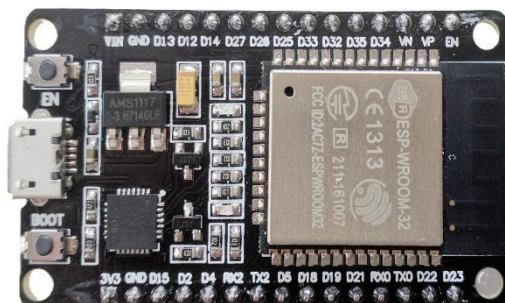
pelajaran refrigerasi dan tata udara. Ningsih (Ningsih, Darmawan et al. 2021) dan Ermac (Eugenio A. Ermac 2020) mengembangkan media pembelajaran AC Split R32 yang meliputi trainer dan job sheet, dan ternyata cocok digunakan pada mata kuliah teknik pendingin dan tata udara. Studi-studi ini secara kolektif berkontribusi pada pengembangan training unit yang efektif di lapangan. Selain itu beberapa penelitian juga telah mengeksplorasi sistem pemantauan dan kontrol real-time dalam pendingin dan pengkondisian udara. Jota (Jota, Batista et al. 2013) dan Momeni (Momeni, Jani et al. 2021) menekankan pentingnya pemantauan berkelanjutan untuk manajemen energi dan evaluasi kinerja sistem. Shinde (Shinde M.H. 2022) dan Peng (Peng, Su et al. 2019) masing-masing fokus pada aplikasi spesifik, seperti pemantauan truk berpendingin dan kendali jarak jauh unit AC. Jegan (Jegan, Karthik et al. 2022) merancang sistem pemantauan, pengoptimalan, dan penyesuaian efisiensi energi AC sentral secara real-time. Menurut Zhou (Zhou, Yan et al. 2014) pengaturan dinamis optimal real-time dari suhu dan kelembaban dalam ruangan mengurangi konsumsi energi sistem pendingin udara, menghasilkan tingkat penghematan daya tahunan sebesar 32,69% - 66,76%. Studi-studi ini secara kolektif menyoroti potensi sistem pemantauan real-time untuk meningkatkan efisiensi energi, kualitas produk, dan kinerja sistem pendingin dan pendingin udara.

Dalam rangka untuk mengurangi kesalahan yang diakibatkan pengamatan manusia maka dibuat atau didesain sebuah alat akuisisi data untuk monitoring sistem refrigerasi dan AC yang dapat merekam data parameter suhu dan lainnya sehingga memudahkan dalam melakukan analisis kinerja sistem refrigerasi dan AC kemudian membandingkan hasil pengukuran yang diperoleh dengan pengukuran secara manual.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler adalah suatu chip yang didalamnya sudah terdapat CPU, RAM, ROM, memory, dan perangkat input output yang dikemas dalam sebuah Integrated Circuit (IC). Fungsi mikrokontroler antara lain yaitu sebagai otak atau pengendali dari rangkaian elektronik untuk suatu tujuan tertentu. ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh Espressif System dan merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Salah satu kelebihan yang dimiliki oleh ESP32 yaitu sudah terdapat Wifi dan Bluetooth didalamnya, sehingga akan sangat memudahkan membuat sistem IoT yang memerlukan koneksi wireless.



Gambar 1 Mikrokontroler ESP32

Gambar 1 menunjukkan bentuk mikrokontroler ESP32 yang terdiri dari beberapa pin digital, tx rx, vin dan ground. Mikrokontroler ESP32 dapat aplikasikan sebagai alat pendukung pada sistem refrigerasi, sebagai contoh Alat monitoring dan pencatat data, alat kontrol sistem refrigerasi.

2.2 Sensor DS18B20

Sensor temperatur DS18B20 adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran temperatur menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan.



Gambar 2 Sensor temperatur DS18B20

Gambar 2 menampilkan bentuk dari sensor DS18B20 yang sudah di modifikasi menggunakan selongsong besi sehingga lebih mudah dalam menggunakannya. Mengacu pada data sheet DS18B20, sensor temperatur ini memiliki akurasi yang cukup tinggi + 5 °C dalam tempertur antara -10 °C sampai dengan +85 °C, dan dapat digunakan antara -55 °C sampai dengan +125 °C. Menurut datasheet yang diunduh dari situs resmi pembuat sensor DS18b20 sensor ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya :

- Dapat digunakan secara bersamaan dalam satu pin untuk komunikasi, karena sensor DS18B20 memiliki alamat internal sendiri - sendiri.
- Tidak ada komponen / driver tambahan.
- Resolusi dapat dipilih pengguna dari 9 smapai 12 bit
- Kecepatan pengukuran temperature 750ms (max).

2.3 Sensor Tegangan ZMPT101B

Sensor ZMPT101B merupakan sensor tegangan yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik AC



sampai dengan 1000V. cara kerja dari sensor ini adalah menurunkan tegangan masukan menggunakan trafo stepdown, kemudian dimasukan ke op-amp dan akan didapat nilai keluaran sesuai dengan nilai masukannya.



Gambar 2. 3 Sensor tegangan ZMPT101B

Gambar 3 menampilkan jenis sensor tegangan ZMPT101B yang memiliki 4 pin, pin 1 dan pin 2 digunakan sebagai masukan utama sedangkan pin 3 dan pin 4 sebagai keluaran. Berdasarkan datasheet temperatur kerja optimal dari sensor ini berkisar antara 40 °C sampai dengan 70 °C.

2.4 Sensor Arus SCT013

Sensor ini tergolong komponen yang memiliki tingkat stabilitas yang baik.



Gambar 4 Sensor Arus SCT013

Gambar 4 menunjukkan bentuk dan karakteristik dari sensor SCT013. Sensor jenis ini memungkinkan pengukuran arus secara akurat tanpa harus menghubungkan atau merangkai secara seri terhadap beban. Jenis sensor arus yang banyak dipakai adalah The Yhdc current transformer dikenal sebagai CT sensor, sebuah sistem nonkontak terhadap rangkaian listrik yang juga disebut dengan sistem Non-Invasive sensor yang dapat mendeteksi aliran arus yang melalui sebuah kawat penghantar

2.5 Parameter Kinerja Sistem AC

Parameter kinerja sistem AC meliputi kapasitas pendinginan, konsumsi daya, Coefficient of Performance (COP) serta energy efficiency ratio (EER) - Kapasitas pendinginan dari sistem AC ditentukan dengan persamaan (1).

$$Q_a = \dot{m}_a (h_{a,out} - h_{a,in}) = (h_{a,out} - h_{a,in}) \rho_a v_a A \quad (1)$$

\dot{m}_a : laju aliran massa udara, (kg/s)

v_a : menunjukkan kecepatan aliran udara yang mengalir pada saluran udara, (m/s)

A : luas penampang saluran (m²)

ρ_a : merepresentasikan massa jenis/kepadatan udara, (kg/m³).

$h_{a,in}$ dan $h_{a,out}$: entalpi udara yang masuk dan keluar evaporator, (kJ/kg).

- Laju aliran refrigeran dalam sistem persamaan 2

$$\dot{m}_{ref} = \frac{Q_a}{(h_{ev,out} - h_{ev,in})} \quad (2)$$

Dimana:

\dot{m}_{ref} : laju aliran refrigeran pada sistem pendingin tata udara, (kg/s)

$h_{ev,out}$ dan $h_{ev,in}$: entalpi refrigeran keluar dan masuk evaporator, (kJ/kg).

- Daya yang diperlukan untuk mengkompresi refrigeran di kompresor dirumuskan dengan persamaan (3).

$$W_{ref} = \dot{m}_{ref} (h_{com,out} - h_{com,in}) \quad (3)$$

Dimana:

$h_{com,out}$ dan $h_{com,in}$: entalpi refrigeran keluar dan masuk kompresor, (kJ/kg).

- Sedangkan Daya listrik yang dibutuhkan oleh kompresor dirumuskan dengan persamaan (4).

$$W_{el} = U * I \quad (4)$$

Dimana:

U : tegangan listrik dari catu daya

I : aliran arus (A)

- Kinerja sistem tata udara dinyatakan dengan Energy Efficiency Ratio (EER) secara keseluruhan ditentukan oleh Persamaan (5).

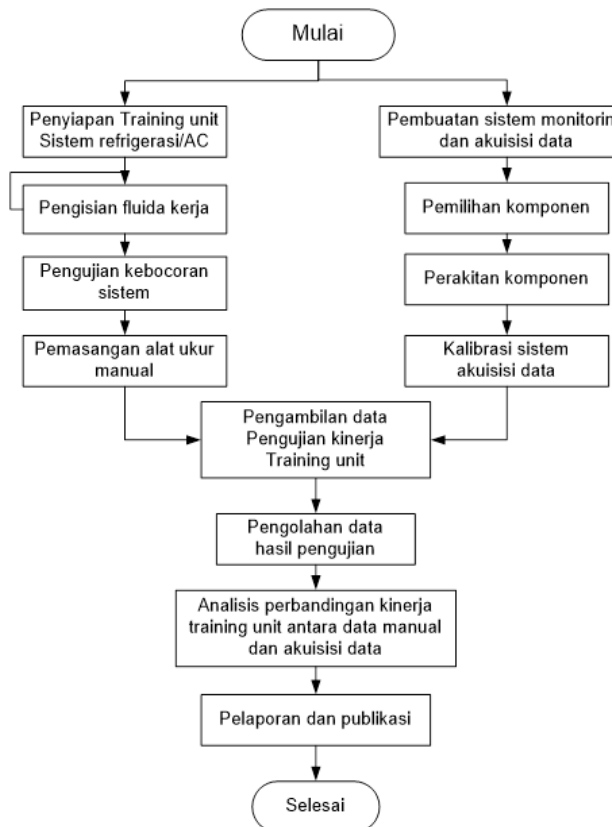
$$EER = \frac{Q_a}{W_{el}} = \frac{Q_a}{U.I} \quad (5)$$

3. METODOLOGI

Pada gambar 5 diperlihatkan diagram alur proses dari awal perancangan sampai akhir pelaporan. Penelitian



dimulai dengan menyiapkan training unit sistem refrigerasi dan tata udara, yang meliputi menyiapkan komponen refrigerasi dan tata udara, pengisian fluida kerja, pengujian kebocoran, persiapan sistem alat akuisisi data, pengujian sistem, pengolahan data dan Analisa sampai dengan pelaporan / publikasi.

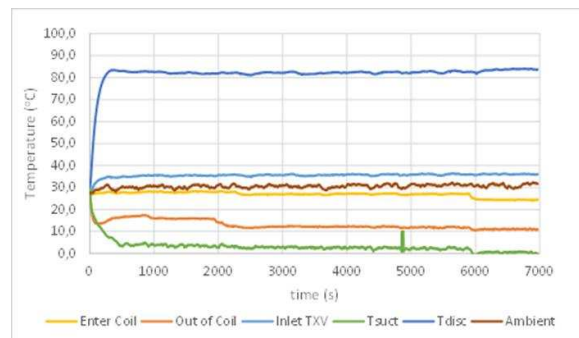


Gambar 5 Diagram alir proses pengembangan alat monitoring kinerja sistem refrigerasi

Alat data akuisisi untuk monitoring kinerja trainer sistem refrigerasi dan tata udara menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data, dengan mengintegrasikan sensor suhu DS18B20, sensor arus SCT013 dan sensor tegangan ZMPT 101B. Untuk pengkodean atau pemrograman mikrokontroler ESP 32 bisa dilakukan menggunakan Arduino IDE. Kemudian mengkalibrasi alat ukur tersebut.

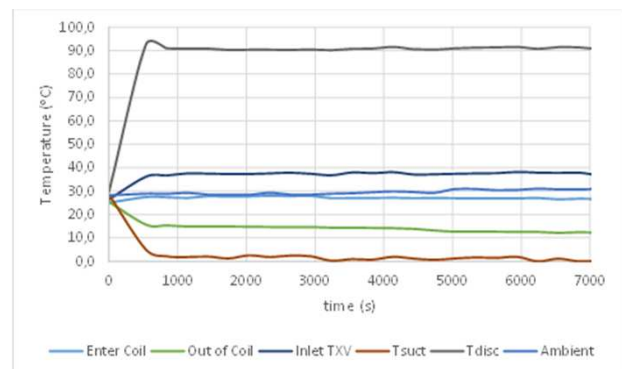
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran temperatur yang dihasilkan alat akuisisi data ditampilkan pada gambar 6, yang meliputi temperatur udara masuk koil, keluar koil, temperatur sisi refrigeran di bagian isap, tekan dan masuk alat ekspansi. Parameter temperatur tersebut akan sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi kinerja sistem tata udara.



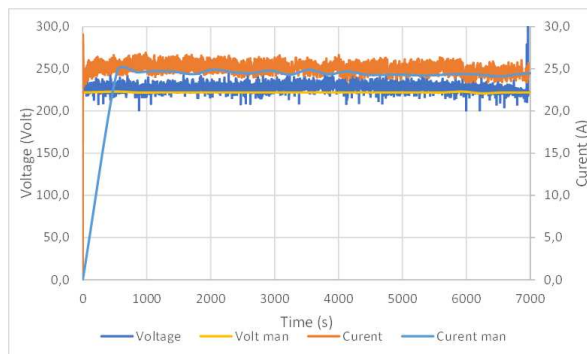
Gambar 6 Profil temperatur sistem tata udara dengan alat ukur akuisisi data

Gambar 7 menunjukkan profil yang sama, namun dengan menggunakan alat ukur manual. Terlihat bahwa hasil pengukuran dengan akuisisi data lebih detil dalam menampilkan perubahan temperature tiap saat karena periode pengukuran dilakukan tiap detik, sedangkan pengukuran manual dilakukan tiap 5 menit.



Gambar 7 Profil temperatur sistem tata udara dengan alat ukur manual

Gambar 8 menampilkan hasil pengukuran tegangan dan arus listrik. Terlihat bahwa hasil pengukuran dengan akuisisi data lebih dinamis dan detail sehingga lebih menggambarkan kondisi sistem untuk tiap saat. Sebagai contoh pengukuran arus saat awal sistem dinyalakan terdapat lonjakan arus di beberapa detik awal, namun tidak terlihat pada pengukuran manual, hal ini menjadi titik kritis saat sistem baru dinyalakan.



Gambar 8 Profil pengukuran tegangan dan arus dengan pengukuran akuisisi data dan manual

Tabel 1 Menunjukkan besaran rerata pengukuran tiap parameter dengan alat akuisisi data dan simpangannya. Sedangkan tabel 2 menunjukkan parameter yang sama namun dengan pengukuran manual.

Tabel 1 Rerata dan simpangan hasil pengukuran dengan akuisisi data ESP-32

	Temperatur Sebelum Koil		Temperatur Sesudah Koil		Temperatur Masuk TXV	Temperatur Suction	Temperatur Discharge	Temperatur Lingkungan	Tegangan
	Twb	Tdb	Twb	Tdb					
Rerata	21,15	26,91	11,36	13,06	35,55	3,04	81,84	30,56	227,98
Simpangan	0,90	1,12	0,91	2,04	0,89	2,70	4,49	0,81	4,10

Tabel 2 Rerata dan simpangan hasil pengukuran manual

	Temperatur Sebelum Koil		Temperatur Sesudah Koil		Temperatur Masuk TXV	Temperatur Suction	Temperatur Discharge	Temperatur Lingkungan	Tegangan
	Twb	Tdb	Twb	Tdb					
Rerata	21,53	26,86	12,67	13,81	37,19	2,80	89,13	29,76	222,03
Simpangan	0,86	0,90	2,32	2,59	2,07	5,69	11,23	0,97	0,32

Secara garis besar Tabel 2 menunjukkan adanya peningkatan dalam variasi (simpangan) di beberapa parameter, yang dapat menunjukkan perubahan kondisi atau ketidakstabilan dalam sistem pengukuran. Sebaliknya, beberapa parameter menunjukkan peningkatan dalam rata-rata, misalnya, Temperatur discharge, yang bisa menjadi indikasi peningkatan beban atau perubahan kondisi operasional pada sistem yang diukur, namun tidak terlihat detail pada pengukuran. Stabilitas tegangan tampaknya lebih baik di tabel 2, tetapi arus menunjukkan peningkatan variasi yang signifikan.

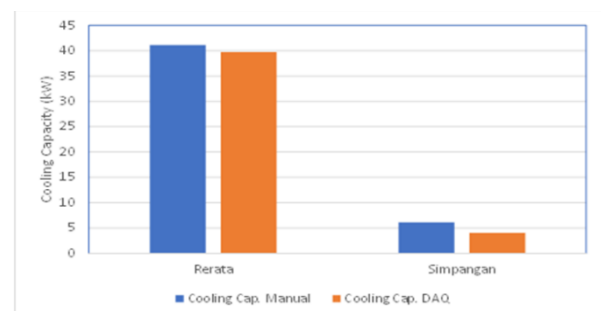
Sistem yang dianalisis menunjukkan stabilitas yang baik dengan variasi yang minimal dalam temperatur, tegangan, dan arus. Temperatur sebelum dan sesudah koil menunjukkan bahwa koil pendingin bekerja secara efektif untuk menurunkan suhu udara.

Variasi kecil pada parameter ini menunjukkan konsistensi dalam operasi, yang penting untuk efisiensi dan kinerja jangka panjang sistem.

Rerata: Pengukuran pada tabel 2 menunjukkan suhu yang lebih tinggi setelah koil dan pada suhu TXV

masuk, serta tegangan dan arus yang sedikit lebih rendah. Namun, ada perbedaan signifikan dalam temperatur suction dan discharge antara kedua pengukuran. Simpangan: Pengukuran pada tabel 1 umumnya lebih stabil dalam hal variasi (simpangan lebih rendah) pada sebagian besar parameter, kecuali untuk tegangan yang lebih stabil di pengukuran pada tabel 2.

Gambar 9 menampilkan perbandingan antara dua metode pengukuran kapasitas pendinginan (*Cooling Capacity*). Perbedaan antara kedua metode dalam hal rerata tidak terlalu signifikan, meskipun pengukuran manual menunjukkan kapasitas pendinginan yang sedikit lebih tinggi daripada metode data akuisisi (DAQ). Hal ini mungkin menunjukkan bahwa metode manual cenderung sedikit overestimasi dibandingkan dengan pengukuran otomatis menggunakan data akuisisi (DAQ). Simpangan yang lebih besar pada metode manual menunjukkan bahwa ada lebih banyak variabilitas atau fluktuasi dalam hasil pengukuran manual. Sebaliknya, metode data akuisisi (DAQ) menghasilkan hasil yang lebih konsisten dengan variasi yang lebih rendah. Ini dapat mengindikasikan bahwa metode data akuisisi (DAQ) lebih akurat dan andal dalam menghasilkan pengukuran kapasitas pendinginan yang konsisten.



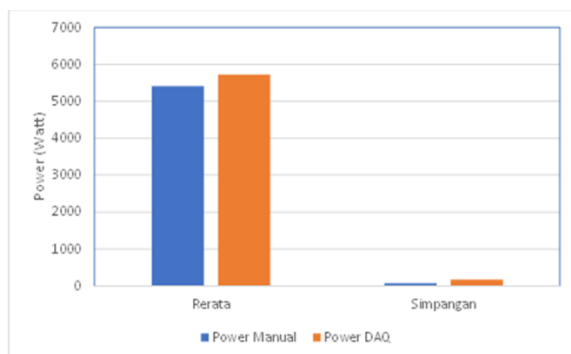
Gambar 10 Perbandingan perhitungan kapasitas pendinginan hasil pengukuran dengan ESP 32 dan pengukuran manual

Gambar 10 membandingkan daya antara dua metode pengukuran manual dan data akuisisi DAQ (ESP-32). Rata-rata daya yang diukur dengan metode data akuisisi (DAQ) sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan metode manual. Hal ini bisa mengindikasikan bahwa metode data akuisisi (DAQ) cenderung memberikan nilai daya yang lebih tinggi atau bahwa metode manual menghasilkan sedikit underestimasi dalam pengukuran daya. Metode data akuisisi (DAQ) menunjukkan rerata daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode manual. Perbedaan ini meskipun tidak terlalu besar, namun signifikan, dan bisa menunjukkan bahwa data akuisisi (DAQ) memiliki



sensitivitas atau akurasi yang lebih tinggi dalam pengukuran daya.

Simpangan untuk kedua metode sangat kecil, namun metode data akuisisi (DAQ) menunjukkan sedikit lebih banyak variasi. Ini bisa menunjukkan bahwa metode data akuisisi (DAQ) lebih sensitif terhadap fluktuasi dalam pengukuran daya, meskipun perbedaannya tidak besar



Gambar 11 Hasil perhitungan daya dengan pengukuran manual dan DAQ

Tabel 3 menampilkan adanya perbedaan hasil perhitungan parameter kinerja sistem tata udara dengan menggunakan pengukuran manual dan DAQ ESP-32. Besar selisih perbedaan tersebut adalah 4% untuk kapasitas pendinginan, 6% untuk konsumsi daya dan 10% untuk EER.

Tabel 3 Perbedaan parameter sistem tata udara hasil pengukuran manual dan alat akuisisi data

	Cooling Cap.		Power		EER	
	Manual	DAQ	Manual	DAQ	Manual	DAQ
Rerata	41,12	39,72	5412,2	5722,8	7,61	6,94
Simpangan	6,11	4,05	74,23	175,78	1,22	0,66
Prosentase	4%		6%		10%	

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Hasil ujicoba dan analisa yang telah dilakukan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pengukuran parameter sistem tata udara dengan menggunakan data akuisisi (DAQ) ESP-32 menghasilkan pengukuran yang dinamis, lebih akurat dan tepat dibandingkan pengukuran manual.
- Selisih perbedaan parameter berkisar antara 4 sampai dengan 10 persen.

5.2. Saran

Alat monitoring akuisisi data (DAQ) berbasis mikrokontroler ESP 32 masih bisa dikembangkan lebih lanjut, diantaranya dengan menggabungkan konsep IoT pada sistem akuisisi data, sehingga sistem pendingin dan tata udara bisa beroperasi secara mandiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh DIPA Politeknik Negeri Bandung sesuai Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Skema Penelitian Tenaga Kependidikan Fungsional Nomor:B/5PL1.R7/PG.00.03/2024, isi sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Mulaweh, H. I., 2009, *Development and performance validation of portable air-conditioning experimental apparatus*, International Journal of Mechanical Engineering Education **37**(2): 144-158.
- Eugenio A. Ermac, N. K. M. R. L. S., Mateo A., 2020, *Refrigeration and Air Conditioning: Breaking Barriers among Practitioners Proficiency*, Engineering, Environmental Science, Education, International Journal of Trend in Scientific Research and Development.
- Jegan, G., K. Karthik, S. Lakshmi, K. Srilatha, M. E. Jebarani and P. K. Priya, 2022, *Real Time Air Conditioner Plant Failure Detection System*, 2022 International Conference on Communication, Computing and Internet of Things (IC3IoT), IEEE.
- Jota, F. G., A. P. Batista, M. M. Herzog, P. R. Jota, E. C. Martins and J. R. Venâncio, 2013, *Effective energy management through on-line monitoring and control: A case study in cooling chambers of a Blood Center*, 2013 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), IEEE.
- Lucas, T., 2023, *A Improvised Freon Extractor as an Innovative Trainer*, The Quest: Journal of Multidisciplinary Research and Development **2**(2).
- Momeni, M., S. Jani, A. Sohani, S. Jani and E. Rahpeyma, 2021, *A high-resolution daily experimental performance evaluation of a large-scale industrial vapor-compression refrigeration system based on real-time IoT data monitoring technology*, Sustainable Energy Technologies and Assessments **47**: 101427.
- Ningsih, F. W., I. A. Darmawan and M. Fatkhurrohman, 2021, *Development of air conditioner split R32 trainer learning media in cooling and air conditioning engineering courses*, Jurnal Pendidikan Vokasi **11**(2): 213-222.
- Peng, W., D. Su and M. Higginson, 2019, *A novel remote control system for air conditioning in low carbon emission buildings using sensor fusion and mobile communication technologies*, Building and Environment **148**: 701-713.



Shinde M.H., P. Y. J. S. B. P. G., 2022, *Real-Time Monitoring and Controlling of Refrigerated Truck Using IoT*, International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology.

Zhou, Y., J.-w. Yan and H.-j. Lin, 2014, *The energy efficiency monitoring and operation optimization of central air conditioners*. The 26th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), IEEE.