

RANCANG BANGUN TRAINER AIR CONDITIONER DAN TROUBLESHOOTING EVAPORATOR PADA SISTEM PENDINGIN AC

Design And Construction Of An Air Conditioning Trainer And Evaporator Troubleshooting System

Wajilan¹, Harsman Tandilitin², Bayu Setiawan³

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Dosen Prodi. Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda

³Jurusan Teknik Mesin, Mahasiswa Prodi. Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda
Jl.Dr.Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Samarinda Seberang, Kota Samarinda

e-mail: ¹jielun_smd@yahoo.com, ²harsmant@polnes.ac.id, ³bayu_s@gmail.com

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 04/11/2025

Diterima dalam bentuk

revisi: 10/11/2025

Diteima/publis: 13/11/2025

Kata Kunci

Troubleshooting evaporator,
air conditioners

Abstrak

Air Conditioning (AC) dapat mengalami berbagai gangguan yang memengaruhi fungsi dan performanya. Kemampuan melakukan *troubleshooting* atau pemecahan masalah terhadap komponen utama sistem pendingin menjadi hal penting. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *trainer* AC sebagai media pembelajaran yang dapat digunakan untuk melatih dan meningkatkan keterampilan dalam perancangan serta perbaikan sistem pendingin. *Trainer* AC yang dikembangkan terdiri dari beberapa komponen utama, seperti evaporator, kompresor, dan kondensor. Sistemnya dapat dioperasikan secara manual maupun otomatis sehingga memungkinkan pengguna melakukan berbagai eksperimen dalam mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah pada sistem AC. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *trainer* AC mampu berfungsi dengan baik serta dapat mensimulasikan berbagai kondisi yang mungkin terjadi pada sistem pendingin di dunia nyata. Dengan demikian, *trainer* AC ini dapat menjadi sarana pembelajaran efektif dalam meningkatkan pengetahuan dan keterampilan peserta pelatihan di bidang teknologi pendingin, khususnya dalam hal perancangan dan *troubleshooting* sistem AC.

Abstract

Air conditioning (AC) units may experience various operational issues that affect their performance. the ability to perform troubleshooting on key cooling system components is essential. This study aims to design and develop an AC trainer as a learning medium to enhance knowledge and skills in the design and maintenance of cooling systems. The developed AC trainer consists of several main components, including an evaporator, compressor, and condenser. The system can be operated both manually and automatically, allowing users to conduct various experiments in identifying and resolving issues within the AC system. Evaluation results indicate that the designed trainer functions properly and can effectively simulate different real-world conditions of an AC cooling system. In conclusion, the developed AC trainer serves as an effective educational tool for improving the knowledge and technical skills of students or trainees in the field of refrigeration technology, particularly in AC system design and troubleshooting.

PENDAHULUAN

Penggunaan sistem pendingin udara (AC) di berbagai sektor industri, komersial, dan domestik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan makin tingginya tuntutan kenyamanan termal [1]. Dalam siklus kompresi uap—yang mencakup kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator—komponen evaporator mempunyai peranan penting dalam penyerapan panas dari lingkungan terdingin dan memulai proses pendinginan udara. Karena evaporator merupakan titik kritis dalam proses penukaran panas, kerusakan, fouling (pengotoran), atau aliran udara yang tidak optimal pada evaporator secara signifikan dapat menurunkan performa sistem AC, meningkatkan konsumsi energi, serta mempercepat terjadinya kegagalan sistem (misalnya kapasitas pendinginan menurun, COP memburuk) [2].

Menurut Elmouatamid dkk. (2023) dalam studi “Air Conditioning Systems Fault Detection and Diagnosis-Based Sensing and Data-Driven Approaches”, mereka melaporkan bahwa banyak kesalahan operasional pada sistem AC terkait evaporator, seperti airflow rendah, refrigeran kurang isi, atau kehadiran gas non-kondensabel—yang berpengaruh langsung terhadap kapasitas pendinginan dan efisiensi system [3]. Salah satu studi numerik pada koil evaporator menunjukkan bahwa deposisi es (frosting) dapat mengurangi nilai UA total hingga sekitar 15,6 % dan meningkatkan penurunan tekanan sisi udara hingga 99 % untuk konfigurasi sirip tertentu [4].

Masalah pemeliharaan dan troubleshooting pada sistem AC juga semakin mendapat perhatian. Sebagai contoh, Song dkk. (2023) mengusulkan metode diagnosis kesalahan berbasis pembelajaran mesin untuk sistem AC, yang menunjukkan bahwa kegagalan sistem AC berkontribusi signifikan terhadap pemborosan energi di Gedung [5]. Selain itu, metode pemeliharaan berbasis kondisi (condition-based maintenance) juga mulai diterapkan untuk sistem AC split, untuk

mengoptimalkan efisiensi perawatan dan mencegah kerusakan pada komponen seperti filter atau evaporator [6].

Dalam upaya meningkatkan efisiensi sistem AC dan mengurangi kegagalan operasional, berbagai penelitian juga telah mengkaji modifikasi desain evaporator, peningkatan aliran massa refrigeran, ataupun pengoptimalan aliran udara di sekitar Evaporator [7]. Sebagai contoh, Shih (2003) melakukan pemodelan CFD untuk performa sisi udara evaporator pada lemari es, yang hasilnya menunjukkan bahwa distribusi aliran udara dan panas yang tidak merata atau mal-distribusi aliran udara dapat secara substansial mengurangi kinerja pertukaran panas. Tuo & Hrnjak (2013) melakukan eksperimen pada evaporator mikro-kanal dalam sistem AC mobil (R134a) dan menemukan bahwa aliran balik uap (reverse flow) dan fluktuasi penguapan menurunkan koefisien perpindahan panas serta meningkatkan penurunan tekanan sisi Refrigerant [8].

Secara khusus, penelitian mengenai rancang bangun trainer AC dan pelatihan troubleshooting evaporator belum banyak diintegrasikan dengan aspek performa sistem, efisiensi energi, dan kegagalan operasional secara sistematis [9]. Dalam konteks pendidikan teknik maupun pelatihan vokasi, penggunaan unit trainer dan media pembelajaran yang meniru kondisi nyata sistem AC sangat penting untuk meningkatkan kompetensi praktis mahasiswa atau teknisi lapangan. Sebagai contoh, penelitian Putra dkk. (2023) melakukan modifikasi AC split inverter sebagai trainer unit untuk mendukung pembelajaran laboratorium [10].

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun unit trainer AC dan mengembangkan prosedur troubleshooting pada evaporator dalam sistem pendingin AC, serta mengukur performa (misalnya COP, kapasitas pendinginan, aliran udara, tekanan refrigeran) unit trainer tersebut dalam kondisi normal dan kesalahan yang diprogram (fault conditions) [11]. Kontribusi yang diharapkan adalah (1)

menyediakan solusi pembelajaran praktis yang relevan dengan industri pendingin udara, (2) memberikan data eksperimen untuk analisis efek kesalahan pada evaporator terhadap kinerja sistem, dan (3) merekomendasikan strategi pemeliharaan atau troubleshooting untuk meningkatkan efisiensi operasional sistem AC di lapangan [12].

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem pendingin udara (AC) berbasis siklus kompresi uap merupakan salah satu teknologi utama dalam pengkondisian ruang dan kontrol termal, dengan komponen penting berupa evaporator yang melakukan penyerapan panas dari udara ruang. Kinerja evaporator sangat ditentukan oleh banyak faktor, termasuk laju aliran udara sisi sirip, aliran massa refrigeran, distribusi dua-fase, serta kondisi fouling atau pembentukan es (frosting) pada sirip [3]. Untuk meningkatkan efisiensi sistem AC, beberapa penelitian telah mengusulkan modifikasi desain seperti penggunaan koil mikro-kanal dan peningkatan distribusi aliran refrigeran [13]. Selain itu, pemulihan panas dan penggunaan penukar panas tambahan pada sisi evaporator atau kondensor juga terbukti mengurangi konsumsi energi sistem secara signifikan [14].

Namun, selain desain termal, aspek operasional dan kondisi kesalahan (faults) juga sangat memengaruhi performa sistem pendinginan. Kesalahan operasional seperti aliran udara rendah, pengisian refrigeran yang tidak tepat, sensor gagal, maupun kombinasi kesalahan (multiple faults) dapat mengurangi efisiensi sistem, meningkatkan konsumsi energi, dan memperpendek umur pakai komponen [3]. Studi tersistematis tentang deteksi dan diagnosis kesalahan (FDD: Fault Detection and Diagnosis) dalam sistem HVAC menunjukkan bahwa metode berbasis data (data-driven) dan berbasis pengetahuan (knowledge-based) telah berkembang pesat [15]. Misalnya, ulasan komprehensif menunjukkan bahwa metode machine learning dan deep learning dalam FDD mampu mendeteksi anomali

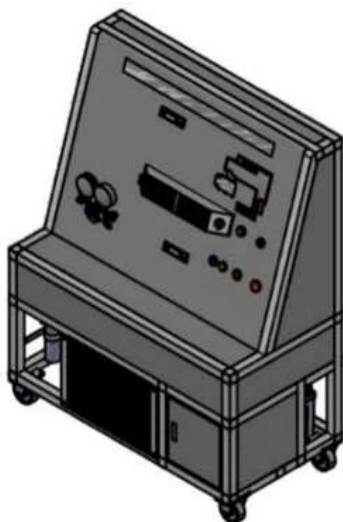
dan kesalahan dengan akurasi tinggi, tetapi masih menghadapi tantangan seperti ketersediaan data fault, generalisasi ke bangunan nyata, dan transferabilitas model [16].

Pada sisi implementasi praktis, penelitian telah menunjukkan bahwa unit sistem seperti air-handling units (AHU) dapat dilengkapi dengan model deep learning untuk diagnosa kesalahan secara real-time, sehingga meningkatkan efisiensi operasional [17]. Pendekatan lain menunjukkan bahwa integrasi hukum termodinamika ke dalam model pembelajaran dapat meningkatkan keandalan deteksi sensor dan mengurangi alarm palsu [18]. Sementara itu, dalam konteks pendidikan teknis dan pelatihan vokasi, perkembangan media praktikum seperti trainer AC untuk pembelajaran refrigerasi dan pendingin udara mulai banyak dikaji [11]. Meskipun demikian, literatur yang menghubungkan antara trainer AC dengan analisis performa sistem (termasuk efek kesalahan pada evaporator) masih terbatas.

Dengan demikian, meskipun aspek teknis performa evaporator dan aspek FDD telah banyak diteliti secara terpisah, terdapat celah penelitian dalam mengintegrasikan ketiganya: yaitu pengembangan trainer AC yang realistis, penyimulasian kondisi fault pada evaporator, serta pengukuran langsung pengaruhnya terhadap performa sistem (misalnya COP, aliran udara, tekanan refrigeran) [19]. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi gap tersebut dengan merancang dan membangun unit trainer AC yang dilengkapi modul troubleshooting evaporator, serta melakukan pengukuran performa sistem pada kondisi normal dan kondisi fault [20]. Kontribusi yang diharapkan adalah: (i) menyediakan media praktikum yang relevan dengan kebutuhan industri pendingin udara, (ii) menghasilkan data eksperimen kuantitatif yang menunjukkan pengaruh kesalahan evaporator pada performa sistem, dan (iii) merekomendasikan strategi pemeliharaan/troubleshooting yang dapat

meningkatkan efisiensi sistem AC di lapangan [21].

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Desain car air conditioner trainer

Penelitian dilakukan terhadap suatu permasalahan yang ada dengan tujuan untuk menganalisa serta memperoleh hasil tentang data dari sistem bahan bakar tersebut. Penelitian di lakukan dalam rangka untuk mencari dan mengumpulkan data data guna mendapatkan suatu gambaran fakta yang jelas. Penulis menggunakan metode pengumpulan data Studi kepustakaan, metode wawancara, dan observasi.

Lokasi dan Waktu Pelaksanaan

Tempat penelitian di laksanakan disalah satu bengkel yang ada disamarinda. Mesin yang di gunakan untuk pengambilan data penelitian adalah Trainer air conditioner. Waktu pelaksanaan penelitian alat ini di mulai pada bulan Maret 2023. Waktu pelaksanaan penelitian alat ini di mulai pada bulan Maret 2023. Bahan penelitian berupa 1 unit alat trainer sistem air conditioner.

Alat dan Bahan

Alat :

1. gerinda potong
2. gerinda tangan
3. alat las listrik
4. dan alat penunjang lainnya

Bahan :

1. besi hollow 4 cm x 4 cm x 2 cm
2. compresor
3. motor listrik
4. reciver dryer
5. condensor
6. evaporator blower
7. roda
8. expansion valve
9. hose ac
10. refrigerant
11. baterai
12. motor fan
13. v-belt
14. relay
15. fuse
16. alligator clip

Merakit Komponen-Komponen Air Conditioner

Pemasangan atau perakitan sistem Air Conditioner pada rangka yang telah dibuat. Setelah melakukan indentifikasi komponen dan melengkapi semua komponen, maka proses selanjutnya adalah proses pemasangan semua komponen yang telah disiapkan. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

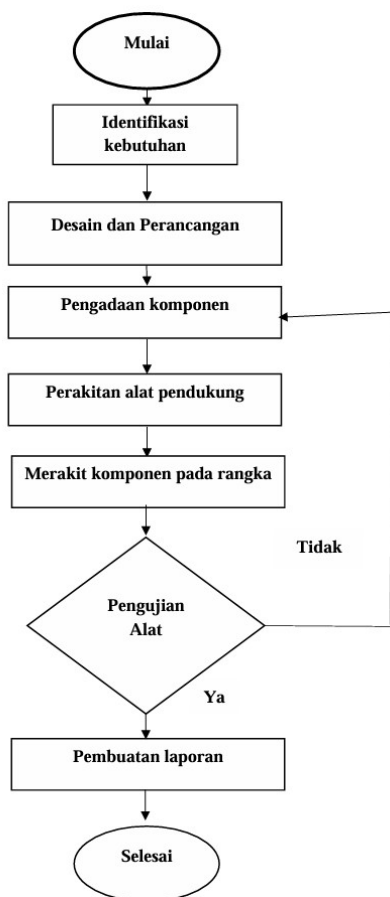
- A. Pemasangan Komponen-Komponen AC
- B. Pemasangan Sistem Kelistrikan *Air Conditioner*

Prosedur penelitian dan Pengambilan Data

Adapun prosedur langkah-langkah yang dilakukan pada proses penelitian dan pengambilan data adalah sebagai berikut :

- 1) Melakukan serangkaian wawancara kepada prang yang ahli dalam bidangnya
- 2) Melakukan pengambilan data spesifikasi
- 3) Mengambil dokumentasi
- 4) Melakukan analisa pada komponen pendingin udara pada mobil
- 5) Melakukan pengolahan data dan konsultasi pembimbing
- 6) Mengambil data variabel
- 7) Melakukan analisis hasil pengolahan data

- 8) Menemukan kesimpulan dan konsultasi hasil kesimpulan



Gambar 2. Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Cara Kerja Trainer AC Trainer AC biasanya bekerja dengan melepaskan panas dari dalam sebuah ruangan melalui proses pendinginan. Berikut adalah langkah-langkah cara kerja trainer AC:

1. Kompresi: Pertama, pendingin dalam sistem (biasanya sebuah refrigeran) dikompresi menggunakan kompresor. Selama proses ini, tekanan dan suhu refrigeran meningkat.
2. Kondensasi: Refrigeran yang telah dikompresi kemudian mengalir ke kondensor, di mana panas yang dihasilkan saat pemampatan akan dilepaskan ke lingkungan. Seiring menurunnya suhu, refrigeran akan berubah menjadi cairan.

3. Ekspansi: Cairan refrigeran kemudian melewati katup ekspansi terkontrol untuk mengolah suhu dan tekanan. Selama proses ini, refrigeran mengubah fase dari cairan menjadi campuran uap-cairan.
4. Evaporasi: Campuran refrigeran yang telah berubah fase kemudian melewati evaporator dan melepaskan panas ke udara dalam ruangan. Selama proses ini, refrigeran mengambil panas yang ada di ruangan dan akhirnya berubah menjadi uap. Hasil Perancangan.

Troubleshooting Evaporator

Troubleshooting evaporator adalah proses untuk mengidentifikasi dan memperbaiki masalah yang mungkin terjadi pada evaporator AC. Beberapa langkah troubleshooting yang umum dilakukan meliputi:

1. Cek suhu udara yang keluar dari ventilasi: Jika suhu udara yang keluar tidak cukup dingin, mungkin ada masalah pada evaporator. Periksa apakah evaporator terlalu kotor atau ada kebocoran pada pipa refrigeran.
2. Periksa siklus kerja: Jika evaporator tidak mengalami siklus pendinginan seperti seharusnya, bisa jadi ada masalah pada kompresor atau katup ekspansi. Cek apakah ada kerusakan pada komponen terkait.
3. Cek suhu di sekitar evaporator: Jika suhu di sekitar evaporator terlalu rendah atau terlalu tinggi, bisa jadi ada masalah pada aliran udara atau aliran refrigeran. Pastikan bahwa evaporator tidak terlalu kotor dan tidak ada hambatan di saluran udara.
4. Periksa kebocoran: Evaporator yang bocor dapat menyebabkan rendahnya tekanan pada sistem AC. Periksa adanya tanda-tanda kebocoran pada pipa refrigeran di sekitar evaporator dan perbaiki jika ditemukan. Tahapan Persiapan

Uji Coba Alat

Setelah dilakukan serangkaian uji coba pada alat peraga sistem AC ini dan

pembenahan dari tiap-tiap komponen sistem AC yang dapat dijelaskan adalah sebagai berikut :

1. Compressor

- Hidupkan ac, tunggu beberapa saat sehingga outdoor mendapat suplai arus listrik
- Pasang tang ampre pada salah satu kabel di komputer, apakah sesuai dengan standarnya.
- Pasang selang manifold warna biru pada pipa low pressure.
- Pasang selang manifold warna merah pada pipa high pressure.
- Manifold warna merah terpasang pada pipa tekanan telah terpasang drat nepel 1/4 (untuk pengecekan kompresor yang berada pada outdoor unit) dengan kran manifold tertutup, jika jarum meter terus bergerak minimal 300 psi pertanda kompresinya dalam keadaan bagus.
- Manifold warna biru terpasang pada pipa hisap, jika jarum meter menunjukkan pada posisi 50 psi-75 psibearti kompresinya dalam keadaan bagus (tergantung banyaknya isi refrigerant)

2. Condenssor

- Lepaskan kondenssor dari sistem.
- Isi angin bertekanan kedalam kondenssor.
- Tutup kedua saluran kondenssor.
- Rendam kondenssor kedalam wadah yang berisi air.
- Pastikan kondenssor terendam sepenuhnya.
- Apabila tidak terdapat gelembung udara dari kondenssor, maka kondenssor dalam keadaan baik dan sebaiknya jika terdapat gelembung udara maka kondenssor dalam keadaan bocor.

3. Expansion valve

- Lepas expansion Valve.
- Panaskan bagian ujung pipa kaliper, apabila lubang expansion valve membuka semakin lebar maka keadaan expansion valve normal dan sebaliknya jika bagian ujung

pipa kaliper didinginkan maka lubang exoansion valve mengecil.

4. Evaporator

- Lepaskan evaporator dari sistem.
- Pisahkan bagian evaporator dari housing .
- Isi angin bertekanan kedalam evaporator.
- Tutup kedua saluran evaporator.
- Rendam evaporator kedalam waah berisi air.
- Pastikan evaporator terendam sepenuhnya.
- Apabila tidak terdapat gelembung udara dari evaporator, maka evaporatpr dalam keadaan baik jika sebaliknya terdapat gelmbung udara maka evaporator dalam keadaan bocor.

Uji Variasi Tekanan Pada Freon

1. Pengujian dilakukan dengan terlebih dahulu mengoprasikan alatkurang lebih dari 10 menit agar engine mencapai suhu kerja terlebih dahulu untuk kestabilan saat pengetesan.
2. Set temprature pada kedinginan suhu maksimal
3. Saat ingin melakukan pengujian dipersiapkan stopwatch, digital laser techometer. Hal ini dilakukan untuk mengetahui waktu untuk mencapai suhu yang diinginkan agar mudah didata saat melakukan pengujian

Tabel 1. Hasil Pengujian pada freon 170 psi dan 62 psi

Putaran (Rpm)	Waktu (second)	Suhu (°C)		Penurunan Suhu	Tekanan (Psi)	
		T1	T2		High	Low
1500	16	31	27	7	170	70
	22	32	26	8	170	70
	33	33	25	9	170	70

Pada putaran 1500 rpm pengujian kinerja pendingin AC dengan variasi waktu 16.00s, 22.00s. 33.00s. dengan tekanan (PSI) rata-rata pada pengujian diatas High presure sebesar 170 PSI dan LOW presure 70 PSI.

waktu pengujian maksimal hanya 33.00 sekon saja, karena kinerja pendinginan pada trainer ini maksimal hanya mendinginkan

maksimal 25oC saja dalam waktu 16.00 sekon dan maksimalnya 33.00 sekon, dan metode ini dipakai pada pengujian pada putaran selanjutnya.



Gambar 3. Kinerja freon pada suhu tertentu

Tabel 2. Hasil pengujian pada freon 150 psi dan 58 psi

Putaran (Rpm)	Waktu (second)	Suhu (°C)		Penurunan Suhu	Tekanan (Psi)	
		T1	T2		High	Low
1500	20	32	29	4	150	58
	35	33	29	5	150	58
	40	34	29	6	150	58

Pada putaran 1500 rpm pengujian kinerja pendinginan AC dengan variasi waktu 20.00s, 35.00s, 40.00s dengan tekanan rata-rata pada pengujian diatas high presure sebesar 150 pso dan low presure 58 psi.



Gambar 4. kinerja freon pada suhu tertentu.

Hubungan antara tekanan freon dengan suhu grafik variasi tekanan pada freon AC mobil dapat menunjukkan hubungan antara tekanan dan suhu refrigerant. Pada umumnya, ketika suhu meningkat, tekanan freon juga akan meningkatm tekanan freon juga akan meningkat, dan sebaliknya hal ini

berkaitan dengan hubungan antara suhu dan tekanan dalam sistem pendingin.

KESIMPULAN

Rancang bangun trainer AC yang efektif melibatkan pemahaman yang mendalam tentang prinsip kerja AC, komponen yang terlibat, dan interaksi antara komponen tersebut. Troubleshooting evaporator pada sistem AC membutuhkan pemahaman yang baik tentang potensi masalah yang mungkin terjadi, teknik pengukuran, dan pengalaman dalam mendiagnosis dan memperbaiki masalah yang muncul.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Sachdeva, A. Jaiswar, P. Anuradha, and V. Jain, "Comparative performance investigation of a dual evaporator cycle using an ejector with the conventional cycle using a pressure reducing valve," *Int. J. Air-Conditioning Refrig.*, vol. 31, no. 1, pp. 1–16, Aug. 2023, doi: 10.1007/s44189-023-00036-6.
- [2] S. Khatoon and M. N. Karimi, "Thermodynamic analysis of two evaporator vapor compression refrigeration system with low GWP refrigerants in automobiles," *Int. J. Air-Conditioning Refrig.* 2023 311, vol. 31, no. 1, pp. 1–17, Jan. 2023, doi: 10.1007/S44189-022-00017-1.
- [3] A. Elmouatamid, B. Fricke, J. Sun, and P. W. T. Pong, "Air Conditioning Systems Fault Detection and Diagnosis-Based Sensing and Data-Driven Approaches," *Energies* 2023, Vol. 16, Page 4721, vol. 16, no. 12, p. 4721, Jun. 2023, doi: 10.3390/EN16124721.
- [4] M. Kumar *et al.*, "Performance evaluation of evaporator coil of a domestic refrigerator under frosting," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, vol. 19, pp. 2746–2754, Jan. 2024, doi:

- 10.1093/IJLCT/CTAE232.
- [5] Y. Song, Q. Ma, T. Zhang, F. Li, and Y. Yu, "Research on Fault Diagnosis Strategy of Air-Conditioning Systems Based on DPCA and Machine Learning," *Process. 2023, Vol. 11, Page 1192*, vol. 11, no. 4, p. 1192, Apr. 2023, doi: 10.3390/PR11041192.
- [6] B. Hartman, D. Mustofa Kamal, F. Zainuri, P. Studi Rekayasa Teknologi Manufaktur, P. Negeri Jakarta, and J. D. GA Siwabessy, "Optimasi Efisiensi Perawatan Air Conditioning Tipe Split dengan Penerapan Pembersih Filter Otomatis Berbasis Condition-Base Maintenance," *Infotekmesin*, vol. 16, no. 1, pp. 99–106, Jan. 2025, doi: 10.35970/INFOTEKMESSIN.V16I1.2513.
- [7] Y. C. Shih, "Numerical study of heat transfer performance on the air side of evaporator for a domestic refrigerator," *Numer. Heat Transf. Part A Appl.*, vol. 44, no. 8, pp. 851–870, 2003, doi: 10.1080/716100526.
- [8] H. Tuo and P. Hrnjak, "Periodic reverse flow and boiling fluctuations in a microchannel evaporator of an R134a mobile air-conditioning system," *SAE Int. J. Mater. Manuf.*, vol. 6, no. 3, pp. 540–548, 2013, doi: 10.4271/2013-01-1500.
- [9] A. A. Krisna, W. Putra, W. Sutarsa, and N. Suparta, "Modifikasi Air Conditioner (AC) Split Inverter Kapasitas 3/4 PK sebagai Trainer Unit," *Indones. J. Lab.*, vol. 1, no. 3, pp. 237–245, Feb. 2024, doi: 10.22146/IJL.V1I3.92615.
- [10] A. Trihartanto and K. Gunawan, "Pembuatan trainer AC split sebagai media praktikum pada Laboratorium Teknik Pendingin Undiksha," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, no. 1, pp. 20–27, 2022.
- [11] F. W. Jurnal Pendidikan Vokasi ; Ningsih, I. A. Darmawan, and M. Fatkhurrokhman, "Development of air conditioner split R32 trainer learning media in cooling and air conditioning engineering courses," *J. Pendidik. Vokasi*, vol. 11, no. 2, pp. 213–222, Nov. 2021, doi: 10.21831/JPV.V11I3.43244.
- [12] A. Rosato, F. Guarino, S. Sibilio, E. Entchev, M. Masullo, and L. Maffei, "Healthy and Faulty Experimental Performance of a Typical HVAC System under Italian Climatic Conditions: Artificial Neural Network-Based Model and Fault Impact Assessment," *Energies 2021, Vol. 14, Page 5362*, vol. 14, no. 17, p. 5362, Aug. 2021, doi: 10.3390/EN14175362.
- [13] T. Dang, T. Nguyen, J. T. Teng, J. H. Lu, and C. N. Ba, "Numerical simulation of heat transfer phenomena in a microchannel evaporator for a transcritical CO₂ air conditioning system," *Int. J. Air-Conditioning Refrig. 2024 321*, vol. 32, no. 1, pp. 1–15, Sep. 2024, doi: 10.1007/S44189-024-00062-Y.
- [14] F. Amir *et al.*, "Performance analysis of heat recovery in Heat Pipe Heat Exchanger on room air conditioning systems," *AIMS Energy 2023 4612*, vol. 11, no. 4, pp. 612–627, 2023, doi: 10.3934/ENERGY.2023031.
- [15] J. Chen, L. Zhang, Y. Li, Y. Shi, X. Gao, and Y. Hu, "A review of computing-based automated fault detection and diagnosis of heating, ventilation and air conditioning systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 161, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.RSER.2022.112395.
- [16] A. Rafati *et al.*, "Association of new-onset seizures with SARS-CoV-2 vaccines: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials," *JAMA Neurol.*, vol. 81, no. 6,

pp. 611–618, 2024.

- [17] K. P. Lee, B. H. Wu, and S. L. Peng, “Deep-learning-based fault detection and diagnosis of air-handling units,” *Build. Environ.*, vol. 157, pp. 24–33, Jun. 2019, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2019.04.029.
- [18] X. Ren, J. Li, F. He, and B. Lucey, “Impact of climate policy uncertainty on traditional energy and green markets: Evidence from time-varying granger tests,” *Renew. Sustain. energy Rev.*, vol. 173, p. 113058, 2023.
- [19] Y. Hu, D. P. Yuill, A. Ebrahimifakhar, and A. Rooholghodos, “An experimental study of the behavior of a high efficiency residential heat pump in cooling mode with common installation faults imposed,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 184, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2020.116116.
- [20] M. Niknami, S. Maniee, A. A. Farokhi Rad, S. Mansoori, and M. Yahaghi, “An experimental study on the effect of room setpoint temperature, and evaporator/condenser fouling on performance of a ductless split type air conditioner,” *Energy Build.*, vol. 322, Nov. 2024, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2024.114671.
- [21] L. Zhang, W. Gou, H. Chen, Y. Li, Y. Xu, and W. Mu, “Experimental studies on performance analysis and cross-equipment parameter comparison of variable refrigerant flow systems under common faults,” *J. Build. Eng.*, vol. 86, p. 108837, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.JOBE.2024.108837.