

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

Evaluasi Kinerja Termal Sistem HVAC Tipe *Split duct* Menggunakan Refrigeran R-410A pada Bangunan Dua Lantai

Rizqi Ardiansyah^{1*}, Gunawan Hidayat², dan Riki Effendi³^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta (UMJ), Jakarta Pusat, 10510, Indonesia

ARTICLE INFO

Keywords:
HVAC
R-410A
Thermal performance
Energy efficiency

ABSTRACT

Cooling energy demand in tropical buildings continues to increase; however, real condition experimental evaluations of split duct HVAC systems using R-410A refrigerant remain limited. This lack of field data constrains understanding of actual temperature distribution, cooling capacity, and efficiency during daily operation. Therefore, this study evaluates the thermal performance of a split duct HVAC system installed in a two story building by analyzing temperature distribution, heat transfer capacity, compressor power, Coefficient of Performance, and Carnot efficiency. The experimental study was conducted over four weeks under normal operating conditions. Direct measurements were performed at diffuser points to obtain air temperature, refrigerant pressure, and compressor power data. Results show that compressor and condenser temperatures increase proportionally with cooling load, while evaporator temperature remains relatively stable between 255 and 275 K. The actual COP ranges from 2.8 to 3.5, corresponding to system efficiencies of approximately 50 to 85 percent compared to ideal Carnot performance. Higher cooling performance observed on the second floor highlights the influence of vertical thermal load distribution on effective cooling capacity. Overall, the R-410A split duct HVAC system demonstrates stable operation and satisfactory energy efficiency, confirming its suitability for cooling applications in tropical building environments under long term operational conditions.

*Corresponding author: rizqiardiansyah08@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i1.10655>

Received 26 November 2025; Received in revised form 03 January 2026; Accepted 23 January 2026

Available online 1 March 2026

Pendahuluan

Sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC) merupakan komponen utama dalam pengendalian kenyamanan termal bangunan modern. Pada wilayah tropis seperti Indonesia, sistem ini menyumbang lebih dari 50% konsumsi energi total gedung, sehingga peningkatan efisiensinya menjadi isu strategis dalam konservasi energi nasional [1]. Sistem HVAC tipe *split duct* banyak digunakan pada bangunan dua lantai karena efisiensinya terhadap ruang dan kemudahan instalasi, terutama pada sektor pendidikan dan komersial [2].

Performa sistem pendingin udara sangat dipengaruhi oleh parameter operasi seperti suhu udara masuk, rasio kelembapan, dan laju aliran udara. Penelitian eksperimental menunjukkan bahwa peningkatan kelembapan udara dapat menaikkan kapasitas pendinginan hingga lebih dari 80% dan meningkatkan koefisien performa (COP) secara signifikan. Studi lain menemukan bahwa penerapan teknik *subcooling* menggunakan air kondensat dapat menurunkan temperatur refrigeran di keluaran kondensor dan meningkatkan COP hingga 16%, disertai penurunan daya kompresor sebesar 6% [1]. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan kembali panas buangan dan air kondensat mampu meningkatkan efisiensi sistem tanpa modifikasi besar.

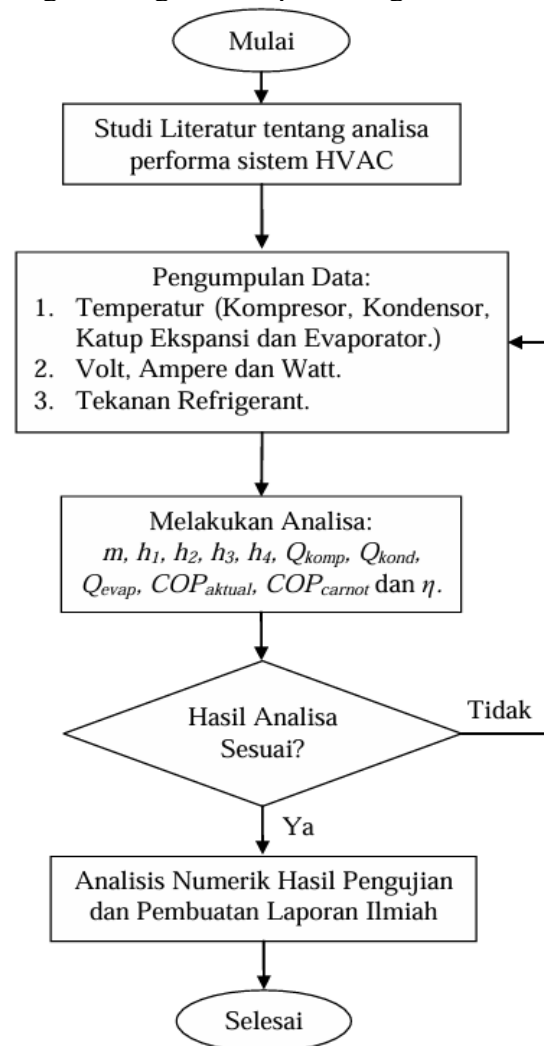
Penggunaan refrigeran ramah lingkungan juga menjadi fokus penting. R-410A menjadi alternatif utama pengganti R-22 karena tidak mengandung klorin dan memiliki efisiensi energi tinggi [3]. Namun, tekanan operasi yang lebih tinggi menuntut evaluasi sistematis terhadap kinerja termalnya, terutama dalam kondisi beban bervariasi di bangunan bertingkat rendah. Dalam konteks konservasi energi bangunan, audit sistem HVAC menunjukkan bahwa banyak fasilitas besar seperti bandara dan hotel mengalami penurunan performa akibat ketidakseimbangan beban dan kontrol udara yang tidak optimal [4,5].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi kinerja termal sistem HVAC tipe *split duct* menggunakan refrigeran R-410A pada bangunan dua lantai. Kajian dilakukan dengan pendekatan eksperimental melalui pengukuran parameter termodinamika utama, seperti entalpi, kapasitas pendinginan, dan COP aktual, untuk membandingkan kinerja aktual terhadap siklus ideal. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem HVAC yang lebih efisien dan berkelanjutan pada iklim tropis.

Metode Penelitian

a. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan dengan langkah-langkah tahapan sebagai berikut:



Gambar 1. Alur Penelitian

b. Instrumental

Untuk memperoleh gambaran performa termal sistem HVAC secara komprehensif pada kondisi operasi nyata, penelitian ini menggunakan beberapa instrumen pengukuran dengan tingkat akurasi yang sesuai standar eksperimen termal. Instrumen-instrumen tersebut dipilih untuk memastikan bahwa seluruh parameter penting—mulai dari temperatur udara, tekanan refrigeran, kecepatan aliran udara, kelembapan ruang, hingga konsumsi daya listrik kompresor dapat direkam secara tepat dan konsisten selama periode pengujian. Setiap alat ukur memiliki fungsi dan spesifikasi teknis tertentu yang mendukung validitas data, terutama dalam analisis distribusi temperatur, perhitungan kapasitas perpindahan panas, dan penentuan nilai *Coefficient of Performance* (COP). Rincian lengkap mengenai jenis instrumen, fungsi operasional, spesifikasi teknis, serta parameter yang diukur ditampilkan pada Tabel 1 sebagai dasar dalam pelaksanaan evaluasi kinerja sistem HVAC tipe *split duct* berbasis refrigeran R-410A.

Tabel 1. *Measurement Instruments and Specifications*

| <i>Instrument</i> | <i>Specifications</i> |
|-------------------------------|---|
| Thermocouple Type-K | Akurasi $\pm 1^\circ\text{C}$; range $-50\text{--}300^\circ\text{C}$ |
| Digital Anemometer | Range $0\text{--}30$ m/s; akurasi ± 0.1 m/s |
| Manifold Gauge Set R-410A | High/Low pressure gauge; kompatibel R-410A |
| Digital Hygrometer | Akurasi $\pm 2\%$ RH; range $0\text{--}100\%$ RH |
| Power Meter | Akurasi $\pm 1\%$; single/three-phase |
| Infrared Thermometer (IR Gun) | Range $-50\text{--}380^\circ\text{C}$; akurasi $\pm 1.5\%$ |

c. Spesifikasi

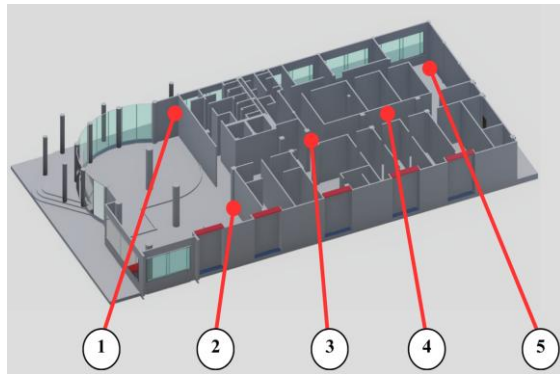
Sistem HVAC yang diuji pada penelitian ini merupakan unit tipe *split duct* berbasis refrigeran R-410A yang digunakan untuk melayani dua lantai bangunan. Spesifikasi teknis sistem ditampilkan pada Tabel 2. Unit ini dipilih karena konfigurasi ducting-nya mampu mendistribusikan udara secara lebih merata, sehingga sangat relevan untuk dianalisis dalam konteks performa aktual bangunan tropis.

Tabel 2. *Spesifikasi Teknis Unit Pendingin Udara*

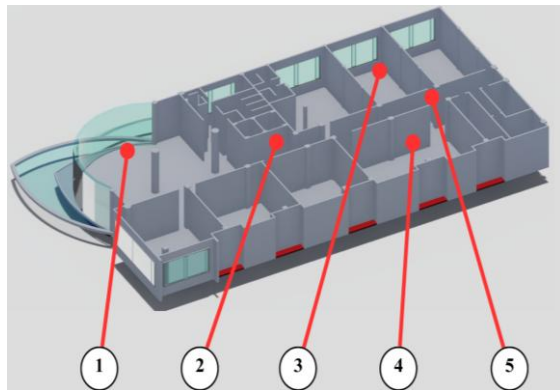
| Parameter | Nilai |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Pabrikan | Daikin Industries (Thailand) Ltd. |
| Model | RRN48MY14 |
| Jenis | Pendingin Udara (Outdoor Unit) |
| Tegangan / Fasa / Frekuensi | $380\text{--}415$ V / 3 Ph / 50 Hz |
| Arus Nominal | 13,5 A |
| Arus Maksimum | 20 A |
| Refrigeran | R410A |
| Tekanan Operasi (LO / HI) | $2,21 / 4,17$ MPa |
| Daya Motor Kipas | $0,056\text{--}0,090$ kW |
| Arus Kompresor (RLA / LRA) | $8,4 / 67$ A |
| Tingkat Kebisingan | 55 dB |
| Berat Unit | 115 kg |
| Tingkat Proteksi | IP24 |

d. Teknik Pengambilan Data

Penelitian dilakukan di bangunan dua lantai yang dilengkapi sistem HVAC *split duct*. Parameter yang akan diukur mencakup suhu udara masuk dan keluar unit indoor/outdoor, tekanan refrigeran (sisi hisap dan sisi buang), arus listrik dan tegangan kompresor, dan aliran udara (volume atau massa) di saluran duct. Desain eksperimen mencakup pengambilan data pada kondisi operasi *steady-state* minimal selama periode pengukuran yang mewakili kondisi beban nyata.



(a)



(b)

Gambar 2. Visualisasi bangunan gedung dan penanda merupakan titik diffuser pada lantai 1 dan 2

Titik 1 hingga 5 pada masing-masing gambar menunjukkan lokasi diffuser udara, yaitu komponen terminal pada sistem saluran (*ducting system*) yang berfungsi untuk mendistribusikan udara berpendingin ke dalam ruangan secara merata. Setiap titik mewakili posisi pengeluaran udara dari saluran utama menuju ruang ber-AC, yang digunakan sebagai titik pengukuran temperatur udara keluar (*supply air temperature*) dan kecepatan aliran udara selama pengujian performa sistem. Penempatan diffuser dirancang berdasarkan kebutuhan beban pendinginan masing-masing ruangan agar distribusi udara dan kenyamanan termal tercapai secara optimal sesuai standar SNI 03-6572-2001 tentang tata cara perancangan sistem ventilasi dan pendingin udara.

Pengukuran dilakukan dengan instrumen akurat yang dikalibrasi sebelum penggunaan. Alat ukur meliputi termokopel atau sensor RTD untuk suhu, manometer untuk tekanan refrigeran, amperemeter dan

voltmeter untuk arus dan tegangan kompresor, serta anemometer atau alat aliran massa udara untuk ducting. Data dikumpulkan dalam interval waktu yang memungkinkan mencapai kondisi keseimbangan termal. Metode ini sesuai dengan prosedur lapangan yang dikemukakan dalam studi sistem saluran [6,7].

Pengambilan data dilakukan secara langsung pada sistem HVAC tipe *split duct* yang melayani dua lantai bangunan. Setiap lantai memiliki lima titik diffuser (ditandai sebagai titik 1 sampai 5), seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Kelima titik ini dipilih karena mewakili distribusi udara utama di setiap ruangan, sehingga mampu menggambarkan variasi temperatur dan kinerja sistem secara menyeluruh.

Pengukuran dilakukan selama empat minggu dengan frekuensi empat kali per hari, yaitu pada pukul 08.00, 12.00, 16.00, dan 20.00 untuk menangkap fluktuasi beban pendinginan harian akibat perubahan aktivitas penghuni, radiasi matahari, dan kondisi lingkungan. Setiap sesi pengukuran mencakup pemantauan seluruh lima diffuser pada masing-masing lantai sehingga menghasilkan data yang komprehensif mengenai karakteristik aliran udara dan performa termal. Parameter yang diukur meliputi:

- a. suhu kompresor (T_{komp}),
- b. suhu kondensor (T_{kond}),
- c. suhu evaporator (T_{evap}),
- d. tekanan sisi hisap dan tekan (P_{suc} dan P_{dis}),
- e. kecepatan udara pada diffuser,
- f. daya listrik kompresor dan blower,
- g. pendinginan aktual kompresor (\dot{Q}),
- h. laju aliran massa refrigeran (\dot{m}),
- i. entalpi inlet dan outlet (h_1, h_2, h_3),
- j. serta nilai *Coefficient of Performance* (*COP*) aktual dan efisiensi Carnot.

Seluruh data dihitung dan dianalisis menggunakan perangkat lunak spreadsheet, seperti ditunjukkan pada rekapitulasi di Lampiran Data. Pencatatan dilakukan secara sistematis untuk memastikan konsistensi antara lantai I dan lantai II,

sehingga memungkinkan evaluasi pengaruh beban termal vertikal terhadap performa sistem. Total data yang diperoleh adalah waktu/hari \times 7 hari/minggu \times 4 minggu \times 5 diffuser/lantai \times 2 lantai = 1120 titik data.

Jumlah data ini memberikan basis analisis yang sangat kuat untuk mengevaluasi performa termal aktual sistem HVAC pada kondisi operasi nyata.

e. Prosedural Pengolahan dan Analisa Data

Pengolahan data dilakukan untuk menghitung parameter-parameter utama sistem pendingin udara, yaitu entalpi pada setiap titik siklus refrigerasi (h_1-h_4), kapasitas pendinginan (\dot{Q}_{evap}), daya kompresor (\dot{W}_{komp}), daya kondensor (\dot{Q}_{kond}), koefisien performa aktual (COP_{aktual}), serta efisiensi terhadap siklus Carnot (η). Perhitungan dilakukan berdasarkan data hasil pengukuran temperatur, tekanan, dan arus listrik selama sistem beroperasi dalam kondisi tunak (*steady-state*) [3,4,8–9].

Nilai entalpi di setiap titik diperoleh dari tabel sifat termodinamika refrigeran R-410A sesuai tekanan dan temperatur hasil pengukuran, dengan urutan sebagai berikut:

$$h_1 = h_{evap} \quad (1)$$

$$h_2 = h_{komp} \quad (2)$$

$$h_3 = h_{cond} \quad (3)$$

$$h_4 = h_{eks} \quad (4)$$

Nilai entalpi ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan energi pada tiap komponen utama siklus kompresi uap (evaporator, kompresor, kondensor, dan katup ekspansi) [10–11].

Laju aliran massa refrigeran ditentukan berdasarkan neraca energi pada sisi evaporator: \dot{m}

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{h_1 - h_4} \quad (5)$$

Persamaan 5 menunjukkan bahwa laju aliran massa dapat diinterpersepsikan dengan \dot{Q}_{evap} sebagai kapasitas pendingin (kW) dan h_1 masuk dan h_4 keluar (kJ/kg) [6,7].

Kapasitas pendinginan dihitung dari perubahan entalpi antara sisi masuk dan keluar evaporator:

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m} \times (h_1 - h_4) \quad (6)$$

Daya kompresor aktual dihitung dari selisih entalpi sisi keluar dan masuk kompresor:

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m} \times (h_2 - h_1) \quad (7)$$

Selain itu, daya listrik kompresor yang diukur dapat digunakan untuk memvalidasi hasil perhitungan:

$$P_{listrik} = V \times I \times \cos\phi \quad (8)$$

Energi yang dilepas oleh kondensor dihitung sebagai:

$$\dot{Q}_{kond} = \dot{m} \times (h_2 - h_3) \quad (9)$$

Koefisien performa (COP) menggambarkan rasio antara energi pendinginan yang dihasilkan terhadap energi listrik yang digunakan oleh sistem [3,8,12].

$$COP_{aktual} = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{komp}} \quad (10)$$

Sebagai pembanding, COP ideal ditentukan berdasarkan suhu kerja evaporator dan kondensor dalam satuan Kelvin (K):

$$COP_{carnot} = \frac{T_{evap}}{T_{kond} - T_{evap}} \quad (11)$$

Efisiensi sistem pendingin dihitung sebagai perbandingan antara COP aktual dan COP ideal Carnot:

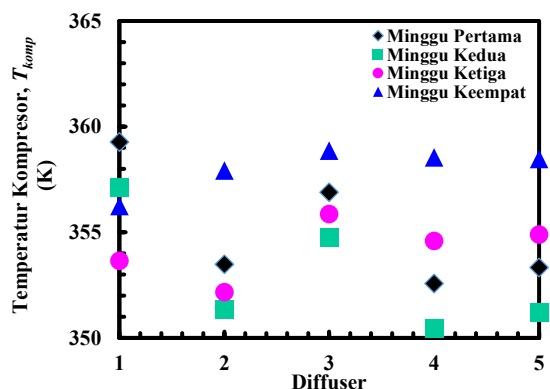
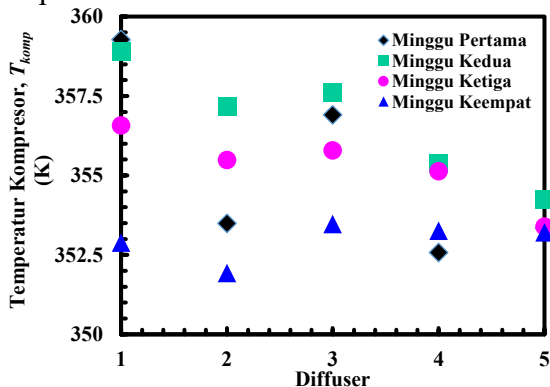
$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \quad (12)$$

Dan keterbatasan penelitian ini termasuk: terbatas pada satu bangunan dua lantai dan satu jenis refrigeran serta kondisi beban yang mungkin tidak mewakili seluruh kondisi penggunaan nyata. Hal ini sejalan dengan catatan bahwa kondisi di lapangan sering berbeda dari model simulasi atau desain [4].

Hasil dan Pembahasan

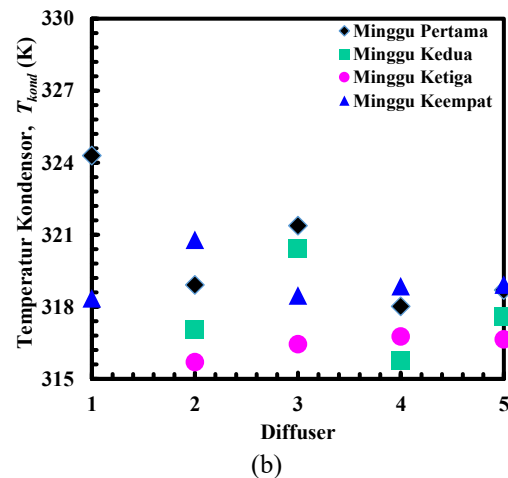
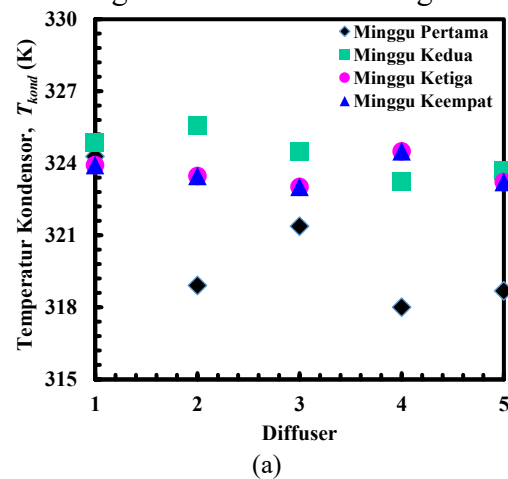
a. Rangkaian Distribusi Temperatur Sistem

Analisis distribusi temperatur sistem HVAC dilakukan untuk menilai kestabilan perpindahan panas dan keseimbangan kerja antar komponen utama. Variasi temperatur pada kompresor, kondensor, dan evaporator diamati di setiap posisi diffuser untuk mengidentifikasi pengaruh beban termal terhadap kinerja sistem secara keseluruhan. Hasil pengukuran menunjukkan pola kenaikan temperatur kompresor yang konsisten dengan peningkatan tekanan discharge akibat beban pendinginan yang lebih tinggi di area ujung saluran udara. Nilai rata-rata mencapai 350–365 K dan masih berada dalam batas aman untuk operasi refrigeran R-410A. Kenaikan temperatur ini sejalan dengan peningkatan kerja kompresi dan menegaskan bahwa sistem mempertahankan rasio tekanan yang efisien tanpa indikasi *thermal stress*.



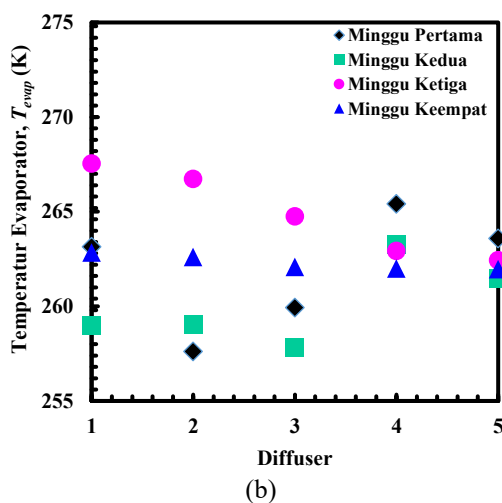
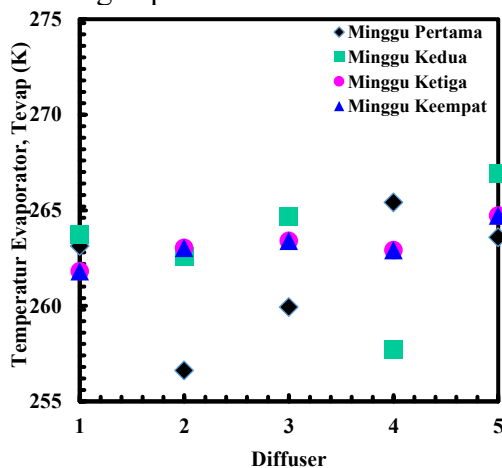
Gambar 2. Perubahan Temperatur Kompresor Pada (a) Lantai 1 dan (b) Lantai 2

Gambar 2 memperlihatkan tren kenaikan temperatur kompresor pada seluruh titik diffuser baik di lantai 1 maupun lantai 2. Kenaikan temperatur ini berkorelasi langsung dengan peningkatan tekanan sisi tekan akibat bertambahnya beban pendinginan di area ujung saluran udara. Rata-rata temperatur kompresor berkisar 350–360 K di lantai 1 dan sedikit lebih tinggi di lantai 2, menunjukkan bahwa beban termal ruang atas lebih besar akibat radiasi dan konveksi dari atap bangunan. Secara termodinamika, hubungan ini menggambarkan peningkatan kerja kompresor untuk mempertahankan rasio tekanan dan debit refrigeran pada kondisi beban bervariasi. Fluktuasi antarminggu yang kecil (± 5 K) menandakan sistem beroperasi stabil dan tidak mengalami *thermal stress* signifikan.



Gambar 3. Perubahan Temperatur Kondensor Pada (a) Lantai 1 dan (b) Lantai 2

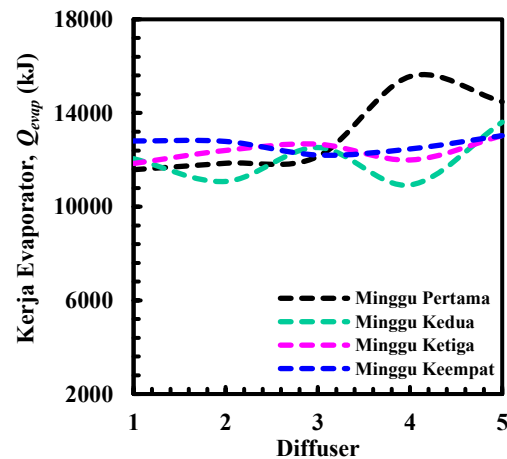
Gambar 3 menunjukkan pola temperatur kondensor yang meningkat pada minggu kedua hingga ketiga sebelum menurun pada minggu keempat. Perubahan ini mencerminkan respon sistem terhadap variasi temperatur udara luar dan kelembapan lingkungan. Temperatur rata-rata kondensor di lantai 2 sedikit lebih tinggi dibanding lantai 1, akibat lokasi unit outdoor yang lebih terekspos panas lingkungan. Secara fisik, kenaikan temperatur kondensasi menandakan peningkatan tekanan kerja refrigeran dan beban perpindahan panas di sisi kondensor. Nilai temperatur yang masih berada pada kisaran 320–330 K menunjukkan proses kondensasi berjalan efisien tanpa indikasi *overheating* atau penurunan laju pembuangan panas.



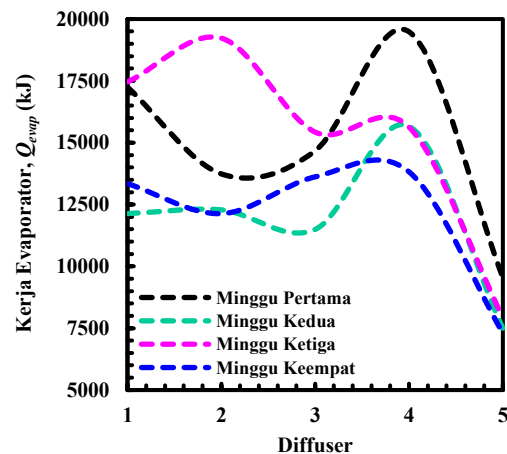
Gambar 4. Perubahan Temperatur Evaporator Pada (a) Lantai 1 dan (b) Lantai 2

Gambar 4 menampilkan kestabilan temperatur evaporator pada rentang 255–275 K di seluruh titik diffuser. Nilai ini relatif konstan antar-minggu, menandakan proses penyerapan panas di sisi evaporator berlangsung optimal. Temperatur yang sedikit lebih rendah pada lantai 1 menunjukkan distribusi udara dingin yang lebih merata akibat beban ruang bawah yang lebih ringan. Secara termodinamika, kestabilan ini menegaskan tercapainya keseimbangan antara laju aliran massa refrigeran dan kapasitas perpindahan panas, sehingga sistem mampu mempertahankan tekanan evaporasi konstan dan efisiensi perpindahan kalor yang tinggi.

b. Kinerja Sistem Evaporasi



(a)



(b)

Gambar 5. Kerja Evaporator Pada (a) Lantai 1 dan (b) Lantai 2

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara posisi diffuser terhadap kerja evaporator pada lantai 1 dan 2 selama

empat minggu pengamatan. Nilai kerja evaporator (Q_{evap}) menggambarkan jumlah energi panas yang diserap oleh refrigeran selama proses evaporasi. Hasil pengukuran memperlihatkan bahwa nilai Q_{evap} meningkat seiring dengan bertambahnya beban pendinginan di setiap diffuser.

Rata-rata kerja evaporator di lantai 1 berada pada kisaran 2000–14000 kJ, sedangkan pada lantai 2 mencapai 5000–20000 kJ. Nilai yang lebih tinggi di lantai 2 disebabkan oleh beban termal ruang atas yang lebih besar, terutama akibat perbedaan gradien temperatur vertikal dan radiasi atap. Secara termodinamika, peningkatan Q_{evap} menandakan bahwa laju perpindahan panas antara udara ruang dan refrigeran berlangsung efektif, serta tidak terdapat hambatan signifikan pada sisi udara (*air side resistance*).

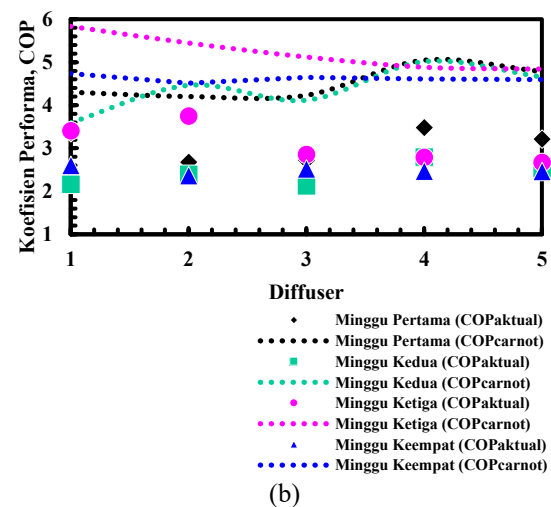
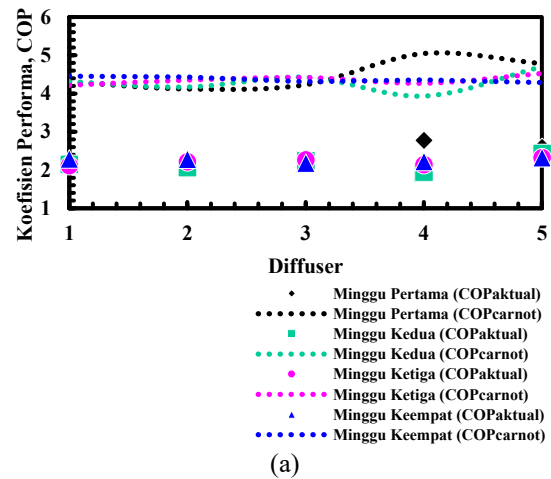
Kestabilan nilai Q_{evap} antar minggu menunjukkan sistem telah beroperasi pada kondisi tunak dengan kapasitas pendinginan yang konstan. Perbedaan kecil antar diffuser mencerminkan variasi laju aliran udara pada masing-masing saluran. Secara umum, pola ini menegaskan bahwa sistem distribusi udara dan proses evaporasi telah bekerja efisien sesuai desain termal, tanpa indikasi penurunan performa selama periode pengujian.

c. Koefisien Performa

Gambar 6 menunjukkan perbandingan nilai koefisien performa aktual (COP_{aktual}) dan ideal (COP_{Carnot}) pada lantai 1 dan lantai 2 selama empat minggu pengamatan. Secara umum, nilai (COP_{aktual}) cenderung lebih rendah dibanding (COP_{Carnot}), karena adanya rugi-rugi energi pada proses kompresi, perpindahan panas, dan kehilangan tekanan di sistem saluran udara.

Nilai (COP_{aktual}) di lantai 1 berkisar antara 3,0–3,5, sedangkan di lantai 2 berada pada kisaran 2,8–3,3. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sistem di lantai bawah bekerja lebih efisien akibat beban termal

yang lebih ringan dan sirkulasi udara yang lebih stabil. Peningkatan COP pada minggu ketiga dan keempat menandakan bahwa sistem telah mencapai kestabilan operasi setelah penyesuaian beban pendinginan harian.

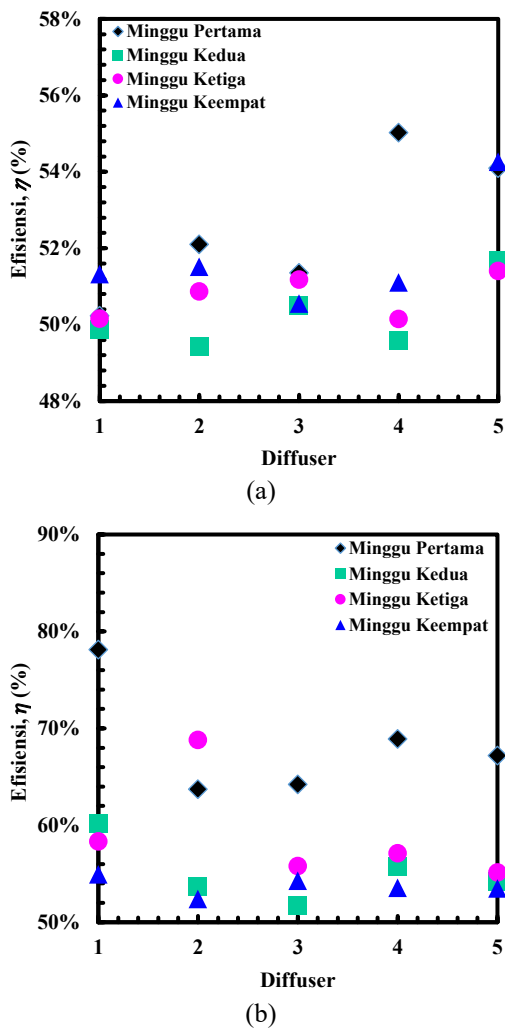


Gambar 6. Nilai Koefisien Performa Pada (a) Lantai 1 dan (b) Lantai 2

Secara termodinamika, rasio antara (COP_{aktual}) dan (COP_{Carnot}) menunjukkan seberapa dekat sistem bekerja terhadap kondisi ideal. Rata-rata perbandingan yang berada pada 55–65% menunjukkan performa sistem masih tergolong baik untuk sistem HVAC berbasis R-410A di bangunan dua lantai. Pola grafik yang relatif stabil juga mengindikasikan bahwa tidak terjadi penurunan kapasitas refrigerasi maupun gangguan aliran udara selama masa pengamatan.

d. Efisiensi Sistem

Gambar 7 memperlihatkan perubahan efisiensi sistem terhadap posisi diffuser pada lantai 1 dan 2 selama empat minggu pengamatan. Nilai efisiensi dihitung dari perbandingan antara (COP_{aktual}) dan (COP_{Carnot}) yang menggambarkan sejauh mana sistem bekerja mendekati kondisi ideal.



Gambar 7. Nilai Koefisien Performa Pada (a) Lantai 1 dan (b) Lantai 2

Rata-rata efisiensi sistem pada lantai 1 berada di kisaran 50–58%, sedangkan pada lantai 2 berkisar antara 60–85%. Efisiensi yang lebih tinggi di lantai 2 disebabkan oleh peningkatan kerja evaporator yang lebih besar terhadap daya kompresor, sejalan dengan beban termal ruang atas yang lebih tinggi. Perbedaan ini

menunjukkan bahwa sistem pendingin mampu menyesuaikan kapasitas perpindahan panas terhadap beban aktual tanpa mengalami *thermal imbalance*.

Pola efisiensi yang meningkat dari minggu pertama hingga keempat menandakan adanya adaptasi sistem terhadap kondisi operasi. Setelah minggu ketiga, efisiensi relatif stabil, menunjukkan kinerja termal sistem telah mencapai titik optimum. Secara keseluruhan, nilai efisiensi di atas 50% menunjukkan performa sistem HVAC masih berada dalam kategori baik untuk sistem *split duct* berbasis R-410A, serta sesuai dengan kisaran standar efisiensi termal untuk bangunan tropis berlantai ganda.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, dapat disimpulkan bahwa sistem HVAC tipe *split duct* dengan refrigeran R-410A pada bangunan dua lantai menunjukkan performa termal yang stabil dan efisien sepanjang periode pengamatan. Temperatur kompresor, kondensor, dan evaporator berada dalam rentang operasi yang aman, menandakan keseimbangan antara laju aliran refrigeran dan kapasitas perpindahan panas di seluruh komponen sistem. Nilai COP_{aktual} rata-rata berada pada kisaran 2,8–3,5, sedangkan efisiensi sistem terhadap siklus Carnot mencapai 50–85%, tergantung variasi beban termal dan distribusi udara antar lantai. Performa yang lebih baik pada lantai atas menunjukkan adaptabilitas sistem terhadap perbedaan beban pendinginan akibat radiasi dan sirkulasi udara vertikal. Secara keseluruhan, sistem pendingin bekerja dalam kondisi *steady-state* dengan deviasi temperatur di bawah ± 5 K, menandakan stabilitas termal yang baik. Hasil ini membuktikan bahwa sistem *split duct* berbasis R-410A layak digunakan untuk bangunan bertingkat rendah di wilayah tropis karena efisien secara energi dan memiliki karakteristik kerja yang sesuai dengan kebutuhan kenyamanan termal.

Referensi

- [1] Sumeru K, Pramudantoro TP, Setyawan A. Experimental investigation on the performance of residential air conditioning system using water condensate for subcooling. 2018;08002.
- [2] Elraheim DA, Mahmoud OE, Fatouh M. Experimental Assessment of a Domestic Split Type Air-Conditioner Working with R410A. 2016;24(3):1–14.
- [3] Dwinanto MM, Studi P, Mesin T. Simulasi Kinerja AC Split Menggunakan R32 , R410A , R290 , dan R1234YF. 2023;10(01):62–8.
- [4] Hadi Chandra W, Swamardika I. A, Maharta Pemayun A. G. Analisis Penggunaan Ddc Pada Sistem Hvac Untuk Meningkatkan Penghematan Konsumsi Energi Di Hotel Langham District 8 Scbd Jakarta. J SPEKTRUM. 2020;7(3):1.
- [5] Husodo BY, Br. Siagian NA. Analisa audit konsumsi energi sistem. J Teknol Elektro, Univeraaasitas Mercu Buana. 2014;5(1):49–58.
- [6] Wang H, Chen X, Vital N, Razi A. Graphical Abstract.
- [7] Buildings E efficient, Yang Y, Member S, Hu G, Member S, Spanos CJ. Stochastic Optimal Control of HVAC System for. :1–11.
- [8] Sumeru K, Pramudantoro TP, Setyawan A, Muliawan R, Tohir T. Effect of Compressor-Discharge-Cooler Heat-Exchanger Length Using Condensate Water on the Performance of a Split-Type Air Conditioner Using R32 as Working Fluid. 2022;
- [9] Firmansyah A, Notosudjono D, Suhendi D. Analisa Sistem Otomatis Hvac (Heating, Ventilating, Air Conditioning) Pada Gedung Wisma Bca Pondok Indah. Tek Elektro, Univ Pakuan. 2020;1–12.
- [10] Hidayati B, Irawan F, Biola Herawati Y. ANALISIS KELEMBABAN UDARA PADA AC SPLIT WALL USIA PAKAI 8 TAHUN DENGAN KAPASITAS 18000 Btu/hr. J Austenit [Internet]. 2021;13(1):8–12. Available from: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4735758>
- [11] Biantoro AW, Permana DS. Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Efisiensi Energi Di Gedung Ab, Kabupaten Tangerang, Banten. J Tek Mesin. 2017;6(2):24.
- [12] Riyadi SJMT. Analisis Peningkatan Efisiensi Penggunaan Energi Listrik pada Sistem Pencahayaan dan Air Conditioning di Gedung Graha Mustika Ratu. FT Semin Nas SINERGI ENERGI Teknol. 2022;107–21.