

# Pengaruh Perubahan Temperatur Udara Luar Pada Kinerja Pengkondisi Udara *Direct Expansion System*

Akmal Fadhillah Muslim<sup>1</sup>, Sumeru<sup>1</sup>, Nani Yuningsih<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : akmal.fadhillah.tptu22@polban.ac.id

E-mail : sumeru@polban.ac.id

E-mail : nani.yuningsih@polban.ac.id

## ABSTRAK

Kondisi udara luar, khususnya temperatur, merupakan faktor penting yang berperan besar terhadap performa sistem pengkondisian udara pada sebuah bangunan. Fluktuasi temperatur udara luar dapat mempengaruhi beban pendinginan dan konsumsi energi sistem HVAC, khususnya pada sistem *Direct Expansion (DX)* yang umum digunakan dalam *Air Handling Unit (AHU)*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan temperatur udara luar terhadap kinerja AHU DX. Metode pengambilan data mencakup pengukuran temperatur udara luar, temperatur dan tekanan refrigeran, temperatur *supply air*, konsumsi daya listrik, dan perhitungan *Coefficient of Performance (COP)*. Pengambilan data dilakukan pada pagi, siang, dan sore hari. Hasil menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan sistem menurun sebesar 1.274 kW dalam rentang temperatur udara luar dari 26.25°C hingga 29.29°C, atau setara dengan penurunan rata-rata 0.42 kW per 1°C. Setelah melewati temperatur tersebut, kapasitas pendinginan cenderung stabil pada kisaran 30.010 kW. Daya input sistem meningkat sebesar 0.975 kW dalam rentang temperatur 26.25°C hingga 31.61°C, setara dengan rata-rata kenaikan 0.182 kW per 1°C. COP actual mengalami penurunan total sebesar 0.29 dalam rentang temperatur tersebut, atau setara penurunan rata-rata 0.05 per 1°C kenaikan temperatur luar. Penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur udara luar berpengaruh signifikan terhadap kapasitas pendinginan, konsumsi daya, dan COP AHU DX.

### Kata Kunci

*Air Handling Unit, Direct Expansion, temperatur udara luar, Kapasitas Pendinginan, Coefficient of Performance*

*Outdoor air conditions, particularly temperature, are important factors that significantly influence the performance of air conditioning systems in buildings. Fluctuations in outdoor temperature can increase the cooling load and energy consumption of HVAC systems, especially in Direct Expansion (DX) systems commonly used in Air Handling Units (AHU). This study aims to analyze the impact of outdoor temperature changes on the performance of DX-type AHUs. The data collection involved measuring outdoor air temperature, refrigerant temperature and pressure, supply air temperature, electrical power consumption, and calculating the Coefficient of Performance (COP). Measurements were taken in the morning, noon, and afternoon. The results showed that the cooling capacity decreased by 1.274 kW as outdoor temperature rose from 26.25°C to 29.29°C, with an average reduction of 0.44 kW per 1°C. Beyond this range, the cooling capacity stabilized around 30.010 kW. The system's power input increased by 0.975 kW within the temperature range of 26.25°C to 31.61°C, equivalent to an average increase of 0.182 kW per 1°C. The actual COP declined by a total of 0.29 over the same range, averaging a decrease of 0.05 per 1°C rise in outdoor temperature. These findings indicate that outdoor temperature has a significant effect on the cooling capacity, energy consumption, and Coefficient of Performance DX AHU systems.*

### Keywords

*Air Handling Unit, Direct Expansion, Outdoor Air Temperature, Cooling Capacity, Coefficient of Performance*

## 1. PENDAHULUAN

Temperatur udara luar merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi beban pendinginan dan konsumsi energi pada sistem HVAC pada sebuah bangunan. Fluktuasi temperatur, baik harian maupun musiman, menyebabkan sistem pendingin bekerja lebih keras untuk menjaga kenyamanan termal di dalam ruangan. Studi sebelumnya menunjukkan adanya korelasi positif antara kenaikan temperatur luar dengan peningkatan konsumsi energi, terutama selama periode gelombang panas (1) (2).

Salah satu komponen utama dalam sistem HVAC adalah *Air Handling Unit (AHU)*. AHU berfungsi memproses dan mendistribusikan udara ke dalam ruangan melalui mekanisme pengaturan temperatur, kelembaban, dan aliran udara. Jenis AHU yang umum digunakan adalah sistem *Direct Expansion (DX)*, dimana refrigeran disirkulasikan langsung ke dalam koil pendingin atau pemanas. Sistem DX ini tidak memerlukan air pendingin eksternal dan memiliki desain yang lebih sederhana serta efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan sistem berbasis air (3) (4).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perubahan temperatur udara luar terhadap kinerja sistem AHU tipe DX. Fokus utama penelitian adalah pada parameter temperatur luar, kapasitas pendinginan, dan konsumsi daya listrik. Studi dilakukan dengan menggunakan unit AHU DX berkapasitas 15 PK di Laboratorium Tata Udara Politeknik Negeri Bandung. Sistem dioperasikan dengan konfigurasi 100% fresh air, dan data diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan dengan berbagai alat ukur digital. Pengamatan dilakukan dalam tiga rentang waktu berbeda, dengan rentang temperatur udara luar antara 26.25°C hingga 31.61°C

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

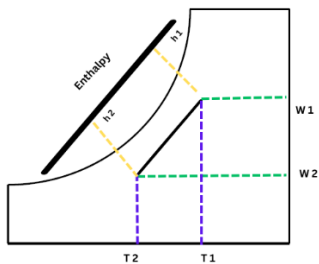
### 2.1 Komponen Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi kompresi uap merupakan sistem pendingin yang umum digunakan dalam industri tata udara. Sistem ini terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondenser, alat ekspansi, dan evaporator, yang membentuk suatu siklus tertutup. Kompresor berfungsi meningkatkan tekanan refrigeran dari tekanan rendah di evaporator menjadi tekanan tinggi sebelum masuk kondenser. Di dalam kondenser, refrigeran melepaskan panas dan mengalami perubahan fasa dari uap menjadi cair. Selanjutnya, alat ekspansi menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran, yang kemudian memasuki evaporator untuk menyerap panas dari lingkungan dan menghasilkan efek pendinginan (5) (6).

## 2.2 Kinerja Sistem

### 2.2.1 Kapasitas Pendinginan

Kalor pada udara yang berubah selama proses pemanasan atau pendinginan dalam sistem HVAC dihitung menggunakan perubahan nilai entalpi, yaitu gabungan energi panas sensibel dan laten (7). Proses ini terjadi ketika udara melewati cooling coil yang temperaturnya lebih rendah dibandingkan temperatur udara. Untuk perhitungan kapasitas pendinginan dari sisi udara menggunakan karta psikrometrik. Secara umum, jika udara terjadi cooling atau heating dari kondisi 1 ke kondisi 2 seperti pada Gambar 1, maka berlaku persamaan 1.



Gambar 1. Entalpi dari kondisi 1 ke kondisi 2

$$Q_e = \dot{m} \times \Delta h \quad (1)$$

Keterangan:

$Q_e$  = Kapasitas pendinginan [kW]

$\dot{m}$  = Laju aliran massa udara kering (Dry air) [kg<sub>da</sub>/s]  
 $\Delta h$  = Perbedaan entalpi udara dari kondisi 1 ke kondisi 2 [kJ/kg<sub>da</sub>]

Besar laju aliran massa udara seperti pada persamaan (2):

$$\dot{m} = \rho \times V \times A \quad (2)$$

Keterangan:

$\rho$  = massa jenis udara kering (Dry air) [kg<sub>da</sub>/m<sup>3</sup>]  
 $V$  = kecepatan udara [m/s]  
 $A$  = luas penampang area ducting [m<sup>2</sup>]

### 2.2.2 Daya Input

Daya input pada umumnya berasal dari energi listrik yang digunakan untuk menjalankan suatu alat atau mesin. Untuk mendapatkan kebutuhan daya yang digunakan kompresor dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (3)$$

Keterangan:

$\sqrt{3}$  = Konstanta sistem listrik tiga fasa  
 $P$  = daya listrik [W]  
 $V$  = tegangan listrik [V]  
 $I$  = arus listrik [A]  
 $\cos \varphi$  = Faktor Daya

## 2.2 COP<sub>actual</sub> atau COP sebenarnya

COP<sub>actual</sub> adalah perbandingan efek refrigerasi terhadap kerja kompresi. COP<sub>actual</sub> merupakan nilai suatu prestasi aktual yang dimiliki mesin refrigerasi dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

$$COP_a = \frac{q_e}{q_w} \quad (4)$$

Keterangan:

$COP_a$  = Coefficient of Performance actual

$q_e$  = Efek refrigerasi [kJ/kg]

$q_w$  = Besarnya kerja kompresi yang dilakukan [kJ/kg]

## 2.3 Air Handling Unit

Air Handling Unit (AHU) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem HVAC yang berfungsi sebagai pusat pengolahan udara sebelum didistribusikan ke dalam ruang. AHU dirancang untuk mengatur temperatur, kelembapan, dan kebersihan udara dengan bantuan komponen seperti filter, kipas, damper, serta koil pemanas dan pendingin. Sistem AHU tipe *Direct Expansion* (DX) menggunakan refrigeran yang bersirkulasi langsung ke dalam koil, sehingga proses pendinginan berlangsung lebih efisien tanpa memerlukan media air pendingin tambahan. Efisiensi dan kesederhanaan desain ini menjadikan AHU DX banyak digunakan dalam sistem tata udara modern (8) (9).

### 3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh perubahan temperatur udara luar terhadap kinerja sistem *Air Handling Unit* (AHU) tipe *Direct Expansion* (DX). Objek penelitian adalah unit AHU DX berkapasitas 15 PK yang terpasang di Laboratorium Tata Udara Politeknik Negeri Bandung. Unit ini beroperasi dengan konfigurasi damper 100% fresh air, sehingga seluruh udara yang masuk berasal dari lingkungan luar.

Pengambilan data dilakukan secara eksperimen langsung di lapangan. Parameter yang diamati meliputi temperatur udara luar, temperatur dan tekanan refrigeran, temperatur *supply air*, arus, dan tegangan listrik, serta kecepatan aliran udara pada saluran suplai. Data dikumpulkan pada tiga periode waktu yaitu pagi, siang, dan sore.

Instrumen yang digunakan meliputi thermocouple Type K, termometer digital, manometer digital, tabung pitot, dan tang ampere. Thermocouple dan termometer digunakan untuk mengukur temperatur udara dan refrigeran, manometer dan tabung pitot untuk mengukur tekanan dan kecepatan udara, serta tang ampere untuk mengukur konsumsi daya listrik.

Data temperatur dan kecepatan aliran udara digunakan untuk menghitung kapasitas pendinginan berdasarkan perubahan entalpi udara yang diperoleh melalui analisis psikrometrik. Sementara itu, data tekanan dan temperatur refrigeran digunakan untuk menentukan entalpi refrigeran melalui perangkat lunak *Coolpack*. Dari nilai entalpi tersebut, COP aktual dihitung berdasarkan rasio antara kalor yang diserap di evaporator dengan kerja kompresi kompresor.

Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk melihat kecenderungan hubungan antara temperatur udara luar dengan kapasitas pendinginan, daya input, dan COP sistem.

#### 3.2 Instrumen Penelitian

Instrumentasi penelitian yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Instrumen penelitian

No	Alat	Fungsi utama
1	Thermocouple Type K dan Termometer digital	Mengukur temperatur dry bulb dan wet bulb pada mixing air, supply air, dan sistem DX.
4	Manometer Digital & Tabung Pitot	Tabung pitot bersama manometer digunakan untuk mengukur tekanan statik dan total, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung kecepatan aliran udara dalam ducting.
5	Tang Ampere	Digunakan untuk mengukur konsumsi arus listrik sistem DX selama operasi. Data arus listrik yang

diperoleh digunakan untuk menghitung daya listrik aktual yang dikonsumsi selama pengambilan data berlangsung.

#### 3.2 Prosedur Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan data operasional sistem pengondisi udara *Direct Expansion* (DX) pada berbagai rentang waktu. Data digunakan untuk mengevaluasi parameter kinerja seperti temperatur *supply*, tekanan dan temperatur refrigeran, konsumsi daya listrik, serta perhitungan *cooling capacity* dan *Coefficient of Performance* (COP). Berikut adalah langkah-langkah pelaksanaan pengambilan data:

1. Melakukan identifikasi dan penentuan titik-titik pengukuran yang relevan, antara lain pada *fresh air*, *return air*, *supply air*, sebelum dan sesudah evaporator *coil*, serta titik pengukuran refrigeran.
2. Melakukan pemeriksaan dan kalibrasi alat ukur yang akan digunakan, seperti termometer, *thermocouple*, manometer, tabung pitot, dan tang *ampere*, untuk memastikan akurasi pengukuran.
3. Menempatkan alat ukur sesuai dengan titik pengamatan yang telah ditentukan, baik pada jalur udara maupun pada sistem.
4. Menghidupkan sistem AHU *Direct Expansion* dan mengatur bukaan damper 100% *fresh air*.
5. Melakukan pengamatan temperatur udara luar secara visual serta mencatat temperatur udara luar.
6. Melakukan pencatatan data secara berkala setiap 30 menit sekali mulai dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB pada tiga periode waktu (pagi, siang, sore), yang dilakukan pada beberapa hari.
7. Melakukan pengukuran kecepatan udara pada *ducting supply* menggunakan tabung pitot dan manometer pada lima titik vertikal (atas hingga bawah) untuk mendapatkan distribusi dan rata-rata kecepatan aliran udara.
8. Melakukan pembacaan arus listrik menggunakan tang *ampere* secara berkala untuk mengetahui konsumsi daya listrik sistem.
9. Melakukan pengamatan tekanan dan temperatur refrigeran dari titik ukur yang telah ditentukan pada sistem AHU DX.
10. Melakukan proses pengolahan dan analisis data.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

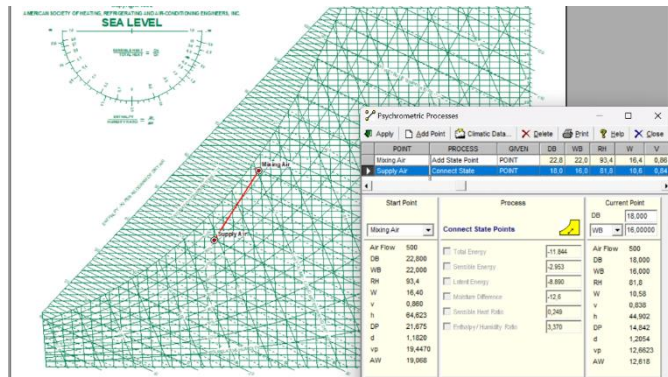
#### 4.1 Data pada *Air Handling Unit*

Berdasarkan Parameter Yang Ada Di Tabel 2. Kemudian Diplotkan Menggunakan Software Psychrometric Analysis Dengan Parameter Sebagai Berikut:

Temperatur Udara Luar 26.25  
 Tdb Mixing Air : 22.8 °C  
 Twb Mixing Air : 22.0 °C  
 Entalpi Mixing Air : 64.62 Kj/Kg  
 Tdb Supply Air : 18.0 °C  
 Twb Supply Air : 16.0 °C  
 Entalpi Supply Air : 45 Kj/Kg

Tabel 2. Data pengukuran Air Handling Unit

Mixing Air		Supply Air		Kecepatan aliran udara supply (m/s)
TDB (°C)	TWB (°C)	TDB (°C)	TWB (°C)	
22.8	22	18	16	5.02
23.6	22	18.8	16.8	5.02
25.4	23	19	17.4	5.02
25.1	22.7	19.4	17.2	5.02
26	23.8	20.8	18.5	5.02
26.2	24.2	21	18.6	5.02



Gambar 6. Plotting psychrometric

Berdasarkan hasil plot menggunakan *software psychrometric analysis* diperoleh nilai entalpi dari *mixing air* dan *supply air*. Data entalpi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data entalpi

Temperatur Udara Luar (°C)	26.25	27.73	28.98	29.29	30.36	31.61
Entalpi <i>Mixing air</i> (kJ/kg)	64.62	66	71	67.19	71.48	71.8
Entalpi <i>supply air</i> (kJ/kg)	45	47	52	48.4	52.5	52.8

Setelah nilai entalpi diperoleh, maka dapat dihitung Kapasitas pendinginan sebagai berikut:

1. Laju aliran massa udara

Diketahui:

**Temperatur Udara Luar 26.25**

$$\rho = 1.2 \text{ kgda/m}^3$$

$$V = 5.02 \text{ m/s}$$

$$A = 0.2736 \text{ m}^2$$

Maka,

$$\dot{m} = \rho \times V \times A$$

$$= 1.16 \text{ kgda/m}^3 \times 5.02 \text{ m/s} \times 0.2736 \text{ m}^2$$

$$= 1.6 \text{ kgda/s}$$

2. Kapasitas Pendinginan

Diketahui:

$$\dot{m} = 1.593 \text{ kgda/s}$$

$$\Delta h = h_{\text{mixing air}} - h_{\text{supply air}}$$

$$= 64.6 \text{ kJ/kgda} - 45 \text{ kJ/kgda} = 19.6 \text{ kJ/kgda}$$

Maka,

$$Q_e = \dot{m} \times \Delta h$$

$$= 1.6 \text{ kgda/s} \times 19.6 \text{ kJ/kgda}$$

$$= 31.2 \text{ kW}$$

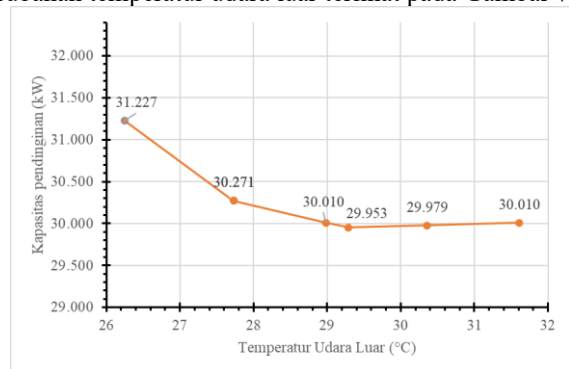
Setelah melakukan perhitungan dari semua data setiap perubahan temperatur udara luar maka terlihat pada Tabel 4.

#### 4.1.1 Kapasitas Pendinginan

Tabel 4. Data Kapasitas Pendinginan

Temperatur Udara Luar (°C)	26.2	27.7	28.9	29.2	30.3	31.6
Kapasitas Pendinginan (kW)	31.2	30.3	30	29.9	29.9	30

Grafik Kapasitas pendinginan dari sistem AHU untuk setiap perubahan temperatur udara luar terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Kapasitas Pendinginan terhadap Temperatur Udara Luar

Kapasitas pendinginan menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan naiknya temperatur udara luar. Secara keseluruhan, dalam rentang temperatur udara luar dari 26.25°C hingga 29.29°C, terjadi penurunan kapasitas pendinginan sebesar 1.274 kW. Dengan demikian, kapasitas

pendinginan relatif menurun sebesar 0.42 kW untuk setiap kenaikan 1°C temperatur udara luar. Setelah melewati 29.29°C, kapasitas pendinginan cenderung stabil di kisaran 30.010 kW.

#### 4.2 Data pada Kompresor

Tabel 5. Data Pengukuran Kompresor

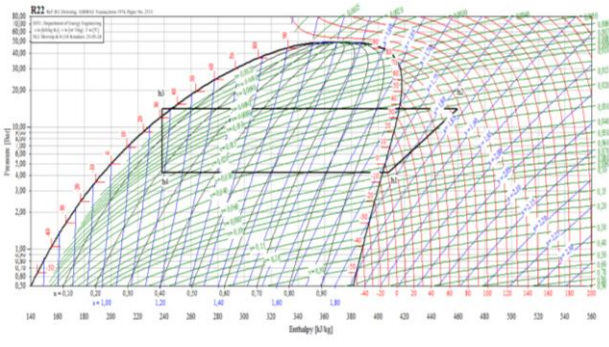
Temp udara luar	Temp discharge	Temp Suction	Tekanan discharge	Tekanan Suction	Masuk Kondensasi	Keluar kondensasi	Tegangan	Arus
°C	°C	°C	Bar	Bar	°C	°C	V	A
26.25	86	0.9	13	3.2	85.2	31.3	383.6	20.2
27.73	89.57	0.9	13.5	3.2	88.34	31.8	382.8	20.3
28.98	91.15	1.6	14	3.3	90.73	33.1	383	21
29.29	91.16	1.62	14	3.3	91.03	34.1	384	21
30.36	93	2.3	14.5	3.4	92.3	36	389	21.2
31.61	93	2.3	14.5	3.4	92.7	37.4	384.4	21.9

Berdasarkan parameter yang ada di Tabel 4. kemudian diplotkan menggunakan *Software Coolpack* dengan parameter sebagai berikut:

##### Temperatur Udara Luar 26,25

- Tekanan Discharge : 4.2 bar abs
- Tekanan Suction : 14 bar abs
- Temperatur Discharge : 86.0 °C
- Temperatur Suction : 0.9 °C
- Temperatur keluar condenser : 31.3 °C

Berikut hasil plotting diagram P-h, dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram P-h temperatur udara luar 26.25

Nilai entalpi dari hasil plotting diagram P-h didapat sebagai berikut:

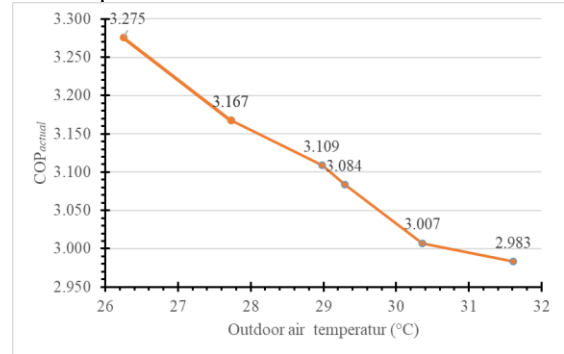
- h1 : 407,70 kJ/kg
- h2 : 459,41 kJ/kg
- h3 = h4 : 238,33 kJ/kg

#### 4.2.1 COP Actual

Tabel 6. Data COP Actual

Temperatur Udara Luar (°C)	26.25	27.73	28.98	29.29	30.36	31.61
COP <sub>Actual</sub>	3.275	3.167	3.109	3.083	3.007	2.983

Grafik COP<sub>Actual</sub> untuk setiap perubahan temperatur udara luar terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik COP<sub>Actual</sub> terhadap Temperatur Udara Luar

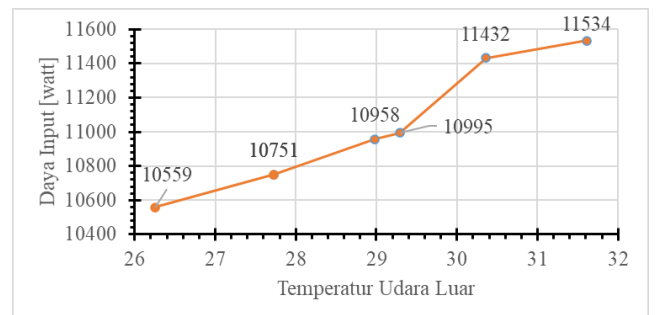
COP<sub>Actual</sub> menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya temperatur udara luar. Secara keseluruhan, dalam rentang temperatur udara luar dari 26.25°C hingga 31.61°C, terjadi penurunan COP<sub>Actual</sub> sebesar 0.29. Dengan demikian, COP<sub>Actual</sub> relatif menurun sebesar 0.05 untuk setiap kenaikan 1°C temperatur udara luar.

#### 4.2.2 Daya Input

Tabel 7. Data Daya Input

Temperatur Udara Luar (°C)	26.25	27.73	28.98	29.29	30.36	31.61
Daya Input (watt)	10559	10751	10957	10994	11431	11534

Grafik Daya Input untuk setiap perubahan temperatur udara luar terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Daya Input terhadap Temperatur Udara Luar

Daya input menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan naiknya temperatur udara luar. Secara keseluruhan, dalam rentang temperatur udara luar dari 26.25°C hingga

31.61°C, terjadi peningkatan daya input sebesar 0.975 kW. Dengan demikian, daya input relatif meningkat sebesar 0.182 kW untuk setiap kenaikan 1°C temperatur udara luar.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, peningkatan temperatur udara luar terbukti memberikan dampak signifikan terhadap penurunan kinerja sistem pendingin Direct Expansion. Kapasitas pendinginan mengalami penurunan sebesar 1.274 kW pada rentang temperatur 26.25°C hingga 29.29°C, atau rata-rata sebesar 0.42 kW untuk setiap kenaikan 1°C. Setelah melewati titik tersebut, kapasitas cenderung stabil di kisaran 30.010 kW, yang menunjukkan bahwa penurunan paling tajam terjadi pada awal kenaikan temperatur. Di sisi lain, daya input sistem mengalami peningkatan sebesar 0.975 kW pada rentang suhu 26.25°C hingga 31.61°C, dengan rata-rata kenaikan sebesar 0.182 kW per 1°C. Konsekuensi dari perubahan ini berdampak langsung pada penurunan efisiensi sistem, yang tercermin dari nilai COP (*Coefficient of Performance*) yang menurun sebesar 0.29 atau sekitar 0.05 untuk setiap 1°C kenaikan suhu udara luar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Bandung melalui Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara yang telah memberikan Bantuan Tugas Akhir, tahun akademik 2024/2025 dan semua pihak yang berkontribusi pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Lyu J, Ono T, Sato A, Hagishima A, Tanimoto J. Seasonal variation of residential cooling use behaviour derived from energy demand data and stochastic building energy simulation. *J Build Eng* [Internet]. 2022 May 15 [cited 2025 Jun 13];49:104067. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710222000808>
2. Colelli F Pietro, Wing IS, Cian E De. Air-conditioning adoption and electricity demand highlight climate change mitigation–adaptation tradeoffs. *Sci Rep* [Internet]. 2023 Dec 1 [cited 2025 Jun 13];13(1):1–12. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-31469-z>
3. Tomaso GE, Gunardi WD, Dharmawan A. Pengaturan Sistem Heating Ventilation and Air Conditioner (HVAC) untuk Pencegahan Kontaminasi SARS-CoV-2 dalam Ruang. *J Kedokt Meditek*. 2022;28(2):227–36.
4. Hazman MHA Bin. The impact of preventive maintenance on building maintenance outcomes: a case study of government building in parcel c at putrajaya. *impact Prev Maint Build Maint outcomes a case study government Build Parcel c putrajaya*. 2024;15(1):37–48.
5. Sumeru K, Pramudantoro T, Tritjahjono R. *AIR KONDENSAT AC:KUANTITAS, KUALITAS DAN MANFAATNYA*. Yogyakarta: Deepublish; 2022.
6. Dossat RJ. *Principles of Refrigeration*. New York and London: John Willey & Sons, Inc.; 1961.
7. Theodore CT. *Air conditioning. Hospitals (Lond)*. 2021;44(8):88–91.
8. Airtecnicos. What is an air handling unit (AHU)? [Internet]. 2021 [cited 2025 May 21]. Available from: <https://www.airtecnicos.com/news/what-is-an-air-handling-unit-ahu>
9. Karhula N, Sierla S, Ihasalo H, Ketomäki J, Huotari M, Vyatkin V. Primary Frequency Control with an Air Handling Unit †. *Energies*. 2024;17(15).