

Analisis Kinerja Sistem *Water Heater* Berbasis *Air Conditioner* 1 PK pada Pengujian Skala Laboratorium

Agus Setiawan¹, Gunarto^{2*}, Eko Julianto³, Muhammad Iwan⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Muhammadiyah Pontianak
Jl. A.Yani No.111 Pontianak, Kalimantan Barat, Indonesia

*Corresponding author: gunarto@unmuhpnk.ac.id

Abstract

Water heating systems are a critical necessity in both domestic and industrial sectors, prompting innovation toward energy-efficient and sustainable solutions. This study aims to evaluate the performance of a water heater system integrated with a 1 HP air conditioning (AC) unit by utilizing waste heat recovery through a helical coil heat exchanger (25 cm diameter, 10 turns, 2 cm pitch). The experimental investigation was conducted under controlled laboratory conditions, focusing on key performance metrics including the heat transfer rate at the condenser ($Q_{\text{condenser}}$), water mass flow rate (\dot{m}), coefficient of performance (COP), and overall system efficiency. The experimental results indicate that the system effectively elevated the water temperature from 25.00°C to 47.18°C within 135 minutes. The measured heat transfer rate was 0.688 kW, with a COP of 0.905 and an efficiency of 81.42%. Thermal stabilization was achieved at the 120th minute, demonstrating both thermal and operational reliability. The helical coil configuration facilitated efficient heat transfer, although minor heat losses were observed due to geometric limitations and ambient dissipation. This study underscores the potential of integrating waste heat recovery mechanisms with conventional air conditioning units, particularly in tropical regions with high AC utilization. Further performance enhancements can be achieved by optimizing coil geometry, improving tank insulation, and adjusting the water flow rate. These findings contribute to the advancement of sustainable water heating technologies and support future efforts in energy conservation and thermal management.

Keywords: energy efficiency, helical coil, Coefficient of performance (COP), waste heat from AC, water heater.

Abstrak

Pemanas air merupakan kebutuhan penting di sektor rumah tangga dan industri, yang mendorong inovasi menuju solusi hemat energi. **Tujuan** dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem pemanas air berbasis air conditioner (AC) 1 PK, yang memanfaatkan panas buangan melalui penukar panas helical coil (diameter 25 cm, 10 lilitan, pitch 2 cm). **Metode** penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan mengukur variabel laju perpindahan panas ($Q_{\text{condenser}}$), laju aliran air (\dot{m}), koefisien performansi (COP), dan efisiensi sistem. Sistem ini diuji dalam kondisi laboratorium dengan fokus pada laju perpindahan panas ($Q_{\text{condenser}}$), laju aliran air (\dot{m}), koefisien performansi (COP), dan efisiensi sistem. **Hasil** penelitian menunjukkan bahwa sistem berhasil meningkatkan suhu air dari 25,00°C menjadi 47,18°C dalam 135 menit, dengan $Q_{\text{condenser}}$ sebesar 0,688 kW, COP sebesar 0,905, dan efisiensi 81,42%. Stabilisasi suhu tercapai pada menit ke-120, menunjukkan keandalan termal dan operasional. Konfigurasi helical coil secara efektif mentransfer panas, meskipun terdapat kehilangan panas kecil akibat geometri coil dan disipasi lingkungan. Penelitian ini menyoroti potensi sistem pemanfaatan panas buangan yang terintegrasi dengan unit AC, terutama di wilayah tropis dengan penggunaan AC yang tinggi. Optimalisasi geometri coil, peningkatan isolasi tangki, dan penyesuaian laju aliran air dapat meningkatkan kinerja sistem. Temuan ini berkontribusi pada pengembangan teknologi pemanas air yang berkelanjutan dan hemat energi.

Kata kunci: efisiensi energi, helical coil, koefisien performansi (COP), panas buangan AC, pemanas air

1. Pendahuluan

Pemanas air memainkan peran penting baik dalam rumah tangga maupun industri. Di rumah tangga, pemanas air digunakan untuk kegiatan sehari-hari seperti mandi dan mencuci, sedangkan di industri, pemanas air

mendukung proses produksi yang membutuhkan air panas. Seiring dengan meningkatnya permintaan akan air panas, kemajuan teknologi berfokus pada peningkatan efisiensi dan pengurangan konsumsi energi [1].

Tren global terbaru menunjukkan adanya pergeseran menuju teknologi pemanas air yang hemat energi. Inovasi seperti pemanas air dengan pompa panas, pemanas air tenaga surya, serta yang menggunakan energi terbarukan telah berkembang pesat sebagai respons terhadap kebutuhan pengurangan penggunaan bahan bakar fosil, penurunan biaya operasional, dan pengurangan emisi karbon [2]. Dalam konteks ini, sumber energi alternatif, seperti panas buangan dari pendingin udara (AC), semakin mendapat perhatian sebagai solusi yang layak [3]. AC merupakan perangkat yang menghasilkan panas buang sebagai produk sampingan selama proses pendinginan[4]. Pendingin udara menghasilkan panas buangan selama proses pendinginan, yang biasanya dilepaskan ke lingkungan [5]. Namun, panas buangan ini menawarkan peluang yang besar untuk digunakan kembali, terutama untuk memanaskan air secara efisien. Dengan memanfaatkan panas buangan dari sistem AC, beban listrik pada pemanas air konvensional dapat dikurangi secara signifikan, sehingga memberikan potensi penghematan energi yang besar [6], [7].

Teknologi pemanas air berbasis panas buang AC memiliki beberapa keunggulan, terutama di wilayah beriklim tropis [7]. Di daerah tropis, penggunaan AC cukup tinggi sepanjang tahun, sehingga potensi pemanfaatan panas buang pun menjadi lebih besar [8]. Teknologi ini tidak hanya hemat energi karena tidak memerlukan daya listrik tambahan untuk memanaskan air, tetapi juga mendukung upaya pelestarian lingkungan dengan mengurangi emisi karbon dan pemanfaatan energi terbuang.

Beberapa penelitian yang relevan meskipun penelitian telah dilakukan di bidang ini, masih terdapat kesenjangan dalam analisis kinerja sistem pemanas air yang memanfaatkan panas buangan dari AC 1 PK pada skala laboratorium. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa modifikasi AC split ($\frac{1}{2}$ PK) untuk pemanasan air dalam konteks pendidikan

berhasil mencapai suhu $42,5^{\circ}\text{C}$ dalam 60 menit [9].

Penelitian lebih lanjut mengeksplorasi penggunaan penukar panas helical coil, mencapai $44,4^{\circ}\text{C}$ dalam 70 menit dengan efisiensi 76,23%. Terlepas dari kemajuan ini, penelitian yang mengevaluasi unit AC yang lebih besar (misalnya 1 PK) dan kinerjanya dalam pemanfaatan panas buangan untuk pemanas air masih terbatas.

Penelitian sebelumnya sebagian besar berfokus pada unit AC berskala kecil (misalnya $\frac{1}{2}$ PK) dan desain penukar panas yang sederhana [10], [2]. Terdapat kekurangan studi komprehensif yang mengevaluasi kinerja transfer panas dari unit AC yang lebih besar (1PK) dalam aplikasi pemanas air menggunakan penukar panas helical coil.. Selain itu, literatur yang ada belum sepenuhnya mengeksplorasi dampak geometri koil, seperti diameter dan pitch, pada efisiensi sistem dan karakteristik transfer panas.

Meskipun potensi pemanfaatan panas buangan dari pendingin udara untuk pemanas air cukup besar, pengetahuan tentang kinerja unit AC yang lebih besar (1 PK) dalam aplikasi tersebut masih kurang. Secara khusus, informasi mengenai efek parameter helical coil pada proses transfer panas sangat terbatas, dan efisiensi sistem ini belum jelas di iklim tropis, di mana penggunaan AC tinggi sepanjang tahun.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem pemanas air yang memanfaatkan panas buangan dari AC 1 PK dalam uji coba skala laboratorium. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk menilai karakteristik perpindahan panas dari helical coil dengan diameter 25 cm, 10 lilitan, dan pitch 2 cm, menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi proses perpindahan panas, serta menganalisis potensi penghematan energi dari sistem ini dibandingkan dengan metode pemanas air konvensional.

2. Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi kinerja pemanasan air dari AC 1 PK. Sistem ini dirancang dengan penukar panas helical coil, yang memiliki diameter 25 cm, 10 lilitan, dan pitch 2 cm..

2.1 Alat dan Bahan

2.1.1 AC Split 1 PK

AC Split 1 PK dipilih karena memiliki kapasitas pendinginan dan panas yang memadai yaitu kapasitas pendinginnya sekitar 9000 BTU (British Thermal Unit), yang cukup untuk menghasilkan panas buang dalam jumlah signifikan dari kondensor [11]. Panas buang ini kemudian dapat dimanfaatkan secara efektif untuk memanaskan air. Dengan kapasitas 1 PK, AC ini mampu mempertahankan efisiensi energi yang cukup baik, sehingga dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air dengan sistem heat recovery.

Tabel 1. Spesifikasi Air Conditioner

Air Conditioner 1 PK	
Type	Air Split Conditioner
Model	AQA-CR9FQAL
Daya	760 Watt
Kapasitas	9000 Btu/h
Arus	4 Ampere
Frekuensi	50 Hz
Refrigerant	R32

2.1.2 Helical coil

Gambar 1 adalah helical coil yang digunakan sebagai penukar kalor dalam sistem ini dengan spesifikasi diameter 30 cm dan 15 lilitan dengan pitch 2 cm. Ukuran ini dipilih untuk memastikan adanya luas permukaan yang cukup dalam penukaran panas antara refrigeran pada kondensor dan air di dalam tangki. Berdasarkan literatur, variasi ukuran helical coil, seperti diameter dan jumlah lilitan, dapat mempengaruhi laju perpindahan panas. Penggunaan diameter dan lilitan yang lebih besar akan

meningkatkan efisiensi penyerapan panas [12].



Gambar 1. Helical Coil

2.1.3 Tangki air

Tangki air berfungsi sebagai media penyimpanan air yang akan dipanaskan dapat dilihat pada Gambar 2. Kapasitas tangki 60 liter. Tangki dilengkapi dengan insulasi untuk mengurangi kehilangan panas selama proses pemanasan dan menjaga efisiensi sistem [13].

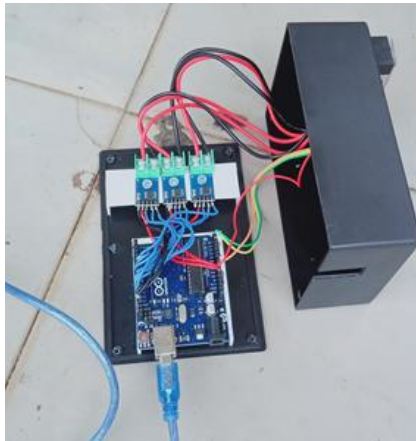


Gambar 2. Tangki air

2.1.4 Sensor suhu

Sensor suhu pada Gambar 3 digunakan untuk mengukur suhu kompresor, kondensor dan suhu air di dalam tangki secara real-time. Ada 3 sensor yang dipasang pada jalur pipa kompresor, kondensor dan di tanki air. Sensor suhu yang digunakan yaitu MAX6675 dengan

tujuan mendapatkan data langsung melalui layar digital yang ada pada alat tersebut[14].



Gambar 3. Sensor suhu MAX6675

2.1.5 Refrigeran R32

Sistem AC dalam penelitian ini menggunakan refrigeran R32. R32 adalah refrigeran generasi baru yang lebih ramah lingkungan dengan potensi pemanasan global (Global Warming Potential, GWP) yang lebih rendah dibandingkan R22. R32 juga memiliki kapasitas perpindahan panas yang lebih tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi sistem pemanasan air. Meskipun demikian, R32 memiliki tingkat mudah terbakar yang lebih tinggi, sehingga perlu penanganan yang lebih hati-hati.

2.2. Prosedur penelitian

a. Persiapan

Konfigurasi helical coil dengan diameter 25 cm, 10 lilitan, dan pitch 2 cm dipasang dalam tangki air berkapasitas 60 liter. Tangki ini dihubungkan langsung ke unit AC split 1 PK. Sebelum pengujian dimulai, alat dan sensor, seperti termokopel untuk suhu air dan sensor suhu kondenser, diuji untuk memastikan akurasi pengukuran.

b. Pengujian awal

Sistem dioperasikan tanpa pemanasan untuk mengidentifikasi potensi masalah teknis, seperti kebocoran, koneksi yang tidak stabil, atau kerusakan pada

sensor. Tahapan ini penting untuk meminimalkan kesalahan selama pengumpulan data utama.

c. Pemanasan air

Setelah verifikasi selesai, unit AC split diaktifkan untuk memanaskan air di dalam tangki. Panas buangan dari kondenser disalurkan melalui helical coil, meningkatkan suhu air secara bertahap. Pengukuran suhu air dilakukan setiap 15 menit menggunakan sensor digital yang terkalibrasi hingga suhu mencapai target atau sistem mencapai kondisi steady-state.

d. Pengumpulan data

Parameter utama yang diukur meliputi suhu air pada interval 15 menit dan waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu target. Data ini memungkinkan analisis efisiensi perpindahan panas serta kinerja sistem dengan konfigurasi coil tertentu.

Sistem pemanas air berbasis AC Split 1 PK dipasang dengan helical coil diameter 25 cm, lilitan 10 dan pitch 2 cm sebagai penukar panas, dan sensor suhu diposisikan pada pipa kompresor, pipa kondensor dan air dalam tangki. Setelah kalibrasi alat ukur untuk akurasi data, suhu awal air dalam tangki dicatat sebelum sistem dioperasikan. Sistem kemudian dinyalakan dengan pemantauan suhu air, kompresor, dan kondensor secara real-time. Suhu air diukur setiap 15 menit untuk menganalisis kenaikan suhu dan efisiensi perpindahan panas.

2.3. Analisa data

Analisis data bertujuan untuk mengevaluasi performa sistem pemanas air berbasis AC split dengan menghitung parameter utama, yaitu panas yang dilepaskan oleh kondenser ($Q_{\text{kondenser}}$), koefisien performansi (COP), laju aliran massa air (\dot{m}), dan efisiensi sistem pemanas air (η_{wh}). Proses analisis dilakukan secara sistematis untuk memastikan hasil yang akurat dan mendukung pemahaman mendalam terhadap performa sistem.

Sebelum analisis dilakukan, data yang diperlukan harus dikumpulkan selama proses pemanasan air berupa data suhu air, suhu kompresor, suhu kondensor, kapasitas daya listrik yang dikonsumsi dan volume air.

- a. Heat discharged in the condenser ($Q_{condenser}$)

$$Q_{Condenser} = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

dimana :

$Q_{Condenser}$ adalah panas yang diserap di evaporator (J)

m = laju aliran massa (kg/s)

C_p = kapasitas panas spesifik dari air pendingin (cooling water) (J/(kg·°C)).

ΔT adalah perubahan suhu (°C)

- b. COP

$$COP = \frac{Q_{condenser}}{W_{input}} \quad (2)$$

dimana :

$Q_{condenser}$ adalah panas yang diserap di evaporator (J)

W_{input} adalah kerja yang dilakukan oleh kompresor (W)

- c. Laju aliran massa air

$$\dot{m} = \frac{Q}{\Delta h} \quad (3)$$

dimana:

\dot{m} = laju aliran massa air (kg/s)

Q = laju perpindahan panas di kondensor (Joule/s)

Δh = perubahan entalpi refrigeran antara titik masuk dan keluar kondensor (J/kg)

- d. Efisiensi pemanas air

$$(\eta_{wh}) = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100 \quad (4)$$

dimana:

Q_{output} = Energi panas yang keluar

Q_{input} = Energi panas yang masuk

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data hasil pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin,

Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Pontianak, mengenai kinerja sistem pemanas air berbasis AC, telah diperoleh data yang dapat menjawab tujuan penelitian dan memberikan gambaran secara menyeluruh. Data ini mencakup pengukuran hasil eksperimen dan perhitungan yang menunjukkan proses perpindahan panas yang terjadi dari kondensor ke air dalam sistem.

Selama proses pengujian, dilakukan pengukuran suhu pada kompresor, suhu air, dan suhu kondensor seiring waktu. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data temperatur pada kompresor, air dan kondenser

Waktu (menit)	Suhu Kompresor (°C)	Suhu Kondensor (°C)	Suhu Air (°C)
0	25.00	25.00	25.00
15	54.00	39.00	30.00
30	64.00	44.00	35.00
45	69.00	47.00	39.00
60	71.85	48.75	41.65
75	73.68	49.82	43.58
90	74.82	50.58	45.12
105	75.52	50.92	46.28
120	76.25	51.00	47.18
135	76.25	51.00	47.18

3.2. Analisis data hasil pengujian

a. Profil Suhu Kompresor

Suhu kompresor meningkat tajam selama 30 menit pertama, dari 25,00°C menjadi 64,00°C, kemudian naik secara bertahap hingga 76,25°C pada menit ke-120. Tidak ada perubahan lebih lanjut setelah waktu ini.

Kenaikan awal yang cepat mencerminkan proses kompresi refrigeran, di mana tekanan dan suhu refrigeran meningkat secara signifikan. Stabilisasi

pada 76,25°C setelah 120 menit menunjukkan bahwa sistem telah mencapai keseimbangan termodinamika, di mana input panas seimbang dengan tingkat disipasi panas.

b. Profil suhu kondensor

Suhu kondensor meningkat dari 25,00°C menjadi 51,00°C dalam 120 menit dan tetap stabil setelahnya. Ini berarti terjadi peningkatan transfer panas yang efektif dari refrigeran ke helical coil. Stabilitas pada 51,00°C, kondensor bekerja pada beban termal optimal tanpa kapasitas tambahan untuk mentransfer lebih banyak panas dalam konfigurasi saat ini.

c. Profil suhu air

Suhu air meningkat dari 25,00°C menjadi 47,18°C dalam 135 menit. Laju kenaikan menurun seiring waktu, mendekati stabilisasi pada menit ke-120. Penurunan laju kenaikan suhu akan menyebabkan efisiensi transfer panas yang menurun seiring dengan berkurangnya perbedaan suhu antara air dan helical coil. Ini sesuai dengan hukum Fourier, di mana gaya penggerak perpindahan panas berkurang saat mendekati kesetimbangan termal.

Stabilisasi profil suhu pada menit ke-120 dimana sistem telah mencapai kondisi stabil. Ini mengindikasikan bahwa kompresor beroperasi dalam batas toleransi termal, memastikan kinerja yang aman untuk jangka panjang. Begitu juga kondensor mentransfer panas secara efisien tanpa tanda-tanda *overheating* atau inefisiensi termal. Sedangkan air mencapai suhu maksimum yang dapat dicapai dalam konfigurasi saat ini. Perilaku stabil sistem water heater AC ini membuktikan bahwa desainnya andal secara termal dan mekanis. Sistem berhasil memanfaatkan panas buangan dari AC untuk memanaskan air. Perbedaan suhu antara kondensor (51,00°C) dan air (47,18°C) menunjukkan adanya kehilangan panas kecil, yang disebabkan oleh transfer panas yang belum sepenuhnya optimal dalam helical coil dan kehilangan

panas ke lingkungan akibat kurangnya isolasi tangki. Suhu air meningkat sebesar 22,18°C dalam 135 menit, setara dengan laju rata-rata 0,16°C/menit. Laju ini cocok untuk kebutuhan skala kecil tetapi kurang memadai untuk kebutuhan yang lebih besar.

3.3. Analisis kinerja AC water heater

Pengujian eksperimental pada sistem pemanas air yang terintegrasi dengan AC 1 PK menggunakan konfigurasi helical coil (diameter 25 cm, 10 lilitan, pitch 2 cm) dengan beberapa parameter kinerja utama, yaitu: laju perpindahan panas ($Q_{\text{condenser}}$), laju aliran air (\dot{m}), koefisien performa (COP), dan efisiensi sistem.

Parameter ini secara kolektif menentukan efisiensi operasional dan kelayakan sistem untuk aplikasi pemanas air domestik. Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan data performa water heater

No.	Variabel	Nilai
1.	Panas yang dilepaskan kondenser ($Q_{\text{condenser}}$)	0,688 kW
2.	Koefisien Kinerja (COP)	0,905
3.	Laju aliran air	0,0032 kg/s
4.	Efisiensi water heater (η_{wh})	81,42 %

Berikut ini pembahasan mendalam tentang unjuk kerja sistem berdasarkan nilai-nilai yang diperoleh.

3.3.1. Laju perpindahan panas ($Q_{\text{condenser}}$)

Laju perpindahan panas mencerminkan energi termal yang dilepaskan oleh kondensor AC dan dimanfaatkan untuk memanaskan air. Dengan nilai $Q_{\text{condenser}}$ sebesar 0,688 kW. Nilai tersebut menunjukkan kemampuan sistem untuk memanfaatkan panas buangan refrigeran ke air secara signifikan, sesuai dengan output termal AC 1 PK pada umumnya.

Desain helical coil memungkinkan penyerapan panas yang efisien oleh air, meskipun terdapat kehilangan panas ke

lingkungan sebesar 18,58%, sehingga perlunya peningkatan, seperti penambahan isolasi pada tangki.

Nilai $Q_{\text{condenser}}$ yang diukur cukup untuk memanaskan 60 liter air dalam waktu yang wajar untuk kebutuhan rumah tangga. Akan tetapi, untuk memenuhi permintaan yang lebih tinggi, modifikasi sistem diperlukan guna meningkatkan laju perpindahan panas.

3.3.2. Laju aliran air (\dot{m})

Laju aliran air merupakan faktor penting dalam menentukan dinamika perpindahan panas dalam sistem helical coil. Laju aliran 0,0032 kg/s setara dengan 11,52 liter per jam, yang relatif rendah.

Keuntungan dari laju aliran rendah adalah meningkatkan efisiensi perpindahan panas dengan memperpanjang waktu tinggal air yang bersentuhan dengan helical coil. Ini mengakibatkan sistem mencapai tingkat pertukaran panas yang tinggi, berkontribusi langsung pada efisiensi termal yang tinggi (81,42%).

Meskipun menguntungkan untuk penyerapan panas, laju aliran ini membatasi volume air yang dapat dipanaskan dalam satuan waktu tertentu, sehingga kurang cocok untuk skenario kebutuhan air yang besar. Keseimbangan antara laju aliran dan efisiensi perpindahan panas sangat penting. Mengatur laju aliran, misalnya dengan meningkatkannya menjadi 0,005–0,008 kg/s, dapat memperbesar kapasitas aliran atau laju pemrosesan tanpa menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas yang signifikan.

3.3.3. Koefisien Performa (COP)

COP sistem, yang dihitung dari rasio keluaran panas berguna ($Q_{\text{condenser}}$) terhadap daya listrik input kompresor ($W_{\text{compressor}}$), mencerminkan efisiensi energinya. COP sebesar 0,905 merupakan nilai yang baik, terutama mengingat sistem ini mencakup fungsi ganda sebagai pendingin (oleh AC) dan pemanas (melalui pemanas air).

Nilai ini merupakan indikator bahwa 90,5% dari energi listrik input dimanfaatkan

secara efektif untuk pemanasan dan pendinginan, menonjolkan efisiensi ganda sistem.

Pemanas air konvensional umumnya memiliki COP sebesar 1,0 (pemanas resistif). COP sistem ini sedikit lebih rendah, namun hal ini diimbangi dengan kemampuan memanfaatkan panas buangan, menjadikannya lebih hemat biaya dan ramah lingkungan.

3.3.4. Efisiensi water heater (η_{wh})

Efisiensi termal mengukur proporsi $Q_{\text{condenser}}$ yang berhasil ditransfer ke air, dengan sisanya hilang ke lingkungan. Efisiensi sebesar 81,42% terjadi pemanfaatan panas yang efektif, meskipun masih ada ruang untuk perbaikan. Efisiensi tinggi ini membuktikan kemampuan desain helical coil untuk memaksimalkan perpindahan panas dalam keterbatasan sistem yang kompak. Mengurangi kehilangan panas dengan isolasi tangki berkualitas tinggi dapat meningkatkan efisiensi. Menambah jumlah lilitan atau memodifikasi diameter helical coil dapat meningkatkan luas permukaan perpindahan panas dan mengurangi kehilangan.

Penelitian sebelumnya bahwa pemanfaatan panas buangan dari AC kapasitas lebih kecil ($\frac{1}{2}$ PK) berhasil memanaskan air hingga 42,5°C dalam 60 menit dengan efisiensi sekitar 76,23% menggunakan desain penukar panas sederhana. Dalam penelitian lain, penggunaan helical coil pada AC $\frac{1}{2}$ PK mencapai suhu air 44,4°C dalam 70 menit, dengan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan penelitian ini.

Perbedaan utama antara penelitian ini dan studi sebelumnya meliputi:

- Ukuran AC
Sistem menggunakan AC 1 PK, yang memiliki kapasitas panas buangan lebih tinggi (9000 BTU) dibandingkan AC $\frac{1}{2}$ PK (5000 BTU). Hal ini menjelaskan peningkatan $Q_{\text{condenser}}$ dan efisiensi sistem.

- Konfigurasi Helical Coil

Diameter 25 cm, lilitan 10, dan pitch 2 cm memberikan luas kontak termal yang lebih besar, meningkatkan efisiensi transfer panas dibandingkan desain yang lebih sederhana.

Hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan AC dengan kapasitas lebih besar dan konfigurasi coil yang lebih optimal dapat menghasilkan kinerja pemanas air yang lebih efisien. AC 1 PK menghasilkan panas buangan yang lebih besar dibandingkan AC ½ PK. Dalam sistem ini, panas buangan dari kondensor dimanfaatkan lebih optimal melalui desain coil, sehingga efisiensi termal lebih tinggi tercapai. Studi sebelumnya yang dilakukan oleh Gunarto et.al [15] yang menyebutkan bahwa variasi diameter coil dan jumlah lilitan mempengaruhi efisiensi perpindahan panas.

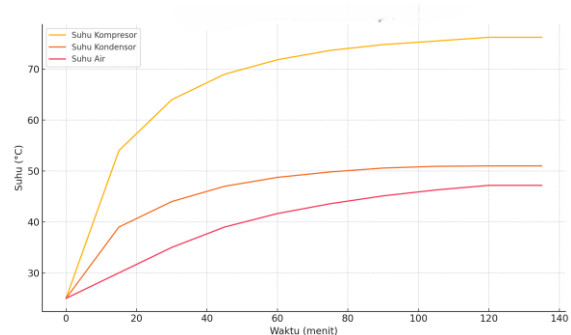
Dalam penelitian ini, diameter 25 cm dan 10 lilitan memberikan keseimbangan antara luas permukaan kontak dan laju aliran air. Namun, pitch 2 cm yang cukup besar menyebabkan sedikit penurunan efisiensi dibandingkan jika pitch lebih kecil (misalnya, 1,5 cm), yang meningkatkan kepadatan lilitan dan transfer panas.

3.3.5. Grafik waktu terhadap suhu

Gambar berikut menggambarkan profil dinamika termal dari tiga komponen utama sistem pemanas air berbasis AC 1 PK, yaitu kompresor, kondensor, dan media air, selama 135 menit pengujian dalam kondisi laboratorium.

Kurva suhu kompresor menunjukkan peningkatan tajam selama 30 menit pertama, dari 25°C hingga 64°C, kemudian mengalami kenaikan bertahap hingga mencapai 76,25°C pada menit ke-120, di mana terjadi stabilisasi suhu. Tren ini mencerminkan fenomena termodinamika kompresi refrigeran, di mana energi kerja dari kompresor dikonversi menjadi panas. Stabilitas setelah 120 menit menunjukkan bahwa sistem telah mencapai keseimbangan termal, di mana panas yang masuk dan panas

yang hilang ke lingkungan berada dalam keadaan steady-state. Stabilisasi suhu kompresor menjadi indikator penting dari keamanan operasional jangka panjang, menunjukkan bahwa sistem bekerja dalam batas toleransi termal yang dapat diterima dan bebas dari risiko *overheating*.



Gambar 4. Grafik waktu vs suhu AC water heater

Suhu kondensator meningkat dari 25°C menjadi 51°C dalam 120 menit, lalu stagnan pada suhu tersebut hingga menit ke-135. Pola ini menggambarkan kapasitas optimal dari kondensator untuk mentransfer panas dari refrigeran ke penukar panas (helical coil). Kestabilan suhu ini menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu, laju penyerapan panas oleh air telah mendekati maksimum yang dapat ditransfer oleh desain coil saat ini. Kondensator bekerja mendekati kapasitas maksimum, dan suhu tetap yang dicapai mengindikasikan bahwa modifikasi desain coil atau peningkatan efisiensi tangki dapat menghasilkan transfer panas yang lebih baik.

Suhu air meningkat dari 25°C ke 47,18°C selama 135 menit, dengan percepatan pemanasan tertinggi pada 30–60 menit pertama. Laju peningkatan suhu mulai melambat setelah menit ke-90 dan mengalami stabilisasi pada menit ke-120. Pola ini selaras dengan hukum Fourier tentang konduksi panas, di mana gradien suhu yang lebih rendah antara media panas dan dingin menghasilkan laju perpindahan panas yang menurun. Efek pelambatan pemanasan ini juga menunjukkan bahwa perbedaan suhu antara kondensator (51°C) dan air (47,18°C) hanya sekitar 3,82°C

menjelang akhir pengujian. Ini mencerminkan efektivitas perpindahan panas yang tinggi, namun juga mengindikasikan adanya kehilangan panas minor akibat konduksi dinding tangki dan radiasi ke lingkungan.

Grafik suhu terhadap waktu menyajikan validasi visual bahwa sistem bekerja secara efisien dalam skenario operasional jangka menengah. Sistem menunjukkan stabilitas, efisiensi, dan kemampuan pemanasan yang layak untuk aplikasi domestik. Lebih lanjut, grafik ini mendukung kesimpulan bahwa sistem pemanas air berbasis panas buangan AC 1 PK dengan konfigurasi helical coil memberikan kinerja termal yang kompetitif dibandingkan pemanas konvensional, sambil menyediakan jalan menuju teknologi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

4. Kesimpulan

Penelitian eksperimental pada sistem pemanas air yang terintegrasi dengan AC 1 PK menggunakan konfigurasi helical coil (diameter 25 cm, 10 lilitan, pitch 2 cm) dengan kinerja termal yang signifikan berdasarkan parameter utama didapatkan: laju perpindahan panas ($Q_{\text{condenser}} = 0,688 \text{ kW}$), laju aliran air ($0,0032 \text{ kg/s}$), koefisien performa ($COP = 0,905$), dan efisiensi sistem (81,42%).

Berdasarkan hasil pengujian, sistem secara efektif memanfaatkan panas buangan dari kondensor AC untuk meningkatkan suhu air hingga $47,18^\circ\text{C}$ dalam 135 menit. Stabilisasi suhu kompresor, kondensor, dan air pada menit ke-120 mengindikasikan bahwa sistem telah mencapai keseimbangan termal dan beroperasi dengan andal dalam penggunaan terus-menerus. Desain helical coil mampu mentransfer panas ke air secara efisien, meskipun terdapat sedikit kehilangan panas akibat disipasi ke lingkungan dan geometri helical coil yang belum optimal.

Sistem ini layak digunakan untuk aplikasi domestik berskala kecil, menawarkan solusi pemanas air yang hemat

energi dan berkelanjutan. Namun, optimasi pada konfigurasi helical coil (misalnya, menambah jumlah lilitan dan ukuran diameter), peningkatan isolasi tangki, dan penyesuaian laju aliran air dapat meningkatkan kapasitas pemanasan dan efisiensi operasional secara signifikan.

Temuan ini berkontribusi pada pengembangan solusi pemanas air yang inovatif dan ramah lingkungan, sesuai dengan tujuan konservasi energi dan keberlanjutan global.

Ucapan terimakasih

Penulis menyampaikan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek) atas dukungan pendanaan melalui Hibah Penelitian No.113/E5/PG.02.00.PL/2024, dengan kontrak turunan Hibah No. 51/LL11/KM/2024 dan 104/IL.3.AU.21/SP/2024. Dukungan ini sangat membantu dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan artikel ini sebagai bagian dari luaran tambahan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Muhammadiyah Pontianak atas dukungan dan koordinasi yang diberikan selama penelitian ini berlangsung. Dukungan institusi ini sangat berperan penting dalam kelancaran penelitian dan pengembangan luaran akademik.

Referensi

- [1] V. Dwisari, S. Sudarti, and Y. Yushardi, "Pemanfaatan Energi Matahari: Masa Depan Energi Terbarukan," *Opt. J. Pendidik. Fis.*, vol. 7, no. 2, pp. 376–384, 2023, doi: 10.37478/optika.v7i2.3322.
- [2] I. Dirja, M. A. Jihan, P. T. Mesin, and I. Pendahuluan, "Rancang Bangun Pemanas Air (Heater) Dengan Menggunakan Baterai Berbasis Arduino Pro Mini," *Infomatek*, vol. 21, no. 2, pp. 91–96, 2019, doi:

- 10.23969/infomatek.v21i2.1981.
- [3] A. A. M. Omara and A. A. A. Abuelnour, "Improving the performance of air conditioning systems by using phase change materials: A review," *Int. J. Energy Res.*, vol. 43, no. 10, pp. 5175–5198, 2019, doi: 10.1002/er.4507.
- [4] Gunarto et.al, "Design And Test The Performance Of The Water Heater By Utilizing The Exhaust Heat Of The," *Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 707–717, 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i2.1494.
- [5] Anand Kishorbhai Patel, "Thermal performance analysis conical solar water heater," *World J. Adv. Eng. Technol. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 276–283, 2023, doi: 10.30574/wjaets.2023.9.2.0228.
- [6] S. V. Shaik and A. B. T. P. Setty, "Thermodynamic analysis of window air conditioner using sustainable refrigerant R290/RE170 and R1270/RE170 blends as substitutes to refrigerant R22," *Int. J. Heat Technol.*, vol. 37, no. 1, pp. 80–94, 2019, doi: 10.18280/ijht.370110.
- [7] J. Austenit, "Modifikasi Ac Split Menjadi Ac Sistem Geotermal," vol. 9, no. April, pp. 1–10, 2017.
- [8] M. F. Saleh, Y. Helen, and F. Anita, "Penggunaan Ac Split Dan Ac Sentral Pada Bangunan Hotel Di Makassar," *Tecnoscienza*, vol. 7, pp. 176–190, 2022.
- [9] Gunarto, E. Julianto, M. Iwan, and E. Sarwono, "Modifikasi Air Conditioner Split 1/2 PK Sebagai Water Heater Untuk Media Pembelajaran Mesin Konversi Energi Bagi Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 297–305, 2023, doi: 10.24127/trb.v12i2.2810.
- [10] K. Kumar, B. Jeevan Kumar, G. Shiva, K. Shyam Sekhar, and K. N. Subash, "Design of Water Heater cum Water Cooler Using Refrigeration System," *Int. J. Adv. Eng. Manag.*, vol. 4, no. 6, pp. 2395–5252, 2022, doi: 10.35629/5252-040619831993.
- [11] I. D. Setiawan, A. Ubaidillah, and R. Alfita, "Perancangan Dan Pengembangan Trainer Air Conditioner Jenis Split Untuk Teknik Elektro Universitas Trunojoyo Madura," *SinarFe7*, pp. 1–5, 2020.
- [12] M. Tri Anjas Aji Lumintar, F. Jayadi, and G. Marausna, "Studi Eksperimental Heat Transfer Pada Heat Exchanger Dengan Tipe Helical Coil Tube Guna Menurunkan Temperatur Oli Hidrolik," *Tek. STTKD J. Tek. Elektron. Engine*, vol. 7, no. 1, pp. 79–90, 2021, doi: 10.56521/teknika.v7i1.306.
- [13] F. H. Napitupulu and H. Ambarita, "Studi Eksperimental Performansi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar Dengan Penambahan Thermal Energy Storage," vol. 1, no. 2, pp. 27–36, 2014.
- [14] J. A. Surbakti, A. S. Tanody, and B. V. Tarigan, "Sistem Monitoring Suhu Pada Portable Measuring Tool Dengan Menggunakan Sensor Thermocouple Max 6675 Analisis Desain Implementasi Perawatan 3) Persiapan Alat yang digunakan 4) Sensor Suhu DS18B20 Sensor yang digunakan yaitu sensor DS18B20 adalah jenis se," pp. 182–189, 2022.
- [15] Gunarto, D. Irawan, E. Julianto, and M. Iwan, "Optimizing Heat Recovery from Split AC Systems for Water Heating: Performance Analysis of Helical Coil Configurations and Power Capacities," *Int. J. Heat Technol.*, vol. 42, no. 5, pp. 1805–1814, 2024, doi: 10.18280/ijht.420535.