



Analisa Pengaruh Variasi Susunan Pipa Kondensor, Masa Refrigerant, dan Kecepatan Aliran Udara Kondensor Terhadap Performa Kulkas R-600a

Lucas Gempar Febria Nata Reksha^{1*}, Wahyu Assrul Alhamsah², Supardi³

¹⁻³Program Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

Email: lucasgempar311@gmail.com^{1*}, supardis@gmail.com³

*Penulis Korespondensi lucasgempar311@gmail.com

Abstract. *This study aims to analyze the effects of condenser pipe configuration, refrigerant charge, and condenser airflow velocity on the performance of a refrigerator using R-600a refrigerant. The condenser pipe configurations investigated were U10, U12, and U14, with refrigerant charges of 46 g, 48 g, and 50 g, and condenser fan speeds of 1000 rpm, 1200 rpm, and 1300 rpm. The observed parameters included the refrigerant mass flow rate ($\dot{m}$), compressor work (W), condenser heat rejection capacity (Q_c), and Coefficient of Performance (COP). The analysis was conducted based on enthalpy data at each point of the refrigeration cycle and the performance test results of the cooling system. The results indicate that increasing the number of condenser pipe passes and the refrigerant charge tends to enhance the condenser's heat rejection capability, thereby improving overall system performance. The optimum configuration was achieved with the U14 condenser pipe arrangement, a refrigerant charge of 50 g, and a condenser airflow velocity corresponding to a fan speed of 1300 rpm. This configuration produced a refrigerant mass flow rate of 0,0184 kg/s, compressor work of 1,32 kW, condenser heat rejection capacity of 5,65 kW, and the highest COP value of 4,28. In contrast, the lowest performance was obtained with the U10 condenser pipe arrangement, a refrigerant charge of 48 g, and a fan speed of 1000 rpm, resulting in a COP of 3,27. In general, increasing the condenser airflow velocity improved the condensation process and enhanced system efficiency, particularly for longer condenser pipe configurations. The findings demonstrate that the combination of condenser pipe configuration, refrigerant charge, and condenser airflow velocity has a significant effect on the performance and energy efficiency of an R-600a refrigerator.*

Keywords: Condenser Airflow Velocity; Condenser Pipe Configuration; Refrigerant Charge; Refrigeration System Performance; Refrigerator.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi susunan pipa kondensor, massa refrigeran, dan kecepatan aliran udara kondensor terhadap performa kulkas yang menggunakan refrigeran R-600a. Variasi susunan pipa kondensor yang digunakan yaitu U10, U12, dan U14, dengan massa refrigeran sebesar 46 gram, 48 gram, dan 50 gram, serta kecepatan putaran kipas kondensor 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1300 rpm. Parameter yang diamati meliputi laju aliran massa refrigeran ($\dot{m}$), kerja kompresor (W), kapasitas pelepasan panas kondensor (Q_c), serta Coefficient of Performance (COP). Analisis dilakukan berdasarkan data entalpi pada setiap titik siklus refrigerasi dan hasil pengujian performa sistem pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan jumlah susunan pipa kondensor dan massa refrigeran cenderung meningkatkan kemampuan pelepasan panas pada kondensor sehingga berdampak pada peningkatan performa sistem. Konfigurasi terbaik diperoleh pada susunan pipa kondensor U14 dengan massa refrigeran 50 gram dan kecepatan aliran udara kondensor 1300 rpm yang menghasilkan laju aliran massa refrigeran sebesar 0,0184 kg/s, kerja kompresor sebesar 1,32 kW, kapasitas pelepasan panas kondensor sebesar 5,65 kW, dan nilai COP tertinggi sebesar 4,28. Sementara itu, performa terendah terjadi pada susunan pipa kondensor U10 dengan massa refrigeran 48 gram dan kecepatan 1000 rpm yang menghasilkan COP sebesar 3,27. Secara umum, peningkatan kecepatan aliran udara kondensor memperbaiki proses kondensasi dan meningkatkan efisiensi sistem, terutama pada susunan pipa kondensor yang lebih panjang. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi susunan pipa kondensor, massa refrigeran, dan kecepatan aliran udara kondensor memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja dan efisiensi energi kulkas berbasis refrigeran R-600a.

Kata kunci: Kecepatan Aliran Udara Kondensor; Kinerja Sistem Refrigerasi; Konfigurasi Pipa Kondensor; Kulkas; Muatan Refrigeran.

1. LATAR BELAKANG

Salah satu teknologi yang memiliki peranan penting dalam kehidupan modern adalah sistem refrigerasi yang digunakan untuk menjaga kualitas bahan makanan serta memperpanjang masa penyimpanannya. Peralatan pendingin seperti kulkas bekerja menggunakan siklus kompresi uap yang memindahkan panas dari ruang bersuhu rendah ke lingkungan yang bersuhu lebih tinggi melalui komponen utama seperti kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan penyimpanan makanan dan minuman, penggunaan kulkas dalam rumah tangga maupun industri juga semakin meningkat. Hal ini menyebabkan konsumsi energi listrik yang digunakan oleh sistem refrigerasi juga meningkat sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan efisiensi energi dari sistem pendingin tersebut.

Selain efisiensi energi, perkembangan teknologi refrigerasi juga dipengaruhi oleh isu lingkungan yang berkaitan dengan penggunaan refrigeran. Refrigeran generasi lama seperti *chlorofluorocarbon* (CFC) dan *hydrochlorofluorocarbon* (HCFC) diketahui memiliki dampak negatif terhadap lingkungan karena dapat merusak lapisan ozon dan meningkatkan pemanasan global. Oleh karena itu, berbagai penelitian telah dilakukan untuk mencari refrigeran alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu refrigeran hidrokarbon yang banyak digunakan pada kulkas rumah tangga saat ini adalah R-600a (isobutana) yang memiliki potensi pemanasan global yang sangat rendah serta efisiensi energi yang baik dibandingkan refrigeran konvensional seperti R134a (Golabhanvi, 2018). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penggunaan refrigeran R-600a pada sistem kulkas rumah tangga dapat meningkatkan efisiensi energi dan nilai *Coefficient of Performance* (COP) dibandingkan refrigeran sebelumnya (Sudarma et al., 2025).

Dalam sistem refrigerasi, kinerja kulkas tidak hanya dipengaruhi oleh jenis refrigeran yang digunakan, tetapi juga oleh desain komponen serta kondisi operasi sistem. Salah satu komponen penting dalam sistem refrigerasi adalah kondensor, yaitu komponen yang berfungsi untuk melepaskan panas dari refrigeran ke lingkungan. Efektivitas pelepasan panas pada kondensor sangat dipengaruhi oleh luas permukaan perpindahan panas, yang salah satunya ditentukan oleh jumlah atau susunan pipa kondensor. Perubahan geometri kondensor dapat mempengaruhi proses perpindahan panas dan konsumsi energi pada sistem refrigerasi rumah tangga (Cho et al., 2020).

Selain itu, massa refrigeran dalam sistem juga merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi performa sistem refrigerasi. Jumlah refrigeran yang terlalu sedikit dapat menyebabkan proses pendinginan tidak optimal, sedangkan jumlah refrigeran yang

terlalu banyak dapat menyebabkan peningkatan tekanan kondensasi yang berdampak pada meningkatnya konsumsi energi. Penelitian yang dilakukan oleh (Babarinde et al., 2020) menunjukkan bahwa variasi massa refrigeran pada sistem kulkas rumah tangga dapat mempengaruhi kapasitas pendinginan, konsumsi daya, serta nilai COP sistem refrigerasi.

Selain faktor desain dan massa refrigeran, kecepatan aliran udara yang melewati kondensor juga mempengaruhi koefisien perpindahan panas konveksi. Peningkatan aliran udara pada kondensor dapat mempercepat proses pelepasan panas sehingga meningkatkan efisiensi sistem refrigerasi.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menganalisis pengaruh berbagai parameter terhadap kinerja sistem refrigerasi. Penelitian mengenai penggunaan refrigeran R-600a menunjukkan bahwa refrigeran ini dapat memberikan performa yang lebih baik dibandingkan refrigeran konvensional dalam hal efisiensi energi dan nilai COP (Sudarma et al., 2025). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa variasi massa refrigeran memiliki pengaruh signifikan terhadap performa sistem pendingin domestik (Babarinde et al., 2020). Selain itu, perubahan desain kondensor juga terbukti mempengaruhi konsumsi energi serta performa sistem refrigerasi rumah tangga (Cho et al., 2020). Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut hanya meneliti satu atau dua variabel secara terpisah, sehingga masih terdapat keterbatasan dalam memahami pengaruh beberapa parameter secara bersamaan terhadap performa sistem refrigerasi. Padahal dalam kondisi operasi nyata, performa kulkas dipengaruhi oleh kombinasi beberapa faktor seperti jumlah susunan pipa kondensor, massa refrigeran, dan kecepatan aliran udara pada kondensor.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi susunan pipa kondensor, massa refrigeran, dan kecepatan aliran udara kondensor terhadap performa kulkas dengan refrigeran R-600a. Dengan melakukan variasi pada beberapa parameter tersebut, diharapkan dapat diketahui pengaruh masing-masing variabel terhadap kinerja sistem pendingin serta diperoleh kondisi operasi yang menghasilkan performa sistem refrigerasi yang lebih optimal.

2. KAJIAN TEORITIS

Sistem Refrigerasi

Sistem refrigerasi merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk memindahkan panas dari suatu ruang bertemperatur rendah ke lingkungan bertemperatur lebih tinggi dengan bantuan energi eksternal. Proses ini memungkinkan terciptanya kondisi temperatur rendah yang dibutuhkan pada berbagai aplikasi seperti kulkas rumah tangga dan sistem pendingin

lainnya. Secara umum, sistem refrigerasi yang paling banyak digunakan adalah sistem refrigerasi kompresi uap. Sistem ini bekerja dalam siklus tertutup dengan empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Dalam prosesnya, refrigeran menyerap panas saat menguap di evaporator dan melepaskan panas saat mengembun di kondensor, sehingga terjadi perubahan fase dari cair ke uap dan kembali lagi secara berulang (Mahmood et al., 2021).

Sistem Kulkas

Kulkas (lemari es) merupakan salah satu aplikasi dari sistem refrigerasi yang bekerja berdasarkan prinsip siklus kompresi uap untuk menjaga suhu ruang penyimpanan tetap rendah. Sistem ini berfungsi untuk mengawetkan makanan dengan cara menyerap panas dari dalam ruang kulkas dan membuangnya ke lingkungan sekitar. Secara umum, kulkas rumah tangga terdiri dari beberapa komponen utama seperti kompresor, kondensor, pipa kapiler, dan evaporator yang saling terhubung dalam suatu siklus tertutup (Rusuminto Syahyunia et al., 2021).

Siklus Refrigerasi Kompresi Uap

Siklus refrigerasi kompresi uap merupakan siklus termodinamika yang paling umum digunakan pada sistem pendingin, termasuk kulkas dengan refrigeran hidrokarbon seperti R-600a. Siklus ini bekerja dengan memanfaatkan perubahan fase refrigeran yang secara bergantian mengalami proses evaporasi dan kondensasi dalam suatu sistem tertutup. Dalam siklus ini, refrigeran menyerap panas pada tekanan rendah di evaporator dan melepaskan panas pada tekanan tinggi di kondensor, sehingga memungkinkan terjadinya proses pendinginan (Ferdyson et al., 2025). Secara umum, siklus refrigerasi kompresi uap terdiri dari empat proses utama yaitu kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi.

Komponen Utama Sistem Refrigerasi

Sistem refrigerasi kompresi uap terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja secara siklus untuk memindahkan kalor dari ruang bersuhu rendah ke lingkungan bersuhu lebih tinggi. Komponen utama tersebut meliputi kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Keempat komponen ini saling terhubung dalam satu rangkaian tertutup dan berperan penting dalam menentukan kinerja sistem refrigerasi secara keseluruhan.

Refrigeran pada Sistem Pendingin

Refrigeran merupakan fluida kerja yang digunakan dalam sistem refrigerasi untuk menyerap dan melepaskan kalor melalui proses perubahan fase. Dalam siklus refrigerasi kompresi uap, refrigeran menyerap kalor di evaporator dan melepaskannya di kondensor (Ferdyson et al., 2025). Oleh karena itu, pemilihan refrigeran sangat berpengaruh terhadap

efisiensi energi, kapasitas pendinginan, serta dampak lingkungan dari sistem pendingin. Refrigeran yang baik harus memiliki sifat termodinamika yang sesuai, seperti titik didih rendah, tekanan kerja moderat, kalor laten penguapan tinggi, serta stabil secara kimia. Selain itu, aspek keamanan dan lingkungan juga menjadi pertimbangan penting, termasuk tingkat toksisitas, kemudahan terbakar, serta nilai Ozone Depletion Potential (ODP) dan Global Warming Potential (GWP). Refrigeran dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimia dan dampak lingkungannya. Secara umum, refrigeran dibagi menjadi beberapa jenis utama yaitu CFC, HCFC, HFC, dan hidrokarbon (HC) (Aisyah et al., 2024).

Refrigeran R-600a (Isobutana)

Refrigeran R-600a atau isobutana merupakan salah satu jenis refrigeran hidrokarbon yang banyak digunakan pada sistem pendingin rumah tangga seperti kulkas. Refrigeran ini memiliki sifat ramah lingkungan karena tidak merusak lapisan ozon ($ODP = 0$) dan memiliki nilai Global Warming Potential (GWP) yang sangat rendah dibandingkan refrigeran sintetis (Aisyah et al., 2024). Salah satu kelebihan utama R-600a adalah memiliki kinerja termodinamika yang baik, sehingga mampu menghasilkan nilai koefisien performa (COP) yang lebih tinggi dibandingkan refrigeran konvensional seperti R-134a (Maulani et al., 2024). Selain itu, penggunaan R-600a juga cenderung membutuhkan daya listrik yang lebih rendah, sehingga lebih hemat energi. Namun demikian, R-600a memiliki kekurangan yaitu bersifat mudah terbakar (flammable), sehingga memerlukan penanganan khusus dalam proses instalasi dan perawatan sistem refrigerasi (Ghanbarpour et al., 2021).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode *quasi experiment* yang dilaksanakan di Laboratorium Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya melalui perancangan, perakitan, dan pengujian alat uji sistem refrigerasi berbasis kulkas R-600a. Populasi penelitian berupa seluruh kondisi operasi sistem refrigerasi yang berkaitan dengan performa kulkas R-600a, sedangkan sampel ditentukan menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan variasi susunan pipa kondensor (U10, U12, dan U14), massa refrigeran (46, 48, dan 50 gram), serta kecepatan kipas kondensor (1000, 1200, dan 1300 rpm). Instrumen penelitian meliputi termometer gun, *single manifold gauge*, anemometer, tang ampere, timbangan, serta alat ukur pendukung lainnya untuk mengukur temperatur, tekanan, kecepatan aliran udara, arus listrik, dan massa refrigeran. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur dan eksperimen langsung dengan mencatat data temperatur (T_1 – T_4) dan tekanan (P_1 – P_4) pada setiap variasi pengujian setelah sistem mencapai kondisi *steady state*. Data yang diperoleh

kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk tabel serta grafik, lalu dianalisis secara kuantitatif dan deskriptif dengan membandingkan hasil setiap variasi untuk mengetahui pengaruh susunan pipa kondensor, massa refrigeran, dan kecepatan aliran udara terhadap performa sistem refrigerasi yang diukur melalui parameter *Coefficient of Performance* (COP), kapasitas pendinginan, dan efisiensi sistem, sehingga dapat ditentukan kondisi operasi yang paling optimal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

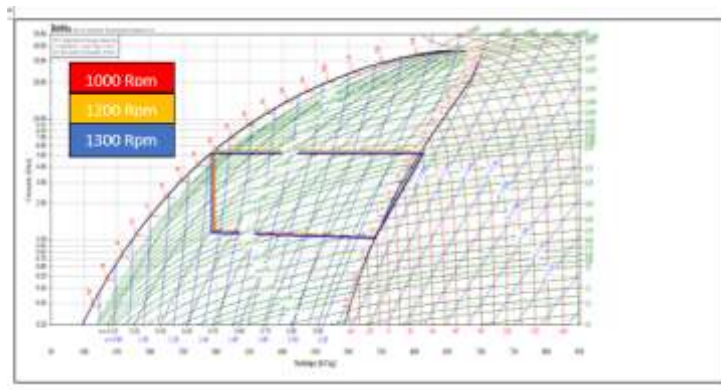
Perhitungan Termodinamika

Tabel 1. Hasil Perhitungan Termodinamika.

Pipa (U)	Kondensor	Masa Refigeran (gram)	Kecepatan kipas kondensor (Rpm)	Entalphy (kJ/kg)		
				h_1	h_2	$h_3 = h_4$
U10	46		1000	539,92	614,71	296,28
			1200	539,71	614,29	295,53
			1300	539,27	613,56	292,99
	48		1000	540,15	614,69	297,30
			1200	539,72	614,79	294,97
			1300	539,49	614,94	291,69
	50		1000	540,37	614,48	298,43
			1200	540,15	614,98	294,97
			1300	539,92	615,47	291,29
	46		1000	539,71	612,28	291,93
			1200	539,48	611,96	291,58
			1300	539,03	611,30	290,22
U12	48		1000	539,91	612,99	292,28
			1200	539,48	612,54	292,06
			1300	539,26	612,33	291,70
	50		1000	540,17	615,56	292,62
			1200	539,91	614,98	292,45
			1300	539,72	614,09	292,28
	46		1000	539,39	614,29	285,52
			1200	539,26	611,62	285,55
			1300	538,31	611,39	282,38
	48		1000	539,72	612,44	286,95
			1200	539,27	611,86	285,43
			1300	539,04	611,96	284,71
U14	50		1000	539,91	612,37	288,91
			1200	539,72	612,51	286,84
			1300	540,17	612,29	285,86

Diagram Tekanan–Entalpi (p-h) Sistem Refrigerasi

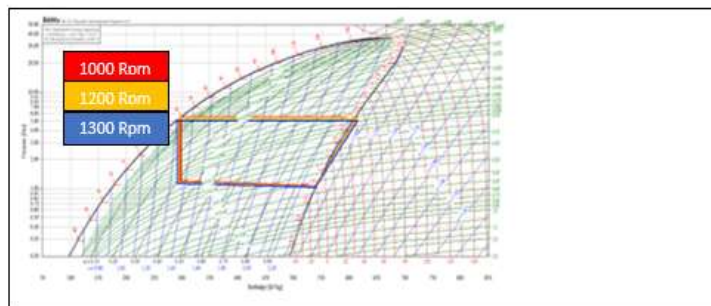
Diagram p-H susunan pipa kondensor U10 dan massa 46 gram dengan variasi kecepatan aliran udara kondensor



Gambar 1. Diagram Psikrometrik Pengaruh Variasi Putaran Kipas terhadap Kondisi Udara

Berdasarkan diagram P-h pada massa refrigeran 46 gram, peningkatan kecepatan kipas kondensor dari 1000 rpm menjadi 1300 rpm menyebabkan kurva siklus mengalami sedikit pergeseran ke arah kiri pada sisi kondensasi. Hal ini ditunjukkan oleh penurunan entalpi keluar kondensor atau entalpi setelah proses ekspansi dari 296,28 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 292,99 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan entalpi ini menunjukkan bahwa proses pelepasan kalor di kondensor berlangsung lebih efektif akibat meningkatnya laju aliran udara dari kipas kondensor. Dengan pendinginan kondensor yang lebih baik, refrigeran dapat melepaskan kalor lebih besar sehingga kondisi cairan setelah kondensor menjadi lebih baik dan kecenderungan subcooling meningkat. Sementara itu, entalpi masuk kompresor h_1 relatif stabil, yaitu dari 539,92 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 539,27 kJ/kg pada 1300 rpm. Perubahan yang kecil ini menunjukkan bahwa kondisi evaporator tidak mengalami perubahan signifikan meskipun kecepatan kipas kondensor dinaikkan. Entalpi keluar kompresor h_2 juga mengalami sedikit penurunan, yaitu dari 614,71 kJ/kg menjadi 613,56 kJ/kg. Kondisi ini mengindikasikan bahwa peningkatan pendinginan pada kondensor membantu menurunkan beban kondensasi, sehingga kerja kompresor per satuan massa refrigeran menjadi sedikit lebih rendah. Perubahan tersebut menyebabkan efek refrigerasi spesifik ($h_1 - h_4$) meningkat dari 243,64 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 246,28 kJ/kg pada 1300 rpm. Sebaliknya, kerja kompresor spesifik ($h_2 - h_1$) menurun dari 74,79 kJ/kg menjadi 74,29 kJ/kg. Kombinasi antara meningkatnya efek pendinginan dan menurunnya kerja kompresor menyebabkan nilai COP meningkat dari 3,26 pada 1000 rpm menjadi 3,32 pada 1300 rpm.

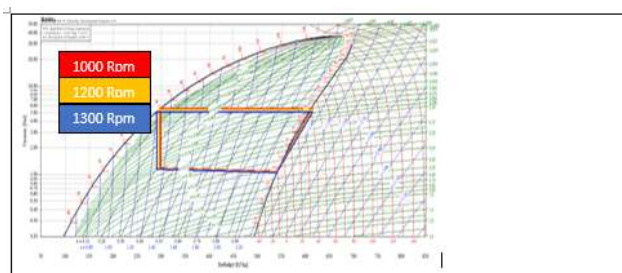
Diagram p-H susunan pipa kondensor U10 dan massa 48 gram dengan variasi kecepatan aliran udara kondensor



Gambar 2. Pengaruh Variasi Putaran Kipas terhadap Kondisi Udara

Berdasarkan diagram P-h R600a pada massa refrigeran 46 gram, peningkatan kecepatan kipas kondensor dari 1000 rpm hingga 1300 rpm menunjukkan adanya perbaikan proses pelepasan kalor pada kondensor. Hal ini terlihat dari penurunan entalpi keluar kondensor atau entalpi sebelum masuk evaporator h_4 , yaitu dari 297,30 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 291,69 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan nilai entalpi tersebut mengindikasikan bahwa semakin tinggi kecepatan kipas kondensor, semakin besar laju aliran udara yang melewati kondensor, sehingga proses pendinginan refrigeran berlangsung lebih efektif. Kondisi ini menyebabkan refrigeran melepaskan kalor lebih optimal dan berpotensi mengalami peningkatan derajat subcooling sebelum memasuki katup ekspansi. Entalpi masuk kompresor h_1 relatif konstan, yaitu berada pada kisaran 540,15–539,49 kJ/kg. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan kipas kondensor tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kondisi refrigeran pada sisi evaporator. Sementara itu, entalpi keluar kompresor h_2 mengalami sedikit peningkatan dari 614,69 kJ/kg menjadi 614,94 kJ/kg. Akibatnya, kerja kompresor spesifik ($h_2 - h_1$) meningkat dari 74,54 kJ/kg menjadi 75,45 kJ/kg. Namun, kenaikan kerja kompresor ini relatif kecil dibandingkan peningkatan efek refrigerasi yang terjadi. Efek refrigerasi spesifik ($h_1 - h_4$) meningkat dari 242,85 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 247,80 kJ/kg pada 1300 rpm.

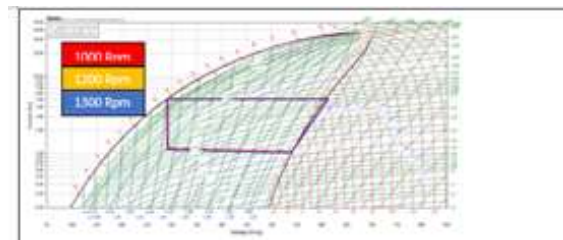
Diagram p-H susunan pipa kondensor U10 dan massa 50 gram dengan variasi kecepatan aliran udara kondensor



Gambar 3. Pengaruh Variasi Putaran Kipas (1000, 1200, dan 1300 RPM)

Terhadap Kondisi Udara Berdasarkan diagram P-h R600a pada massa refrigeran 50 gram, kenaikan kecepatan kipas kondensor dari 1000 rpm ke 1300 rpm paling jelas memengaruhi nilai entalpi pada sisi kondensor. Nilai entalpi keluar kondensor h_4 mengalami penurunan dari 298,43 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 291,29 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini terjadi karena semakin tinggi rpm kipas, semakin besar aliran udara yang melewati kondensor. Akibatnya, panas dari refrigeran lebih cepat dibuang ke lingkungan. Karena refrigeran kehilangan panas lebih banyak, kandungan energinya menurun. Inilah sebabnya nilai entalpi h_4 turun. Nilai entalpi masuk kompresor h_1 juga sedikit menurun, yaitu dari 540,37 kJ/kg menjadi 539,92 kJ/kg. Penurunannya sangat kecil, sehingga dapat dikatakan kondisi refrigeran setelah keluar evaporator relatif stabil. Artinya, kenaikan rpm kipas kondensor tidak terlalu besar pengaruhnya terhadap evaporator. Perubahan kecil ini menunjukkan bahwa proses penyerapan panas di evaporator masih berlangsung hampir sama pada setiap variasi rpm. Berbeda dengan h_4 dan h_1 , nilai entalpi keluar kompresor h_2 justru sedikit meningkat dari 614,48 kJ/kg menjadi 615,47 kJ/kg. Kenaikan ini menunjukkan bahwa setelah refrigeran dikompresi, kandungan energinya sedikit lebih tinggi. Hal ini wajar karena proses kompresi selalu menambahkan energi ke refrigeran. Namun, kenaikannya kecil, sehingga tidak menjadi perubahan utama pada grafik.

Diagram p-H susunan pipa kondensor U12 dan massa 46 gram dengan variasi kecepatan aliran udara kondensor

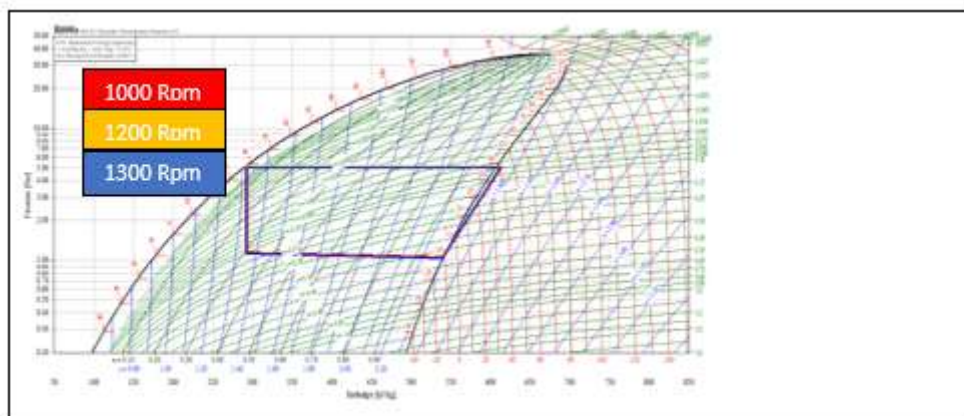


Gambar 4. Analisis Pengaruh Variasi Putaran Kipas terhadap Karakteristik Udara

Berdasarkan diagram P-h R600a pada massa refrigeran 46 gram, peningkatan kecepatan kipas kondensor dari 1000 rpm menjadi 1300 rpm menyebabkan penurunan nilai entalpi pada beberapa titik siklus. Entalpi masuk kompresor h_1 menurun sedikit dari 539,71 kJ/kg menjadi 539,03 kJ/kg. Penurunan ini tergolong kecil, sehingga kondisi refrigeran setelah keluar evaporator dapat dikatakan relatif stabil. Artinya, perubahan kecepatan kipas kondensor tidak terlalu besar memengaruhi sisi evaporator, tetapi tetap menunjukkan adanya sedikit penurunan energi refrigeran sebelum masuk ke kompresor. Entalpi keluar kompresor h_2 juga mengalami penurunan dari 612,28 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 611,30 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini terjadi karena peningkatan kecepatan kipas membuat proses pembuangan panas

di kondensor menjadi lebih efektif. Ketika kondensor lebih mudah membuang kalor ke lingkungan, tekanan dan temperatur kerja pada sisi kondensasi cenderung lebih rendah, sehingga energi refrigeran setelah proses kompresi juga sedikit menurun. Dengan kata lain, kompresor bekerja pada kondisi termal yang lebih ringan. Perubahan paling penting terlihat pada entalpi keluar kondensor atau entalpi sebelum masuk evaporator h_4 , yang turun dari 291,93 kJ/kg menjadi 290,22 kJ/kg. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran kipas, semakin besar aliran udara yang melewati kondensor. Akibatnya, kalor dari refrigeran lebih banyak dilepaskan ke lingkungan, sehingga kandungan energi refrigeran setelah kondensasi menjadi lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses kondensasi berlangsung lebih baik dan refrigeran menjadi lebih siap untuk menyerap kalor kembali di evaporator.

Diagram p-H susunan pipa kondensor U12 dan massa 48 gram dengan variasi kecepatan aliran udara kondensor

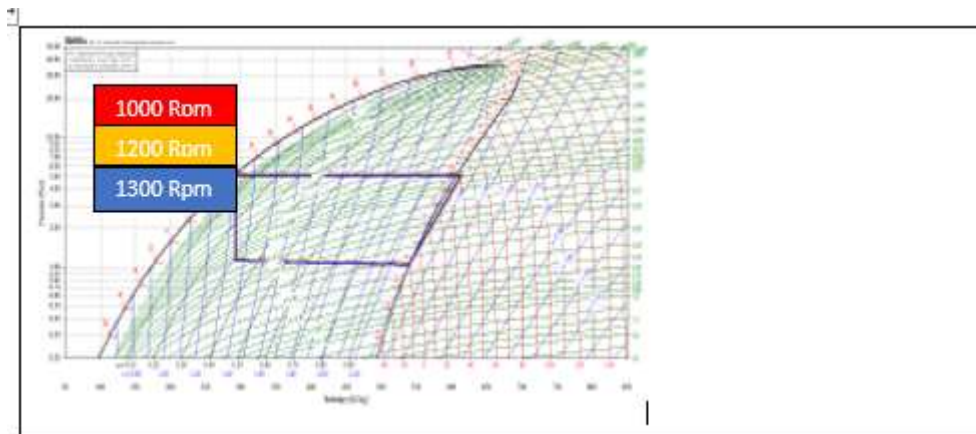


Gambar 5. Perbandingan Kondisi Udara pada Diagram Psikrometrik Berdasarkan Variasi Kecepatan Kipas

Berdasarkan diagram P-h R600a pada massa refrigeran 48 gram, peningkatan kecepatan kipas kondensor dari 1000 rpm hingga 1300 rpm menyebabkan penurunan nilai entalpi pada setiap titik utama siklus. Entalpi masuk kompresor h_1 menurun dari 539,91 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 539,26 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini relatif kecil, sehingga kondisi refrigeran setelah keluar evaporator dapat dikatakan masih stabil. Artinya, perubahan kecepatan kipas kondensor tidak memberikan pengaruh besar terhadap sisi evaporator, tetapi tetap menunjukkan bahwa energi refrigeran sebelum masuk kompresor sedikit berkurang. Entalpi keluar kompresor h_2 juga mengalami penurunan dari 612,99 kJ/kg menjadi 612,33 kJ/kg. Penurunan ini menunjukkan bahwa ketika kecepatan kipas kondensor meningkat, proses pembuangan panas pada kondensor menjadi lebih efektif. Kondensor yang bekerja lebih baik

dapat membantu menurunkan kondisi termal pada sisi tekanan tinggi, sehingga energi refrigeran setelah proses kompresi menjadi sedikit lebih rendah. Dengan kata lain, kompresor tidak menghasilkan kenaikan entalpi yang jauh berbeda pada setiap variasi rpm, karena perubahan nilai h_2 hanya kecil. Perubahan pada entalpi keluar kondensor atau entalpi sebelum masuk evaporator h_4 juga menunjukkan penurunan, yaitu dari 292,28 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 291,70 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini terjadi karena semakin tinggi putaran kipas, semakin besar aliran udara yang melewati kondensor. Akibatnya, panas dari refrigeran lebih mudah dilepaskan ke lingkungan. Ketika panas yang dilepas semakin besar, kandungan energi refrigeran setelah kondensasi menjadi lebih rendah. Oleh karena itu, kurva siklus pada daerah kondensasi tampak bergeser sedikit ke arah kiri pada diagram P-h.

Diagram p-H susunan pipa kondensor U12 dan massa 50 gram dengan variasi kecepatan aliran udara kondensor

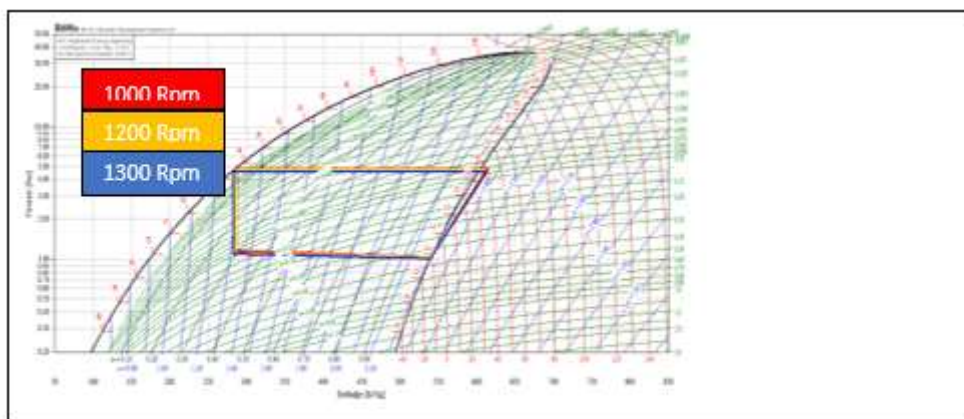


Gambar 6. Diagram Psikrometrik pada Variasi Kecepatan Putaran Kipas 1000 RPM, 1200 RPM, dan 1300 RPM (disarankan)

Berdasarkan diagram P-h R600a pada massa refrigeran 50 gram, peningkatan kecepatan kipas kondensor dari 1000 rpm menjadi 1300 rpm menyebabkan nilai entalpi pada titik-titik utama siklus mengalami penurunan. Entalpi masuk kompresor h_1 turun dari 540,17 kJ/kg menjadi 539,72 kJ/kg. Penurunan ini sangat kecil, yaitu hanya sekitar 0,45 kJ/kg, sehingga kondisi refrigeran setelah keluar evaporator dapat dikatakan relatif stabil. Artinya, perubahan kecepatan kipas kondensor tidak terlalu besar memengaruhi proses evaporasi. Entalpi keluar kompresor h_2 juga mengalami penurunan dari 615,56 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 614,09 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini terjadi karena peningkatan kecepatan kipas membuat proses pendinginan di kondensor menjadi lebih efektif. Ketika kondensor lebih mudah membuang panas ke lingkungan, temperatur dan tekanan kerja pada sisi kondensasi cenderung menurun. Akibatnya, energi refrigeran setelah proses kompresi juga menjadi lebih

rendah. Hal ini terlihat dari posisi garis kompresi pada diagram P-h yang sedikit bergeser. Entalpi keluar kondensor atau entalpi sebelum masuk evaporator h_4 juga menurun dari 292,62 kJ/kg menjadi 292,28 kJ/kg. Penurunan ini menunjukkan bahwa refrigeran melepaskan panas lebih baik di kondensor ketika kecepatan kipas dinaikkan. Semakin besar aliran udara yang melewati kondensor, semakin besar pula panas yang dapat dibuang dari refrigeran. Karena panas yang dilepaskan meningkat, kandungan energi refrigeran setelah kondensasi menjadi lebih rendah.

Diagram p-H susunan pipa kondensor U14 dan massa 46 gram dengan variasi kecepatan aliran udara kondensor

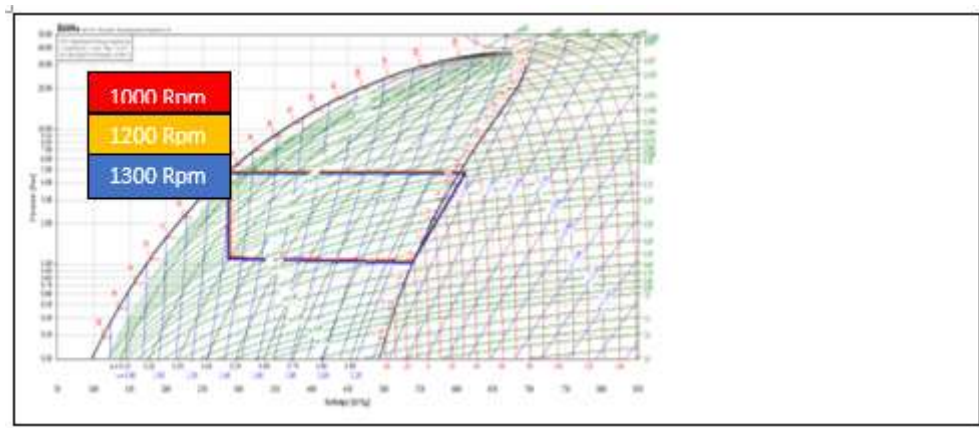


Gambar 7. Distribusi Kondisi Udara pada Diagram Psikrometrik untuk Variasi Kecepatan Kipas 1000–1300 RPM.

Berdasarkan diagram P-h R600a pada massa refrigeran 46 gram, peningkatan kecepatan kipas kondensor dari 1000 rpm menjadi 1300 rpm menyebabkan nilai entalpi pada siklus cenderung menurun. Entalpi masuk kompresor h_1 turun dari 539,39 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 538,31 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini menunjukkan bahwa kondisi refrigeran sebelum masuk kompresor memiliki kandungan energi yang sedikit lebih rendah. Namun, perubahan h_1 tidak terlalu besar, sehingga kondisi pada sisi evaporator masih dapat dikatakan relatif stabil. Entalpi keluar kompresor h_2 juga mengalami penurunan dari 614,29 kJ/kg menjadi 611,39 kJ/kg. Penurunan ini menunjukkan bahwa energi refrigeran setelah proses kompresi menjadi lebih rendah saat kecepatan kipas kondensor dinaikkan. Hal ini dapat terjadi karena kondensor bekerja lebih efektif dalam membuang panas, sehingga temperatur dan tekanan kerja pada sisi kondensasi cenderung lebih rendah. Akibatnya, beban termal setelah kompresi ikut menurun. Pada sisi keluar kondensor atau sebelum masuk evaporator, nilai h_4 berubah dari 285,52 kJ/kg pada 1000 rpm, sedikit naik menjadi 285,55 kJ/kg pada 1200 rpm, kemudian turun lebih jelas menjadi 282,38 kJ/kg pada 1300 rpm. Kenaikan kecil pada 1200 rpm sangat

kecil sehingga dapat dianggap kondisi hampir stabil. Penurunan yang lebih nyata pada 1300 rpm menunjukkan bahwa aliran udara kondensor semakin besar, sehingga panas dari refrigeran lebih banyak dilepaskan ke lingkungan. Karena panas yang dilepas semakin besar, kandungan energi refrigeran setelah kondensasi menjadi lebih rendah.

Diagram p-h susunan pipa kondensor U14 dan massa 48 gram dengan variasi kecepatan aliran udara kondensor

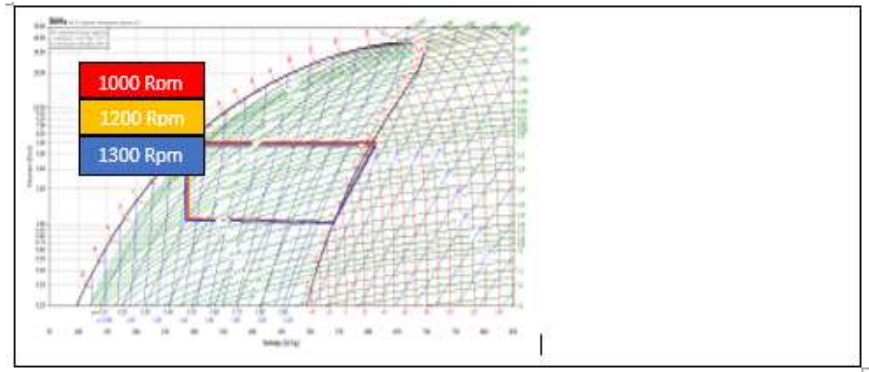


Gambar 8. Perbandingan Kondisi Udara pada Diagram Psikrometrik dengan Variasi Kecepatan Kipas

Berdasarkan diagram P-h R600a pada massa refrigeran 48 gram, peningkatan kecepatan kipas kondensor dari 1000 rpm menjadi 1300 rpm menyebabkan nilai entalpi refrigeran cenderung menurun, terutama pada sisi keluar kondensor. Entalpi masuk kompresor h_1 turun dari 539,72 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 539,04 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini relatif kecil, sehingga kondisi refrigeran setelah keluar evaporator masih dapat dikatakan stabil. Artinya, perubahan kecepatan kipas kondensor tidak terlalu dominan memengaruhi proses evaporasi, tetapi tetap menunjukkan adanya sedikit penurunan energi refrigeran sebelum masuk kompresor. Entalpi keluar kompresor h_2 menurun dari 612,44 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 611,86 kJ/kg pada 1200 rpm, kemudian sedikit naik menjadi 611,96 kJ/kg pada 1300 rpm. Kenaikan kecil pada 1300 rpm tidak terlalu signifikan karena nilainya masih lebih rendah dibandingkan kondisi 1000 rpm. Secara umum, penurunan h_2 menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan kipas membantu proses pembuangan panas pada kondensor, sehingga kondisi termal refrigeran setelah kompresi menjadi lebih rendah. Perubahan paling jelas terjadi pada entalpi keluar kondensor atau sebelum masuk evaporator h_4 , yaitu turun dari 286,95 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 284,71 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini terjadi karena semakin tinggi putaran kipas, semakin besar aliran udara yang melewati kondensor. Akibatnya, panas refrigeran lebih

banyak dilepaskan ke lingkungan. Karena refrigeran kehilangan panas lebih besar, kandungan energinya setelah keluar kondensor menjadi lebih rendah.

Diagram p-H susunan pipa kondensor U14 dan massa 50 gram dengan variasi kecepatan aliran udara kondensor



Gambar 9. Perbandingan Kondisi Udara pada Diagram Psikrometrik pada Kecepatan Putaran 1000 rpm, 1200 rpm, dan 1300 rpm

Berdasarkan diagram P-h R600a pada massa refrigeran 48 gram, peningkatan kecepatan kipas kondensor dari 1000 rpm menjadi 1300 rpm menyebabkan nilai entalpi refrigeran cenderung menurun, terutama pada sisi keluar kondensor. Entalpi masuk kompresor h_1 turun dari 539,72 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 539,04 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini relatif kecil, sehingga kondisi refrigeran setelah keluar evaporator masih dapat dikatakan stabil. Artinya, perubahan kecepatan kipas kondensor tidak terlalu dominan memengaruhi proses evaporasi, tetapi tetap menunjukkan adanya sedikit penurunan energi refrigeran sebelum masuk kompresor. Entalpi keluar kompresor h_2 menurun dari 612,44 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 611,86 kJ/kg pada 1200 rpm, kemudian sedikit naik menjadi 611,96 kJ/kg pada 1300 rpm. Kenaikan kecil pada 1300 rpm tidak terlalu signifikan karena nilainya masih lebih rendah dibandingkan kondisi 1000 rpm. Secara umum, penurunan h_2 menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan kipas membantu proses pembuangan panas pada kondensor, sehingga kondisi termal refrigeran setelah kompresi menjadi lebih rendah. Perubahan paling jelas terjadi pada entalpi keluar kondensor atau sebelum masuk evaporator h_4 , yaitu turun dari 286,95 kJ/kg pada 1000 rpm menjadi 284,71 kJ/kg pada 1300 rpm. Penurunan ini terjadi karena semakin tinggi putaran kipas, semakin besar aliran udara yang melewati kondensor. Akibatnya, panas refrigeran lebih banyak dilepaskan ke lingkungan. Karena refrigeran kehilangan panas lebih besar, kandungan energinya setelah keluar kondensor menjadi lebih rendah.

Hasil Perhitungan Performa Sitem***Laju Aliran Massa Refigeran ($\dot{m}$)*****Tabel 1.** Laju Aliran Massa Refigeran ($\dot{m}$)

Pipa Kondensor (U)	Massa (gram)	Refigeran	Kecepatan kondensor (Rpm)	kipas	$\dot{m}$ (Kg/s)
U10	46	U10	1000		0,0132
			1200		0,0139
			1300		0,0143
	48		1000		0,0150
			1200		0,0150
			1300		0,0151
	50		1000		0,0159
			1200		0,0165
			1300		0,0167
U12	46	U12	1000		0,0098
			1200		0,0099
			1300		0,0104
	48		1000		0,0156
			1200		0,0155
			1300		0,0160
	50		1000		0,0138
			1200		0,0139
			1300		0,0148
U14	46	U14	1000		0,0158
			1200		0,0157
			1300		0,0155
	48		1000		0,0164
			1200		0,0170
			1300		0,0165
	50		1000		0,0184
			1200		0,0179
			1300		0,0184

Kerja Kompresor Aktual (kW)**Tabel 2.** Kerja Kompresor Aktual

Pipa Kondensor (U)	Massa (gram)	Refigeran	Kecepatan kondensor (Rpm)	kipas (kW)	W
U10	46	U10	1000		0,97
			1200		1,03
			1300	1,06	
	48		1000	1,11	
			1200	1,12	
			1300	1,13	
	50		1000	1,17	
			1200	1,23	
			1300	1,26	
U12	46	U12	1000	0,71	
			1200	0,71	
			1300	0,75	
	48		1000	1,14	
			1200	1,13	
			1300	1,16	
	50		1000	1,04	
			1200	1,04	

U14	46	1300	1,10
		1000	1,18
		1200	1,13
		1300	1,13
	48	1000	1,19
		1200	1,23
		1300	1,20
		1000	1,33
	50	1200	1,30
		1300	1,32

Kapasitas Pendinginan (kW)

Tabel 3. Kapasitas Pendinginan

Pipa Kondensor (U)	Massa (gram)	Refigeran	Kecepatan kondensor (Rpm)	kipas	Q_c (kW)
U10	46		1000		3,22
			1200		3,39
			1300		3,58
			1000		3,64
	48		1200		3,67
			1300		3,74
			1000		3,84
			1200		4,04
	50		1300		4,15
			1000		2,42
			1200		2,45
			1300		2,58
U12	46		1000		3,85
			1200		3,83
			1300		3,96
			1000		3,41
	48		1200		3,43
			1300		3,66
			1000		4,00
			1200		3,98
	50		1300		3,97
			1000		4,14
			1200		4,31
			1300		4,19
U14	46		1000		4,62
			1200		4,53
			1300		5,65
			1000		
	48		1200		
			1300		
			1000		
			1200		

Coefficient of Performance (COP)

Tabel 4. Coefficient of Performance (COP)

Pipa Kondensor (U)	Massa Refigeran (gram)	V (Rpm)	Enthalpi (kj/kg)			$\dot{m}$ (Kg/s)	W (kW)	Q_c (kW)	COP
			h_1	h_2	$h_3 = h_4$				
	46	1000	539,92	614,71	296,280	0,0132	0,97	3,22	3,31
		1200	539,71	614,29	295,583	0,0139	1,03	3,39	3,29
		1300	539,27	613,56	292,990	0,0143	1,06	3,58	3,37
		1000	540,15	614,69	297,305	0,0150	1,11	3,64	3,27

U10	48	1200	539,72	614,79	294,975	0,0150	1,12	3,67	3,27
		1300	539,49	614,94	291,699	0,0151	1,13	3,74	3,30
		1000	540,37	614,48	298,432	0,0159	1,17	3,84	3,28
	50	1200	540,15	614,98	294,975	0,0165	1,23	4,04	3,28
		1300	539,92	615,47	291,296	0,0167	1,26	4,15	3,29
		1000	539,72	612,28	291,934	0,0098	0,71	2,42	3,40
U12	46	1200	539,49	611,96	291,584	0,0099	0,71	2,45	3,45
		1300	539,04	611,30	290,226	0,0104	0,75	2,58	3,44
		1000	539,21	612,99	292,287	0,0156	1,14	3,85	3,37
	48	1200	539,49	612,54	292,067	0,0155	1,13	3,83	3,38
		1300	539,27	612,33	291,704	0,0160	1,16	3,96	3,41
		1000	540,15	615,56	292,626	0,0138	1,04	3,41	3,27
	50	1200	539,92	614,98	292,455	0,0139	1,04	3,43	3,29
		1300	539,72	614,09	292,287	0,0148	1,10	3,66	3,32
		1000	539,49	614,29	285,521	0,0158	1,18	4,00	3,38
U14	46	1200	539,27	611,62	285,556	0,0157	1,13	3,98	3,52
		1300	538,81	611,39	282,382	0,0155	1,13	3,97	3,51
		1000	539,72	612,44	286,957	0,0164	1,19	4,14	3,47
	48	1200	539,27	611,86	285,438	0,0170	1,23	4,31	3,50
		1300	539,04	611,96	284,716	0,0165	1,20	4,19	3,49
		1000	539,92	612,37	288,910	0,0184	1,33	4,62	3,47
	50	1200	539,72	612,51	286,841	0,0179	1,30	4,53	3,48
		1300	539,49	612,29	285,863	0,0184	1,32	5,65	4,28

Pembahasan

Laju Aliran Massa Refrigeran ($\dot{m}_{ref}$)

Pada susunan pipa U10, peningkatan putaran kipas kondensor dari 1000 rpm hingga 1300 rpm secara umum meningkatkan nilai $\dot{m}_{ref}$ pada seluruh variasi massa refrigeran. Pada pengisian 46 gram, $\dot{m}_{ref}$ meningkat dari 0,0132 kg/s menjadi 0,0143 kg/s. Pada pengisian 48 gram, nilainya relatif stabil pada kisaran 0,0150–0,0151 kg/s. Sementara itu, pengisian 50 gram menghasilkan nilai $\dot{m}_{ref}$ tertinggi, meningkat dari 0,0159 kg/s menjadi 0,0167 kg/s. Hasil ini menunjukkan bahwa massa refrigeran yang lebih besar mampu meningkatkan sirkulasi refrigeran dan mendukung proses perpindahan kalor yang lebih optimal pada kondensor.

Pada susunan pipa U12, peningkatan putaran kipas cenderung meningkatkan nilai $\dot{m}_{ref}$ meskipun terjadi fluktuasi kecil. Pada pengisian 46 gram, $\dot{m}_{ref}$ meningkat dari 0,0098 kg/s menjadi 0,0104 kg/s. Pada pengisian 48 gram, nilai $\dot{m}_{ref}$ berfluktuasi dari 0,0156 kg/s menjadi 0,0155 kg/s dan meningkat kembali menjadi 0,0160 kg/s. Pada pengisian 50 gram, $\dot{m}_{ref}$ meningkat dari 0,0138 kg/s menjadi 0,0148 kg/s. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan udara pada kondensor dapat meningkatkan efektivitas kondensasi dan menjaga stabilitas aliran refrigeran.

Pada susunan pipa U14, perubahan putaran kipas tidak memberikan perubahan yang terlalu signifikan terhadap nilai $\dot{m}_{ref}$. Pada pengisian 46 gram, $\dot{m}_{ref}$ menurun dari 0,0158 kg/s menjadi 0,0155 kg/s. Pada pengisian 48 gram, nilai $\dot{m}_{ref}$ meningkat dari 0,0164 kg/s menjadi

0,0170 kg/s lalu menurun menjadi 0,0165 kg/s. Pengisian 50 gram menghasilkan nilai tertinggi, yaitu 0,0184 kg/s pada 1000 rpm, turun menjadi 0,0179 kg/s pada 1200 rpm, dan kembali meningkat menjadi 0,0184 kg/s pada 1300 rpm. Hasil ini menunjukkan bahwa massa refrigeran yang lebih besar mampu mempertahankan sirkulasi refrigeran yang lebih tinggi meskipun terjadi fluktuasi pada putaran menengah.

Kerja Kompresor Aktual

Pada susunan pipa U10, peningkatan putaran kipas kondensor cenderung meningkatkan kerja kompresor pada seluruh variasi massa refrigeran. Pada pengisian 46 gram, kerja kompresor meningkat dari 0,97 kW menjadi 1,06 kW. Pada pengisian 48 gram, nilainya relatif stabil pada kisaran 1,11–1,13 kW. Pengisian 50 gram menghasilkan nilai tertinggi, meningkat dari 1,17 kW menjadi 1,26 kW. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan massa refrigeran menyebabkan kompresor bekerja lebih berat untuk mensirkulasikan refrigeran dalam jumlah yang lebih besar.

Pada susunan pipa U12, peningkatan putaran kipas memberikan kecenderungan peningkatan kerja kompresor meskipun relatif kecil. Pada pengisian 46 gram, kerja kompresor meningkat dari 0,71 kW menjadi 0,75 kW. Pada pengisian 48 gram, nilainya berfluktuasi dari 1,14 kW menjadi 1,13 kW dan meningkat kembali menjadi 1,16 kW. Pada pengisian 50 gram, kerja kompresor meningkat dari 1,04 kW menjadi 1,10 kW. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh kecepatan aliran udara terhadap beban kompresor pada konfigurasi U12 bersifat moderat.

Pada susunan pipa U14, kerja kompresor menunjukkan pola fluktuatif. Pada pengisian 46 gram, nilainya menurun dari 1,18 kW menjadi 1,13 kW. Pada pengisian 48 gram, kerja kompresor meningkat dari 1,19 kW menjadi 1,23 kW lalu menurun menjadi 1,20 kW. Pada pengisian 50 gram, nilainya berada pada kisaran 1,30–1,33 kW. Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan kecepatan udara pada kondensor tidak selalu memberikan perubahan linear terhadap beban kompresor.

Kapasitas Pendinginan (Q_c)

Pada susunan pipa U10, peningkatan putaran kipas kondensor cenderung meningkatkan kapasitas pendinginan. Pada pengisian 46 gram, nilai Q_c meningkat dari 2,58 kW menjadi 2,83 kW. Pada pengisian 48 gram, Q_c meningkat dari 2,91 kW menjadi 3,04 kW. Pada pengisian 50 gram, Q_c meningkat dari 3,07 kW menjadi 3,26 kW pada 1200 rpm, kemudian menurun menjadi 3,04 kW pada 1300 rpm. Hasil ini menunjukkan bahwa setelah mencapai kondisi optimum, peningkatan kecepatan aliran udara tidak selalu menghasilkan peningkatan performa secara berkelanjutan.

Pada konfigurasi pipa U12, kapasitas pendinginan menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya putaran kipas. Pada pengisian 46 gram, Q_c meningkat dari 2,42 kW menjadi 2,58 kW. Pada pengisian 48 gram, Q_c mencapai nilai tertinggi, yaitu 3,85 kW pada 1000 rpm, sedikit turun menjadi 3,83 kW pada 1200 rpm, dan meningkat menjadi 3,96 kW pada 1300 rpm. Pada pengisian 50 gram, Q_c meningkat dari 3,41 kW menjadi 3,66 kW. Temuan ini menunjukkan bahwa pengisian refrigeran 48 gram memberikan kondisi operasi yang paling optimal pada konfigurasi U12.

Pada susunan pipa U14, pengaruh putaran kipas terhadap kapasitas pendinginan bervariasi pada setiap massa refrigeran. Pada pengisian 46 gram, Q_c relatif stabil pada kisaran 3,97–4,00 kW. Pada pengisian 48 gram, Q_c meningkat dari 4,14 kW menjadi 4,31 kW lalu menurun menjadi 4,19 kW. Pada pengisian 50 gram terjadi peningkatan paling signifikan, dari 4,62 kW menjadi 5,65 kW pada 1300 rpm. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi massa refrigeran yang lebih besar dan putaran kipas tinggi mampu meningkatkan efektivitas pelepasan kalor dan kapasitas pendinginan secara signifikan.

Coefficient of Performance (COP)

Pada susunan kondensor U10, perubahan putaran kipas memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap nilai COP . Pada pengisian 46 gram, COP berubah dari 3,31 menjadi 3,37. Pada pengisian 48 gram, nilainya meningkat dari 3,27 menjadi 3,30. Pada pengisian 50 gram, COP meningkat tipis dari 3,28 menjadi 3,29. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem cenderung bekerja stabil dan peningkatan putaran kipas hanya memberikan pengaruh kecil terhadap efisiensi.

Pada susunan kondensor U12, peningkatan putaran kipas cenderung meningkatkan nilai COP . Pada pengisian 46 gram, COP meningkat dari 3,40 menjadi 3,45 lalu sedikit menurun menjadi 3,44. Pada pengisian 48 gram, COP meningkat dari 3,37 menjadi 3,41. Pada pengisian 50 gram, COP meningkat dari 3,27 menjadi 3,32. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pelepasan kalor pada kondensor menjadi lebih efektif sehingga efisiensi sistem meningkat.

Pada susunan kondensor U14, pengaruh putaran kipas terhadap COP menunjukkan pola yang bervariasi. Pada pengisian 46 gram, COP meningkat dari 3,38 menjadi 3,50 lalu sedikit menurun menjadi 3,49. Pada pengisian 48 gram, nilainya relatif stabil pada kisaran 3,47–3,49. Sementara itu, pada pengisian 50 gram terjadi peningkatan yang sangat signifikan dari 3,47 pada 1000 rpm menjadi 4,28 pada 1300 rpm. Temuan ini menunjukkan bahwa pada putaran kipas tertinggi, proses pelepasan kalor di kondensor menjadi lebih efektif sehingga meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sistem refrigerasi dengan variasi jumlah pipa kondensor (U10, U12, dan U14), massa refrigeran (46 gram, 48 gram, dan 50 gram), serta kecepatan kipas kondensor (1000 rpm, 1200 rpm, dan 1300 rpm), dapat disimpulkan bahwa performa sistem sangat dipengaruhi oleh ketiga parameter tersebut: a.) onfigurasi terbaik diperoleh pada kondensor U14 dengan massa refrigeran 50 gram dan kecepatan kipas 1300 rpm, yang menghasilkan nilai COP tertinggi sebesar 4,28, kapasitas pelepasan kalor kondensor (Q_c) sebesar 5,65 kW, serta laju aliran massa refrigeran sebesar 0,0184 kg/s. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem bekerja paling efisien dalam menghasilkan efek pendinginan terhadap energi yang digunakan oleh kompresor;b.) Penambahan jumlah pipa kondensor dari U10 ke U14 meningkatkan kemampuan perpindahan panas kondensor. Hal ini terlihat dari kecenderungan meningkatnya nilai Q_c dan COP pada kondensor U14 dibandingkan U10 dan U12. Luas permukaan perpindahan panas yang lebih besar memungkinkan refrigeran melepaskan kalor lebih efektif sehingga proses kondensasi berlangsung lebih sempurna;c.) Kecepatan kipas kondensor yang lebih tinggi cenderung meningkatkan kinerja sistem. Pada kecepatan 1300 rpm, aliran udara yang melewati kondensor menjadi lebih besar sehingga pelepasan kalor ke lingkungan berlangsung lebih cepat. Akibatnya temperatur dan tekanan kondensasi menurun, kerja sistem menjadi lebih stabil, dan nilai COP meningkat;d.) Kondensor U14 menunjukkan performa paling konsisten dan unggul dibandingkan U10 dan U12. Selain menghasilkan COP tertinggi, kondensor U14 juga memiliki nilai Q_c yang lebih besar dan laju aliran massa refrigeran yang relatif tinggi, menandakan proses perpindahan panas yang lebih efektif.

Secara keseluruhan, kombinasi kondensor U14, massa refrigeran 50 gram, dan kecepatan kipas kondensor 1300 rpm merupakan kondisi operasi yang paling optimal, karena mampu menghasilkan kapasitas pelepasan kalor terbesar dan nilai COP tertinggi, sehingga efisiensi sistem refrigerasi menjadi yang terbaik di antara seluruh variasi pengujian yang dilakukan

DAFTAR REFERENSI

- Aisyah, N., Ariyadi, H. M., Pratiwi, I. A., & No, J. G. (2024). *Evaluasi pemilihan refrigeran ramah lingkungan untuk sistem pemanfaatan panas buang mesin diesel*. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 19(2), 317–326.
- Aized, T., Rashid, M., Riaz, F., Hamza, A., Nabi, H. Z., Sultan, M., Ashraf, W. M., & Krzywanski, J. (2022). *Energy and exergy analysis of vapor compression refrigeration system with low-GWP refrigerants*.
- Babarinde, T. O., Akinlabi, S. A., & Madyira, D. M. (2020). Energy performance evaluation of R600a/MWCNT-nanolubricant as a drop-in replacement for R134a in household refrigerator system. *Energy Reports*, 6, 639–647. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.132>
- Cho, W., Jang, D. S., Lee, S. H., Yun, S., & Kim, Y. (2020). Refrigerant charge reduction in R600a domestic refrigerator-freezer by optimizing hot-wall condenser geometry. *International Journal of Refrigeration*. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2020.05.012>
- Ferdyson, K., & Berkah Fajar Tamtomo, S. (2025). Analisis energi dan eksergi sistem Rankine organik dan sistem. 10(2), 466–480.
- Ghanbarpour, M., Mota-Babiloni, A., Badran, B. E., & Khodabandeh, R. (2021). Energy, exergy, and environmental (3E) analysis of hydrocarbons as low-GWP alternatives to R134a in vapor compression refrigeration configurations. *Applied Sciences*.
- Golabhanvi, S. (2018). Thermal and performance analysis of R600a in vapour compression cycle. 35, 35–40.
- Lee, H., Kim, H., & Cho, Y. (2023). Development of in situ refrigeration cycle measurement method using air-side data of air source heat pump. *Applied Sciences*.
- Mahmood, R. A., Ali, O. M., & Noor, M. M. (2021). Review of mechanical vapour compression refrigeration system part 2: Performance challenge. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 26(3), 119–130. <https://doi.org/10.2478/ijame-2021-0039>
- Mainil, R. I., Deswita, N., Mainil, A. K., & Aziz, A. (2020). Kondisi kerja mesin refrigerasi kompresi uap pada variasi massa refrigeran hidrokarbon. 19, 63–68.
- Maulani, Y. P., Pramudiantoro, T. P., Premiera, P., & Kunci, K. (2024). Pengaruh pergantian refrigeran R134a menjadi R600a terhadap nilai tekanan, COP dan arus listrik pada sistem boks pendingin. 24–25.
- Rusuminto Syahyuniar, R., Putra, M. R. F., Noor, A., & F., Y. (2021). Perancangan simulator sistem sirkulasi pendingin. 8(2), 96–100.
- Saha, B. B. (2022). *Domestic air conditioning applications*.
- Sudarma, A. F., Carles, H., Azhar, A., Akmal, M., & Sirait, A. F. (2025). Performance analysis of R600a as a replacement for R134a in a household refrigeration system. 14(2), 99–108.
- Xu, X., & Yuan, Z. (2024). Research on heat transfer characteristics of plate evaporators for cold storage.