



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

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

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



Pengaruh Jumlah Bilah *Extra Fan* Terhadap Penurunan Suhu Kondensor Pada *Trainer Air Conditioner* Mobil

Deny Prasetyo¹, Nike Nur Farida^{2*}

¹Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomotif Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo Lowokwaru Malang 65141

²Program Studi D4 Teknologi Rekayasa Otomotif Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo Lowokwaru Malang 65141

ARTICLE INFO

Keywords:

Air Conditioner
Number of Blades
Condenser
Extra Fan
Blade Angle

ABSTRACT

The condenser cooling system plays an important role in maintaining the stability of refrigerant pressure and temperature in a car air conditioning system. The effectiveness of heat dissipation in the condenser is strongly influenced by the airflow characteristics generated by the extra fan. This study aims to determine the effect of variations in the number of blades, namely 7, 10, and 13 blades, and blade tilt angles of 15° and 30° on condenser temperature reduction performance in a car AC trainer. The experimental method was conducted under operating conditions of 3000 RPM and an ambient temperature of 30°C, using a test device integrated with an Arduino Nano microcontroller as a data acquisition and control unit.. Thermocouple sensors were used to monitor temperature changes in real time, while the fan blades were manufactured using 3D printing technology to achieve the desired blade angle configuration. The results indicate that blade geometry affects condenser cooling performance. The highest condenser temperature reduction was obtained using the 10-blade configuration with a 15° blade angle, with an average temperature drop of 44.67°C. This result shows that the highest airflow rate does not always produce the greatest temperature reduction, indicating that airflow distribution may also influence the heat dissipation process. The pressure drop measured across the condenser was 0 bar for all variations; therefore, it was used as supporting data rather than the main performance indicator.

*Corresponding author: nikenfarida@polinema.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.11510>

Received 5 May 2026; Received in revised form 27 June 2026; Accepted 6 July 2026

Available online 1 September 2026

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki suhu udara relatif tinggi, berkisar antara 29°C hingga 36°C dengan tingkat kelembapan udara mencapai 70–80%[1]. Peran kondensor sangat penting dalam sistem air conditioner, memiliki fungsi utama untuk mengubah gas panas menjadi cair dengan bantuan *extra fan*. Selain itu, *extra fan* adalah kipas tambahan berfungsi untuk membantu membuang panas dari kondensor sehingga kinerja sistem pendingin pada air conditioner bekerja secara optimal.

Sudut dan jumlah bilah kipas telah dibuktikan berperan penting dalam mengatur pola aliran udara dan efektivitas pelepasan panas pada berbagai sistem termal. Pada aspek variasi sudut bilah, simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada kipas aksial menunjukkan bahwa sudut tertentu dapat meratakan distribusi aliran udara[2]. Penelitian lain terkait desain kipas, turbin hidrokinetik, hingga *contra-rotating axial flow fan* tambang juga membuktikan bahwa optimasi sudut bilah, baik berupa *stagger angle*, *camber*, maupun optimasi *spanwise*, secara signifikan mampu mengurangi kerugian aliran, meningkatkan daya, dan menaikkan efisiensi sistem [3], 4, 5]. Sementara itu, pada aspek jumlah dan fitur bilah, penambahan jumlah bilah serta penggunaan fitur seperti *skew angle* atau slot terbukti dapat meningkatkan laju dan distribusi aliran udara, menurunkan *thermal resistance*, dan memperbaiki efisiensi perpindahan panas pada aplikasi modul baterai [6]. dan *rotating fan-sink* radiator [7]. serta kipas aksial secara umum[8][9], [10].

Meskipun penelitian sebelumnya telah menyajikan analisis aliran udara dan performa kipas yang komprehensif, sebagian besar penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan. Keterbatasan pertama adalah pendekatan metode; banyak evaluasi performa kipas (seperti pada variasi

sudut 10°–45°) masih terbatas pada simulasi numerik dan belum divalidasi secara eksperimental pada sistem termal yang nyata [2]. Keterbatasan kedua terletak pada konteks aplikasi sebagian besar optimasi jumlah bilah dan desain kipas diaplikasikan pada sistem di luar kondensor air conditioner (AC) mobil, seperti pada pendinginan baterai [6], komponen radiator [7], maupun sistem ventilasi tambang [5], di mana parameter utamanya bukan spesifik pada efektivitas pendinginan refrigeran.

Oleh karena itu, terdapat celah penelitian (*research gap*) yang nyata dan belum dieksplorasi secara komprehensif, yaitu belum adanya investigasi eksperimental secara langsung mengenai dampak kombinasi optimasi jumlah bilah dan sudut bilah *extra fan* terhadap performa perpindahan panas secara spesifik pada kondensor AC mobil. Penelitian terdahulu belum memetakan secara tegas bagaimana interaksi kedua variabel desain kipas tersebut mampu memaksimalkan penurunan suhu refrigeran pada kondisi riil AC kendaraan. Untuk mengisi celah penelitian tersebut, penelitian ini secara spesifik berfokus pada evaluasi eksperimental pengaruh variasi sudut bilah *extra fan* (15° dan 30°) yang dipadukan dengan variasi jumlah bilah (7, 10, dan 13 bilah) terhadap performa termal kondensor AC mobil. Konfigurasi standar (sudut 30° dengan 10 bilah) digunakan sebagai pembanding utama. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, parameter keberhasilan utama dalam studi ini difokuskan langsung pada suhu kondensor, karena penurunan suhu kondensor secara empiris merepresentasikan tingkat efektivitas proses pelepasan panas refrigeran. Semakin rendah suhu kondensor, proses kondensasi akan berlangsung lebih optimal sehingga meningkatkan efisiensi siklus pendinginan, menurunkan beban kerja kompresor, dan menghasilkan performa AC yang lebih stabil. Hasil penelitian ini diharapkan tidak hanya menghasilkan inovasi desain *extra fan* yang efektif, tetapi juga dapat

dimanfaatkan sebagai bahan ajar praktikum laboratorium otomotif yang relevan dengan kondisi industri saat ini.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen pada *trainer air conditioner* (AC) mobil untuk menganalisis pengaruh variasi sudut bilah dan jumlah bilah *extra fan* terhadap penurunan suhu kondensor. Variabel bebas yang digunakan adalah sudut bilah *extra fan* sebesar 15° dan 30° serta jumlah bilah sebanyak 7, 10, dan 13 bilah. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah penurunan suhu kondensor (ΔT), sedangkan variabel kontrol meliputi jenis refrigeran R-134a, putaran *extra fan* sebesar 3000 rpm untuk menghasilkan aliran udara yang stabil, jarak antara *fan* dan kondensor sebesar (6 cm) sebagai parameter tetap dalam pengujian, suhu lingkungan 30°C, serta durasi pengambilan data selama 3 menit pada setiap variasi pengujian. Pengujian dilakukan menggunakan konfigurasi standar *extra fan* dengan sudut bilah 30° dan jumlah bilah 10 sebagai kondisi pembanding untuk mengevaluasi pengaruh perubahan sudut dan jumlah bilah terhadap performa pendinginan kondensor pada *trainer air conditioner* mobil.

Tabel 1 Jenis variabel variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol

Jenis variabel	Parameter
Variabel bebas	Sudut bilah (15°, 30°) Jumlah bilah (7,10,13)
Variabel terikat	Penurunan suhu kondensor (ΔT)
Variabel kontrol	Refrigeran R-134a Putaran <i>extra fan</i> 3000 rpm Jarak fan-kondensor 6 cm Suhu lingkungan 30° Waktu pengujian 3 menit
Pembanding	Konfigurasi standar <i>extra fan</i>

diharapkan dapat mempengaruhi aliran udara yang melewati kondensor sehingga proses pelepasan panas dapat

terjadi secara lebih optimal, sehingga data yang diperoleh lebih akurat dan mudah diamati.

Pada penelitian ini menggunakan pengukuran suhu masuk dan keluar kondensor sebagai data utama. Pengukuran *temperature* kondensor dilakukan menggunakan sensor *thermocouple* yang dipasang pada dua titik utama, yaitu pada bagian masuk (*in*) kondensor untuk mengukur suhu refrigeran sebelum proses pelepasan panas, dan pada bagian keluar (*out*) kondensor untuk mengetahui suhu setelah proses kondensasi. Dengan pengaturan kondisi pengujian yang terkontrol tersebut, diharapkan data yang diperoleh mampu merepresentasikan pengaruh variasi sudut dan jumlah bilah *extra fan* terhadap performa penurunan suhu kondensor secara lebih akurat dan sistematis menggunakan persamaan:

$$\Delta T = T_{in} - T_{out}$$

dimana:

- ΔT = selisih suhu kondensor (°C)
- T_{in} = suhu masuk kondensor (°C)
- T_{out} = suhu keluar kondensor (°C)

Ketika nilai dari laju alir pendingin tidak ditemukan, maka digunakan persamaan kesetimbangan persamaan seperti perhitungan diatas [11].

$$Q = A \times v$$

Dimana:

- Q : debit aliran udara (m³/s)
- A : Luas penampang efektif yang dilalui udara (m²)
- v : Kecepatan rata-rata udara (m/s)

Persamaan kontinuitas merupakan persamaan dasar mekanika fluida yang menyatakan bahwa debit aliran fluida diperoleh dari hasil perkalian luas penampang aliran dan kecepatan rata-rata fluida yang melewati penampang tersebut [12]. Dalam penelitian ini, kecepatan aliran

udara diukur menggunakan anemometer yang ditempatkan pada sisi keluaran aliran udara *extra fan*. Nilai kecepatan yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung debit aliran udara yang melewati permukaan kondensor. Metode pengukuran ini banyak digunakan pada penelitian sistem ventilasi, kipas aksial, dan sistem pendingin udara karena mampu menggambarkan karakteristik aliran udara yang berpengaruh terhadap proses perpindahan panas[13]. Seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Pengambilan data kecepatan udara

Luas penampang efektif aliran udara yang digunakan dalam perhitungan debit ditentukan berdasarkan luas area yang dilalui udara pada kipas aksial. Karena terdapat hub (poros tengah) yang tidak dilalui aliran udara, maka luas penampang efektif dihitung sebagai selisih antara luas lingkaran luar kipas dan luas hub tengah kipas[6]. Sebagaimana ditunjukkan pada luas penampang efektif yang dilalui udara dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

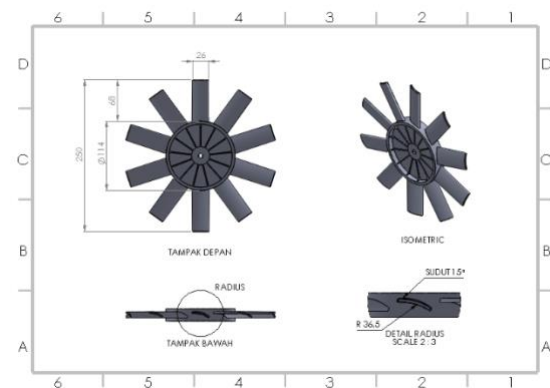
$$A = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_h^2)$$

Dimana:

- A : Luas penampang efektif yang dilalui udara (m²)
- D_o : Diameter luar kipas (m)
- D_h : Diameter hub tengah kipas (m)

Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan area efektif aliran udara pada kipas aksial sehingga perhitungan debit udara yang diperoleh dari persamaan kontinuitas ($Q=A \times v$) dapat merepresentasikan luas penampang aktual yang dilalui aliran udara. Nilai diameter luar kipas dan diameter hub tengah diukur secara langsung menggunakan alat ukur dimensi[6]. Sebelum proses pengujian dilakukan didapatkan mengukur diameter luar adalah 0,25 m dan diameter hub adalah 0,114 meter. Sehingga luas penampang efektif yang dilalui udara adalah 0,038 m².

Desain *Extra Fan*



Gambar 2. *Extra Fan*

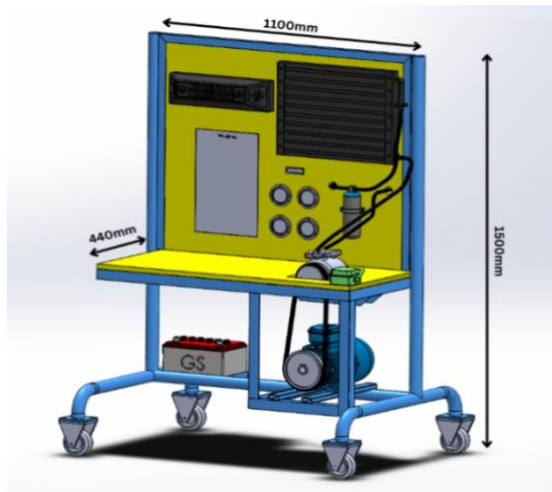
Gambar desain *extra fan* (kipas tambahan) dibuat menggunakan *software solidworks* dengan tampilan lengkap berupa tampak depan, tampak bawah, dan isometrik. Ditunjukkan pada gambar 2.

Desain pada gambar 2 menunjukkan kipas dengan jumlah bilah tertentu yang memiliki sudut kemiringan sebesar 15°, serta dilengkapi detail ukuran seperti diameter total ± 250 mm, diameter hub ± 114 mm, dan panjang bilah sekitar 68 mm. pada bagian bawah juga ditunjukkan profil lengkungan (radius) bilah sebesar R 36,5 yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi aliran udara.

Dalam proses pembuatannya, model dirancang secara 3D di *solidworks* dengan memperhatikan parameter utama seperti jumlah bilah, sudut bilah, dan dimensi keseluruhan. Setelah desain selesai, file di ekspor ke format STL untuk keperluan manufaktur menggunakan teknologi 3D printing.

Material yang digunakan adalah filamen, umumnya berupa PLA *filament* atau alternatif lain seperti ABS *filament*, yang memiliki karakteristik ringan, cukup kuat, dan mudah dicetak. Proses pencetakan dilakukan menggunakan printer 3D tipe *Fused Deposition Modeling* (FDM), dimana *filament* dipanaskan hingga meleleh dan disusun lapis demi lapis hingga membentuk objek sesuai desain.

Proses pengambilan data penelitian dilakukan pada *trainer* AC mobil seperti pada gambar 3 adalah alat peraga atau media pembelajaran yang digunakan untuk mempelajari cara kerja sistem pendinginan udara AC pada kendaraan. *Trainer* ini biasanya berupa rangkaian komponen AC mobil asli seperti kompresor, kondensor, evaporator, dan katup ekspansi yang disusun dalam satu unit sehingga mudah diamati dan di uji. Dengan *trainer* AC mobil, pengguna (siswa atau teknisi) dapat memahami prinsip kerja, aliran refrigeran, serta proses pendinginan secara langsung tanpa harus membongkar mobil, selain itu, alat ini juga digunakan untuk latihan perawatan, pengukuran, dan analisis kerusakan pada sistem AC mobil.



Gambar 3 Desain Trainer AC

Pada *trainer* sistem AC tersebut juga dilengkapi sistem monitoring berbasis sensor suhu serta menggunakan Arduino Nano digunakan sebagai unit pengolah utama dalam sistem berbasis mikrokontroler ATmega328P yang memiliki 14 pin digital *input/output* dan 8 pin analog *input*.

Perangkat ini berperan dalam mengintegrasikan seluruh proses sistem, mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data, hingga pengendalian *output* secara *real-time*. Sejalan dengan pendekatan sistem terintegrasi, Arduino Nano memastikan setiap data dari sensor dapat diproses secara cepat dan akurat, dengan dukungan ukuran yang ringkas serta kemudahan pemrograman melalui Arduino IDE untuk membangun logika kontrol yang sistematis [14], dalam mendukung proses *monitoring*, LCD I2C 20x4 digunakan sebagai media visualisasi *output* sistem yang menampilkan hasil pengolahan data secara langsung. Penggunaan komunikasi I2C memberikan efisiensi dalam penggunaan pin mikrokontroler, sehingga integrasi perangkat keras menjadi lebih optimal. Data yang telah diproses oleh Arduino Nano tidak hanya dapat dipantau melalui serial monitor pada komputer, tetapi juga ditampilkan secara *real-time* pada LCD, sehingga memudahkan proses observasi dan pencatatan hasil pengukuran selama sistem berlangsung [15].

Selanjutnya, komponen *thermocouple* digunakan sebagai sensor utama dalam proses akuisisi temperatur yang menjadi parameter penting dalam sistem. Untuk meningkatkan akurasi pembacaan, digunakan modul MAX6675 yang berfungsi melakukan kompensasi *cold junction* sekaligus mengolah sinyal sensor menjadi data digital. Dengan rentang pengukuran suhu 0°C hingga $\pm 1024^{\circ}\text{C}$, sistem mampu memperoleh data temperatur secara akurat dan konsisten sebagai dasar analisis kinerja, khususnya pada sistem pendingin [16]. Data temperatur yang diperoleh kemudian berkaitan langsung dengan kinerja kondensor yang dipengaruhi oleh *extra fan*. *Extra fan* berfungsi meningkatkan aliran udara yang melewati kondensor sehingga proses pelepasan panas dari refrigeran dapat berlangsung lebih cepat dan efisien. Aliran udara yang optimal mempercepat penurunan suhu refrigeran dan perubahan fase dari gas menjadi cair,

sehingga kinerja sistem pendingin menjadi lebih stabil dan efisien secara keseluruhan [17]. Untuk mendukung kinerja seluruh komponen tersebut, diperlukan sumber catu daya yang stabil, salah satunya melalui penggunaan adaptor. Adaptor merupakan perangkat elektronika yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik serta mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) sesuai kebutuhan sistem. Umumnya, adaptor mengubah tegangan listrik PLN 220 *Volt* AC menjadi tegangan DC yang lebih rendah seperti 5 *Volt*, 12 *Volt*, atau 24 *Volt* untuk menyuplai mikrokontroler, sensor, dan modul lainnya. Selain itu, terdapat juga adaptor yang bersumber dari baterai maupun adaptor yang hanya menurunkan tegangan tanpa mengubah jenis arusnya (AC ke AC). Dengan adanya adaptor sebagai sumber daya, seluruh sistem dapat bekerja secara stabil dan terintegrasi dalam mendukung proses pengukuran dan pengendalian yang optimal [18].

Hasil dan pembahasan

Pengujian dilakukan pada kondisi operasi yang dijaga tetap, yaitu suhu lingkungan 30°C, putaran *extra fan* 3000 rpm, luas penampang efektif 0,038 m². Variasi yang diuji terdiri atas jumlah bilah 7, 10, dan 13 pada sudut bilah 15° dan 30°. Variabel utama yang diamati adalah penurunan suhu kondensor (ΔT kondensor), yang diperoleh dari selisih suhu refrigeran masuk dan keluar kondensor.

Tabel 2 Hasil pengujian temperatur masuk dan keluar kondensor, debit aliran udara, serta *pressure drop* pada berbagai variasi sudut bilah dan jumlah bilah *extra fan*

Sudut bilah	Jumlah bilah	Suhu in rata-rata (°C)	Suhu out rata-rata (°C)	ΔT rata-rata (°C)	v rata-rata (m/s)	Q (m ³ /s)
15°	7	73,58	35,42	38,17	1,5	0,057
15°	10	78,67	34,00	44,67	1,3	0,049
15°	13	80,50	37,33	43,17	1,4	0,053
30°	7	79,08	37,08	42,00	1,7	0,064
30°	10	76,58	35,96	40,50	2,0	0,076
30°	13	78,83	38,42	40,42	1,9	0,072

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2, diperoleh data suhu masuk kondensor (T_{in}), suhu keluar kondensor (T_{out}), penurunan suhu kondensor (ΔT), kecepatan aliran udara (v), dan debit udara (Q) pada berbagai variasi sudut dan jumlah bilah *extra fan*. Secara umum, variasi sudut dan jumlah bilah memengaruhi kemampuan kondensor dalam melepaskan panas ke lingkungan. Semakin efektif proses pelepasan panas yang terjadi pada kondensor, maka semakin besar nilai penurunan suhu (ΔT) yang diperoleh. Hal ini sesuai dengan fungsi kondensor sebagai penukar kalor yang mengubah refrigeran dari gas bertekanan tinggi menjadi cair dengan cara membuang panas ke udara sekitar. Selain itu, kapasitas kondensor pada *trainer* AC mobil masih mampu menjaga kestabilan tekanan refrigeran selama proses pelepasan panas berlangsung. Oleh karena itu, perubahan performa pendinginan lebih terlihat analisis utama difokuskan pada hubungan antara debit udara, distribusi aliran udara, dan penurunan suhu kondensor.



Gambar 4. Hubungan debit udara terhadap penurunan suhu

Hasil ini mengindikasikan bahwa konfigurasi 10 bilah pada sudut 15° kemungkinan menghasilkan karakteristik aliran udara yang lebih efektif dalam membantu proses pelepasan panas pada permukaan kondensor. Meskipun debit udaranya bukan yang paling tinggi,

konfigurasi ini menghasilkan penurunan suhu terbesar. Hal tersebut menunjukkan bahwa efektivitas pendinginan tidak hanya ditentukan oleh besarnya debit udara, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh pola aliran yang terbentuk akibat geometri bilah.

Pada Gambar 4, debit aliran udara tertinggi diperoleh pada konfigurasi 10 bilah dengan sudut 30° sebesar $0,076 \text{ m}^3/\text{s}$, namun menghasilkan penurunan suhu kondensor (ΔT) sebesar $40,50^\circ\text{C}$. Sebaliknya, konfigurasi 10 bilah dengan sudut 15° menghasilkan debit aliran udara yang lebih rendah, yaitu $0,049 \text{ m}^3/\text{s}$, tetapi mampu menghasilkan penurunan suhu kondensor tertinggi sebesar $44,67^\circ\text{C}$. Hasil ini menunjukkan bahwa hubungan antara debit aliran udara (Q) dan penurunan suhu kondensor (ΔT) tidak bersifat linier. Secara teoritis, peningkatan kecepatan dan debit aliran udara akan meningkatkan koefisien perpindahan panas konveksi sehingga laju pelepasan panas pada kondensor cenderung meningkat. Namun, efektivitas perpindahan panas tidak hanya ditentukan oleh besarnya debit udara, melainkan juga oleh karakteristik distribusi aliran udara yang melewati permukaan kondensor. Pada kipas aksial, perubahan sudut dan jumlah bilah tidak hanya memengaruhi kapasitas aliran udara, tetapi juga memengaruhi pola distribusi kecepatan, tingkat turbulensi, serta keseragaman aliran udara pada permukaan kondensor. Konfigurasi 10 bilah dengan sudut 15° diduga menghasilkan distribusi aliran udara yang lebih merata pada seluruh permukaan kondensor sehingga proses pelepasan panas berlangsung lebih efektif. Sebaliknya, meskipun konfigurasi 10 bilah dengan sudut 30° menghasilkan debit udara yang lebih besar, sebagian aliran udara kemungkinan terkonsentrasi pada area tertentu sehingga tidak seluruh permukaan kondensor memperoleh pendinginan yang optimal. Kondisi ini menyebabkan peningkatan debit udara tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan penurunan suhu kondensor. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Saputra et al.[2] yang

menunjukkan bahwa perubahan sudut bilah kipas aksial tidak hanya memengaruhi besarnya debit udara, tetapi juga pola distribusi aliran udara yang berpengaruh terhadap efektivitas perpindahan panas. Dengan demikian, performa kondensor lebih dipengaruhi oleh kombinasi antara besarnya debit udara dan kualitas distribusi aliran udara yang dihasilkan oleh *extra fan* daripada hanya oleh nilai debit udara semata.

Pengaruh jumlah bilah pada sudut 15°

Pada sudut bilah 15° , penurunan suhu kondensor meningkat dari $38,17^\circ\text{C}$ pada 7 bilah menjadi $44,67^\circ\text{C}$ pada 10 bilah. Namun, ketika jumlah bilah ditambah menjadi 13, nilai penurunan suhu sedikit turun menjadi $43,17^\circ\text{C}$. Berdasarkan hasil pengujian, konfigurasi 10 bilah pada sudut 15° menghasilkan penurunan suhu kondensor tertinggi dibandingkan variasi jumlah bilah lainnya yang diteliti. Hasil ini menunjukkan bahwa pada rentang variasi 7, 10, dan 13 bilah, konfigurasi 10 bilah memberikan performa pendinginan yang paling efektif. Namun demikian, hasil penelitian ini belum dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa konfigurasi tersebut merupakan kondisi optimum secara umum, karena jumlah bilah yang diuji masih terbatas pada variasi yang digunakan dalam penelitian ini.

Jika dikaitkan dengan data debit udara, hasil pada sudut 15° menunjukkan bahwa debit terbesar tidak selalu menghasilkan penurunan suhu terbesar. Pada sudut ini, debit tertinggi terjadi pada 7 bilah, yaitu $0,057 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan 10 bilah hanya $0,049 \text{ m}^3/\text{s}$. Meskipun demikian, 10 bilah justru memberikan ΔT tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada sudut 15° , Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan debit aliran udara tidak selalu diikuti oleh peningkatan penurunan suhu kondensor. Kondisi ini mengindikasikan bahwa selain besarnya debit udara, terdapat faktor lain yang kemungkinan turut memengaruhi proses perpindahan panas pada kondensor. Salah satu faktor yang

diduga berpengaruh adalah karakteristik aliran udara yang terbentuk akibat variasi geometri bilah *extra fan*. Namun, karena penelitian ini tidak melakukan pengukuran distribusi aliran udara maupun visualisasi pola aliran secara langsung, maka dugaan tersebut belum dapat dibuktikan secara eksperimental dan memerlukan penelitian lanjutan untuk verifikasi lebih lanjut.

Pada sudut 15° dengan jumlah bilah 10 terjadi keseimbangan antara kecepatan aliran dan distribusi tekanan sehingga menghasilkan perpindahan panas yang lebih optimal. Yang artinya efisiensi pendinginan lebih ditentukan oleh kestabilan aliran dibandingkan besarnya debit semata.

Pengaruh jumlah bilah pada sudut 30°

Pada sudut bilah 30° , hasil yang diperoleh menunjukkan tren yang berbeda dibandingkan sudut 15° . Penurunan suhu kondensor tertinggi terjadi pada konfigurasi 7 bilah, yaitu sebesar $42,00^\circ\text{C}$, sedangkan konfigurasi 10 bilah menghasilkan penurunan suhu sebesar $40,50^\circ\text{C}$ dan 13 bilah sebesar $40,42^\circ\text{C}$. Hasil ini menunjukkan bahwa pada sudut 30° , penambahan jumlah bilah dari 7 menjadi 10 dan 13 bilah tidak meningkatkan performa pendinginan kondensor. Oleh karena itu, dalam rentang variasi yang diteliti, tidak terlihat kecenderungan peningkatan penurunan suhu seiring bertambahnya jumlah bilah. Secara teoritis, penambahan jumlah bilah pada kipas aksial dapat meningkatkan kemampuan kipas dalam mendorong udara karena luas bidang yang berinteraksi dengan udara menjadi lebih besar. Namun, penambahan jumlah bilah yang berlebihan juga dapat meningkatkan hambatan aliran (*flow blockage*) dan mempersempit jarak antar bilah sehingga aliran udara menjadi kurang efisien. Selain itu, pada sudut bilah yang lebih besar, yaitu 30° , udara yang didorong oleh kipas cenderung mengalami perubahan arah aliran yang lebih besar sehingga meningkatkan kehilangan energi akibat turbulensi dan vorteks di sekitar bilah. Kondisi tersebut dapat menyebabkan peningkatan jumlah

bilah tidak selalu diikuti oleh peningkatan efektivitas perpindahan panas pada kondensor. Data aliran udara pada sudut 30° menunjukkan bahwa konfigurasi 10 bilah menghasilkan kecepatan dan debit udara tertinggi, yaitu $2,0\text{ m/s}$ dan $0,076\text{ m}^3/\text{s}$. Meskipun demikian, konfigurasi tersebut tidak menghasilkan penurunan suhu kondensor terbesar. Hasil ini mengindikasikan bahwa performa pendinginan kondensor tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya debit udara, tetapi juga oleh karakteristik aliran udara yang terbentuk akibat kombinasi sudut dan jumlah bilah.

Perbandingan sudut 15° dan 30°

Jika dibandingkan antar sudut, sudut 15° memberikan hasil yang lebih baik pada konfigurasi 10 bilah. Pada kondisi ini, sudut 15° menghasilkan ΔT sebesar $44,67^\circ\text{C}$, sedangkan sudut 30° hanya $40,50^\circ\text{C}$. Selain itu, suhu keluar kondensor pada 10 bilah sudut 15° juga lebih rendah, yaitu $34,00^\circ\text{C}$, dibandingkan sudut 30° sebesar $36,08^\circ\text{C}$. Hasil ini menunjukkan bahwa pada jumlah bilah 10, sudut 15° lebih efektif dalam mendukung pelepasan panas kondensor.

Pada jumlah bilah 7, justru sudut 30° memberikan hasil lebih tinggi daripada 15° , yaitu $42,00^\circ\text{C}$ berbanding $38,17^\circ\text{C}$. Sementara itu, pada jumlah bilah 13, sudut 15° kembali lebih baik, yaitu $43,17^\circ\text{C}$ dibandingkan $40,42^\circ\text{C}$ pada sudut 30° . Dari hasil ini dapat dipahami bahwa pengaruh sudut bilah tidak sama pada semua jumlah bilah. Namun secara umum, kombinasi paling baik dalam penelitian ini tetap diperoleh pada 10 bilah sudut 15° .

Data debit aliran udara dalam penelitian ini membantu menjelaskan bahwa besarnya aliran udara bukan satu-satunya faktor yang menentukan pendinginan kondensor. Pada sudut 15° , Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit udara tertinggi tidak selalu menghasilkan penurunan suhu kondensor tertinggi. Sebaliknya, pada sudut 30° , debit udara yang lebih tinggi cenderung menurunkan suhu keluar kondensor, namun tidak selalu meningkatkan nilai ΔT . Kondisi

ini menunjukkan bahwa efektivitas perpindahan panas tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya debit udara, tetapi juga kemungkinan dipengaruhi oleh distribusi aliran udara, arah aliran, serta karakteristik geometri bilah yang memengaruhi interaksi udara dengan permukaan kondensor. Namun, karena penelitian ini tidak mengukur distribusi maupun pola aliran udara secara langsung, faktor-faktor tersebut masih berupa dugaan yang memerlukan penelitian lebih lanjut untuk dikonfirmasi.

Dengan demikian, debit udara pada penelitian ini berfungsi sebagai data pendukung untuk menjelaskan mekanisme pendinginan, bukan sebagai penentu tunggal performa.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, jumlah bilah dan sudut bilah *extra fan* berpengaruh terhadap penurunan suhu kondensor pada *trainer air conditioner* mobil. Pada sudut bilah 15°, konfigurasi 10 bilah memberikan hasil terbaik dengan penurunan suhu kondensor sebesar 44,67°C dan suhu keluar kondensor terendah sebesar 34,00°C. Sementara itu, pada sudut bilah 30°, penurunan suhu tertinggi diperoleh pada konfigurasi 7 bilah sebesar 42,00°C, sedangkan suhu keluar kondensor terendah diperoleh pada konfigurasi 10 bilah sebesar 36,08°C.

Secara keseluruhan, konfigurasi 10 bilah dengan sudut 15° memberikan performa pendinginan terbaik pada rentang variasi yang diteliti, karena menghasilkan penurunan suhu kondensor terbesar dan suhu keluar kondensor terendah dibandingkan variasi lainnya.. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa hubungan antara debit aliran udara dan penurunan suhu kondensor tidak selalu bersifat linier. Hal ini mengindikasikan bahwa efektivitas pendinginan tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya debit udara, Oleh karena itu, analisis performa sistem pada penelitian ini lebih difokuskan pada parameter temperatur kondensor, debit aliran udara digunakan untuk mengevaluasi

kinerja sistem pendingin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur kondensor dan debit aliran udara memberikan pengaruh yang lebih nyata terhadap efektivitas pendinginan kondensor pada variasi yang diteliti.

Referensi

- [1] V. Budiawan Arham and D. Yuvenda, "Pengaruh Temperatur Udara Pendingin Kondensor Terhadap Kinerja Alat Simulasi Ac Split Komersial the Effect of Condenser Cooling Air Temperature on the Performance of Commercial Split Ac Simulation Machine," *Vomek*, vol. 6, no. 1, p. 98, 2024, [Online]. Available: <http://vomek.ppj.unp.ac.id>
- [2] A. D. Saputra, A. Pratoto, G. Gusriwandi, and J. Suprianto, "The Effect of Tilt Angle of Axial Fan Blades on Air Flow Distribution in the Cabinet Dryer: Simulation Study Using Computational Fluid Dynamics," *Teknomekanik*, vol. 4, no. 1, pp. 8–13, 2021, doi: 10.24036/teknomekanik.v4i1.8772.
- [3] M. Luthfi, M. Ghozali, and Y. Kurniawan, "The Effect of Battery Settings and Fan Parameters on the Performance of the Lithium-Ion Battery Thermal Management System in a Circular Configuration," *JST (Jurnal Sains dan Teknol.)*, vol. 13, no. 3, pp. 362–373, 2024, doi: 10.23887/jstundiksha.v13i3.84849.
- [4] L. H. K. Cheteu and W. Xu, "Analysis and Validation of Blade with Skewed Angle for Axial Fan," *Int. J. Mech. Ind. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 7–12, 2021, [Online]. Available: www.researchpublish.com
- [5] H. El-Sadi, C. Roderick, B. Reilly, and E. Agyekum, "Study the Effect of Blade Angle on Hydrokinetic Turbine Performance," *J. Fluid Flow, Heat Mass Transf.*, vol. 12, pp. 374–380, 2025, doi: 10.11159/jffhmt.2025.036.

- [6] S. H. Y. Chan Lee, Eui Jong Noh, Seung Wook Kim, ““The Optimal Blading Design and CFD Analysis of Axial Flow Fan,”” *Int. J. fluid Mach. Syst.*, vol. 15, no. 3, pp. 368–374, 2022.
- [7] H. A. Y. Maldonado, “Design, Study, and Comparison of a New Axial Fan Using the Fibonacci Spiral and a Classic Axial Fan,” *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 18, no. 1, pp. 79–86, 2024, doi: 10.59038/jjmie/180106.
- [8] S. Beskales, I. Shahin, S. Ayad, O. Abdellatif, and T. Mekhail, “Effect of Blade Slot Inclination Angle on Flow Separation in The Centrifugal Fan Impeller,” *Eng. Res. J.*, vol. 52, no. 4, pp. 193–203, 2023, doi: 10.21608/erjsh.2023.213922.1177.
- [9] Y. Chen *et al.*, “Influence of blade installation angle spanwise distribution on the energy characteristics of mining contra-rotating axial flow fan,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–13, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-90797-4.
- [10] A. Lin, Shueei Muh, Widya Utama, Didi Liauh, Chihng Tsung Purna Irawan, “Thermal Performance of An Innovative Rotating Fan-Sink Radiator,” *J. Chinese Soc. Mech. Eng.*, vol. 44, no. 1, pp. 11–21, 2023.
- [11] B. R. Putera and A. A. Melkias, “Analisis Pengaruh Temperatur dan Laju Alir Air Pendingin Terhadap Kinerja Kondensor Di PLTU Cirebon Unit 1,” vol. 11, no. April, pp. 25–26, 2022.
- [12] A. Keli, S. Rahnama, G. Hultmark, M. Hultmark, and A. Afshari, “Evaluation of Elastic Filament Velocimetry (EFV) Sensor in Ventilation Systems : An Experimental Study,” pp. 8–10, 2023.
- [13] O. S. Tsakanian, S. V Koshel, and M. Part, “Thermo-Anemometers For Average Temperature And Airflow Measurement In Ducts , at Anemostat Outlets And,” pp. 14–21, 2020.
- [14] M. T. Indriastuti, S. Arifin, N. Fadhillah, and T. Aprilianto, “Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Menggunakan Arduino Nano Dan Android Via Bluetooth,” *J. Ilm. Teknol. Inf. Asia*, vol. 14, no. 1, p. 20, 2020, doi: 10.32815/jitika.v14i1.425.
- [15] N. Yuda Samosir and B. Henryranu Prasetio, “Analisis Performa Arduino Uno Terhadap Algoritma Enkripsi Aes-128 Dalam Implementasi Sistem Rfid,” vol. 1, no. 1, pp. 4–5, 2025, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [16] Y. Wishnu Pandu Prayudha, S. Fadhil, and S. Novianto, “Rancang Bangun Sistem Pengukuran Alat Thermobath sebagai Alat Kalibrasi Temperatur dengan Sistem Arduino Uno,” *J. Asimetri J. Ilm. Rekayasa Inov.*, vol. 4, p. 29, 2022, doi: 10.35814/asiimetrik.v4i1.2541.
- [17] S. Muh. Agung Pribadi, Endry Meydiant, “PENGARUH DIAMETER DAN KECEPATAN KIPAS KONDENSOR TERHADAP SUHU AC MOBIL,” *Rekayasa Mesin*, vol. V10 N2, no. November 2018, p. 193, 2019.
- [18] S. Latif, Nuraida, Sumardin, AHalid, Agus Rani, “Prototype Alat Uji Kebisingan Dan Emisi Gas Pada Knalpot Kendaraan Bermotor Menggunakan Arduino Uno,” vol. 8, no. 1, p. 45, 2022.