

Rancang Bangun Sistem Pendingin Evaporatif Berbasis Penyemprotan Air Untuk Meningkatkan Performa *Air Conditioner*

Arka Dwinanda Soewono^{1✉}, Nanda Viriya², Luky Andreas³, Harjadi Gunawan⁴, Marten Darmawan⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 05-06-2023

Direvisi : 09-06-2023

Diterima : 11-06-2023

Kata Kunci:

Air Conditioner, Coefficient of Performance, Pendinginan Evaporatif, Penyemprotan Air

Keywords :

Air Conditioner, Coefficient of Performance, Evaporative Cooling, Water Spray

ABSTRAK

*Air conditioner (AC) adalah sarana yang paling efektif untuk mendinginkan udara di dalam ruangan. Akan tetapi, peningkatan penggunaan AC membawa tantangan dari sisi pemenuhan kebutuhan energi listrik. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi konsumsi listrik AC yaitu dengan metode pendinginan evaporatif berbasis penyemprotan air. Maka dari itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah melakukan rancang bangun sistem pendingin evaporatif yang dapat diaplikasikan langsung pada AC tipe split berukuran 1 PK. Sistem pendingin evaporatif menggunakan pompa untuk mengalirkan air ke nozzle yang terpasang pada rangka aluminium yang dapat dipasang di belakang kondensor AC tanpa memerlukan modifikasi. Kalibrasi menghasilkan pengaturan optimal di mana pompa dioperasikan untuk menghasilkan debit aliran sebesar 0,8 liter/menit dengan jarak antara nozzle dengan kondensor sejauh 20 cm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendingin evaporatif dengan konfigurasi optimal memberikan penurunan konsumsi listrik total sebesar 13,19 % dan memberikan peningkatan *Coefficient of Performance* sebesar 9,03 %.*

ABSTRACT

An air conditioner (AC) is the most effective way to cool indoor air. However, the increasing use of AC brings challenges in meeting global electrical energy demands. One method to reduce AC electricity consumption is employing evaporative cooling by water spray system. Therefore, the main objective of this study is to design an evaporative cooling system that can be applied directly to split-type air conditioner with a compressor power of 1 PK. The design of the evaporative cooling system uses a pump to supply water to nozzles attached to an aluminum frame which are then mounted behind the condenser without needing permanent modification. The cooling system's calibration process showed optimal settings of a water flow rate of 0.8 liter/minute produced by the pump, with the distance between the nozzle and the condenser set at 20 cm. The test results found that using an evaporative cooling system with an optimal configuration decreases total electricity consumption by 13.19%, representing a 9.03% increase in the Coefficient of Performance of the air conditioner.

Corresponding Author :

Arka Dwinanda Soewono

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

Jenderal Sudirman No 51, Jakarta 12930, Indonesia

Email: arka.soewono@atmajaya.ac.id

PENDAHULUAN

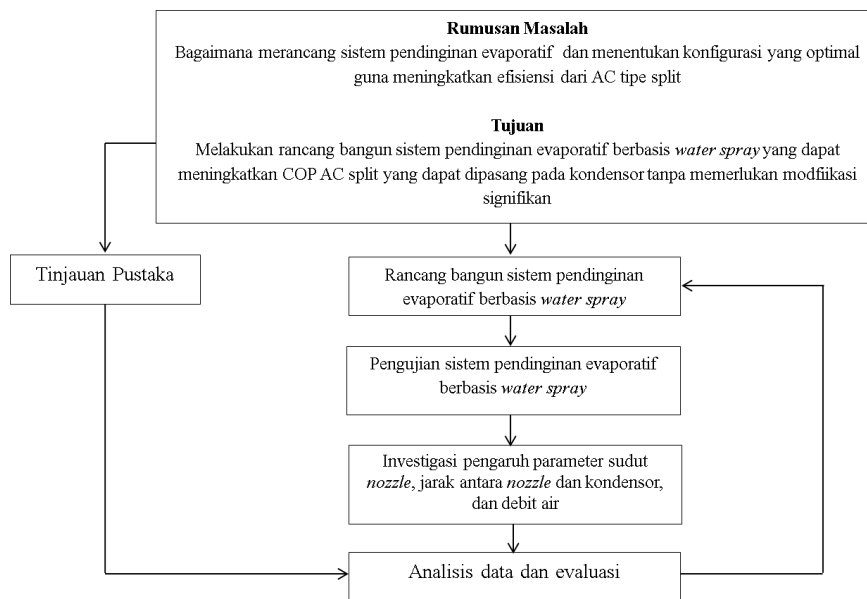
Air Conditioner (AC) yang merupakan sistem pengkondisian udara untuk memberikan rasa nyaman bagi penghuni sudah menjadi kebutuhan primer terutama di negara beriklim tropis seperti Indonesia yang memiliki suhu udara yang panas dan lembab. Selain itu, pemanasan global juga mengakibatkan meningkatnya rata-rata suhu permukaan sebesar $0,2^{\circ}\text{C}$ setiap dekade pada 30 tahun terakhir (Hansen et al., 2006). Hal ini menjadi faktor penyebab penggunaan AC meningkat secara global. Sebagai imbasnya, analisis dari *International Energy Agency* (IEA) menunjukkan permintaan penggunaan energi untuk AC akan melonjak hingga tiga kali lipat pada tahun 2050 (International Energy Agency, 2018). Permintaan untuk sistem pendingin ruangan diprediksi akan meningkat karena pertambahan angka penduduk yang diikuti dengan peningkatan kemampuan ekonomi masyarakat secara umum sehingga diperlukan mitigasi efektif untuk dapat menekan laju pertumbuhan dari penggunaan AC secara global (Lundgren-Kownacki et al., 2018). Meningkatnya penggunaan AC berimbas pada meningkatnya permintaan (*demand*) untuk konsumsi energi listrik yang dapat menyebabkan defisit energi bila pertumbuhannya tidak terkendali. Konsumsi listrik untuk sistem AC mencapai 42% dari seluruh konsumsi listrik pada perumahan (Kartika, 2018).

Coefficient Of Performance (COP) yang merupakan indikator efisiensi sistem pendingin udara menjadi faktor penting untuk mengurangi konsumsi daya listrik AC. COP pendinginan pada AC tipe split yang umum dipakai berkisar di antara 2,4 – 3,6 dan dapat dipengaruhi oleh faktor cuaca sehingga diperlukan sebuah optimasi dalam pengoperasiannya. Berbagai penelitian mengenai metode untuk meningkatkan efisiensi AC telah dilakukan. Beberapa di antaranya adalah dengan menggunakan hidrokarbon sebagai refrigeran (Koh et al., 2017), menambahkan zat aditif pada refrigeran (Chouhan et al., 2016), memanipulasi aliran udara keluaran kondensor (Nguyen et al., 2020), mendaur ulang panas buangan dari kondensor menggunakan sistem penukar kalor (Ahmadzadehtalatapeh, 2013) dan mengoptimasi desain dari *thermal expansion valve* (Prabakaran et al., 2021). Akan tetapi satu jenis metode yang memiliki potensi yang besar untuk meningkatkan efisiensi AC di daerah beriklim panas dan lembab, yakni menggunakan sistem pendinginan evaporatif untuk menurunkan suhu pada kondensor (Ulpiani, 2019). Prinsip kerja pendinginan evaporatif berbasis penyemprotan air adalah menggunakan atomization nozzles untuk menghasilkan kabut yang terdiri dari butiran air berukuran sangat kecil (*water mist*). Hasil pencampuran kabut air ini dengan aliran udara pada kondensor AC membantu meningkatkan area permukaan kontak antara udara panas yang terbuang dan butiran air sehingga menghasilkan tingkat penguapan yang lebih tinggi dan membantu meningkatkan efisiensi kerja dari kondensor AC (Yu & Chan, 2009). Selain itu, keberadaan sistem pendinginan evaporatif juga membantu menghasilkan pendinginan udara sekitar yang lebih besar dan mengurangi efek *urban heat island* di lingkungan perkotaan. (Montazeri et al., 2015)

Sistem pendinginan evaporatif yang telah dirancang pada Penelitian sebelumnya pada umumnya memiliki satu kelemahan, yakni sistem masih berskala laboratorium dengan dimensi relatif besar dibanding unit kondensor (Ansari et al., 2018; H. Yang et al., 2020). Hal ini berpotensi menyebabkan kendala pada saat diterapkan pada AC tipe split yang dijual secara komersial di mana proses instalasinya membutuhkan modifikasi dan ruang yang cukup signifikan. Oleh karena itu, tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang dan membangun purwarupa sistem pendinginan evaporatif yang dapat diaplikasikan secara langsung untuk meningkatkan efisiensi kerja dari AC tipe split, serta melakukan pengujian untuk menentukan konfigurasi optimal pada purwarupa sistem pendinginan evaporatif tersebut untuk menghasilkan peningkatan COP yang terbaik.

METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian ditunjukkan di Gambar 1. Penelitian akan dilaksanakan dalam tiga tahap yaitu tahap rancang bangun purwarupa sistem pendinginan evaporatif berbasis penyemprotan air (*water spray*), tahap pengujian untuk menentukan pengaturan optimal, dan tahap analisis dan evaluasi.



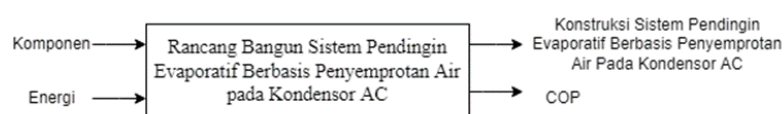
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada tahap perancangan, desain spesifikasi untuk sistem pendingin evaporatif berbasis penyemprotan air akan berdasarkan daftar Demand (yang harus ada) dan Wish (yang diinginkan) yang ditunjukkan pada Tabel 1. Proses perancangan akan mengikuti metode Pahl dan Beitz (Pahl et al., 2007).

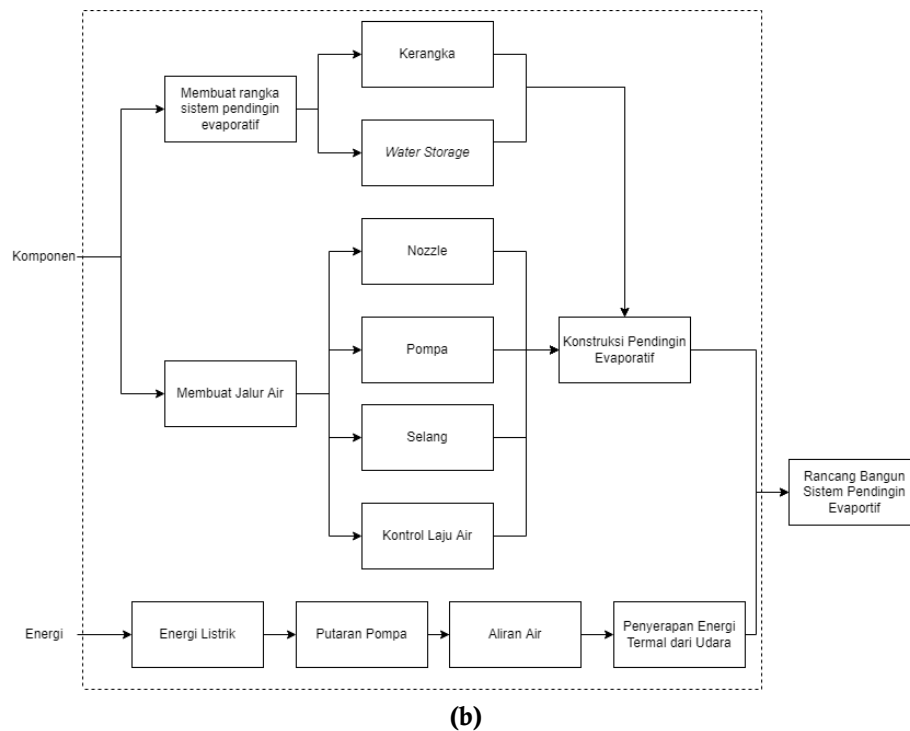
Tabel 1. Daftar *Demand* dan *Wish* Sistem Pendingin Evaporatif

Demand (D)/Wish (W)	PERSYARATAN
<u>GEOMETRI</u>	
D	Panjang dan lebar maksimum 65 cm x 30 cm
D	Tinggi maksimum 55 cm
<u>MATERIAL / KOMPONEN</u>	
D	Material mudah diperoleh dan dibentuk
D	Tahan terhadap korosi
W	Sistem mudah dimodifikasi
W	Harga terjangkau
<u>OPERASI</u>	
D	Jarak antara nozzle dan kondensor, sudut kemiringan nozzle dan debit air dapat diatur
W	Sistem kontrol pendingin evaporatif dapat terintegrasi dengan AC
<u>FUNGSI</u>	
D	Menghasilkan peningkatan COP

Berdasarkan daftar spesifikasi di atas, struktur fungsi dan sub-fungsi untuk rancang bangun sistem pendingin evaporatif berbasis penyemprotan air pada kondensor dapat dilihat pada Gambar 2.



(a)



Gambar 2. Struktur Fungsi (a) dan Sub-Fungsi (b) Sistem Pendingin Evaporatif

Setelah purwarupa sistem pendingin evaporatif selesai dirancang dan diwujudkan, kaji eksperimental dilakukan pada AC split komersial 1 PK *non-inverter* baru dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 2. Pengujian dilakukan dengan dua unit AC split yang digunakan pada saat bersamaan untuk mendinginkan dua buah ruangan identik berukuran 3 m x 3 m x 3 m di daerah Tangerang Selatan dimana satu ruangan didinginkan dengan AC standar sedangkan ruang yang lain didinginkan dengan AC yang dilengkapi dengan sistem pendingin evaporatif.

Tabel 2. Spesifikasi Air Conditioner 1 PK

Kapasitas Pendinginan	
Daya Kompresor (BTU/jam)	9.040
Daya Kompresor (kW)	2,65
EER	11,3
Data Listrik dan Kapasitas Sirkulasi Udara	
Tegangan (V)	220-240
Arus Kerja (A)	3,7-3,8
Daya Listrik (W)	880
Laju Pengembunan (l/jam)	1,6
Debit Sirkulasi Udara (m ³ /menit)	7,2

Perhitungan *Coefficient of Performance (COP)* dilakukan dengan menggunakan metode berbasis diagram Mollier dengan menggunakan rumus berikut (Hosoi, 2018):

$$COP = \frac{(h_{in,indoor} - h_{out,indoor})(Q_{udara})(\rho_{udara})}{P_{total}} \quad (1)$$

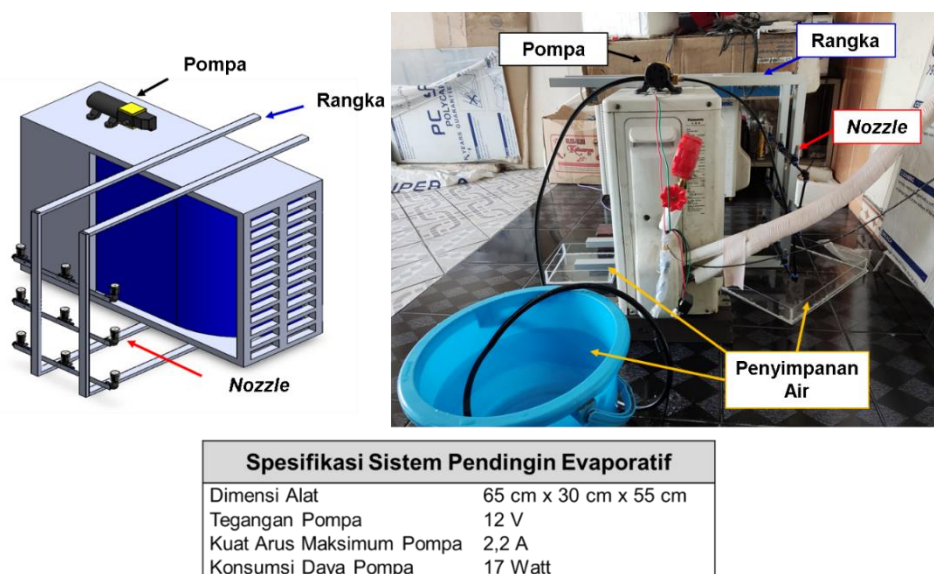
dimana $h_{in,indoor}$ dan $h_{out,indoor}$ adalah entalpi udara yang masuk dan keluar dari unit *indoor* AC, Q_{udara} adalah debit sirkulasi udara yang dialirkan oleh unit indoor yaitu sebesar 0,12 m³/detik, ρ_{udara} adalah rata-rata massa jenis udara yang masuk dan keluar di unit *indoor*, dan P_{total} adalah total daya listrik yang dikonsumsi oleh AC dan pompa sistem pendingin evaporatif. Nilai entalpi udara yang masuk dan keluar didapat dari data hasil pengukuran suhu dan kelembapan relatif (*Relative Humidity/RH*) pada inlet dan outlet *evaporator* pada unit indoor AC dengan menggunakan

termohygrometer. Data suhu dan kelembapan kemudian dimasukan ke dalam *Mollier psychometric chart* dari laman Flycarpet Incorporated untuk mendapatkan besaran entalpi dan massa jenis udara yang masuk dan keluar di unit *indoor*. Pengukuran konsumsi daya listrik AC dilakukan dengan menggunakan *wattmeter*. Pada perhitungan COP untuk sistem AC yang dilengkapi dengan sistem pendingin evaporative, total daya listrik berasal dari konsumsi listrik dari AC ditambahkan dengan daya pompa untuk sistem pendingin evaporatif.

Berdasarkan dari pengamatan pada penelitian sebelumnya (Chaiyat & Kiatsiriroat, 2015), pengukuran data untuk setiap pengujian dilakukan setelah AC telah beroperasi selama 15-20 menit sehingga AC sudah mencapai kondisi stabil. Pengambilan data untuk AC standard an AC dengan sistem pendingin evaporatif dilakukan pada saat bersamaan. Durasi percobaan dilaksanakan selama 50 menit di mana pengambilan data suhu, kelembapan, dan daya listrik dilakukan setiap 5 menit. Untuk memperoleh konfigurasi yang optimal, pengujian AC dengan sistem pendingin evaporatif dilakukan dengan memvariasikan parameter jarak antara *nozzle* dan kondensor (D) dan debit aliran air (Q). Besar jarak D yang diuji adalah 20 cm, 30 cm, dan 40 cm, sedangkan debit air Q yang diuji adalah 0,8 lpm, 1 lpm, dan 1,2 lpm untuk menghasilkan total 9 konfigurasi yang berbeda. Untuk setiap konfigurasi, sebanyak replikasi percobaan sebanyak tiga kali dilakukan pada hari yang berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perwujudan sistem pendingin evaporatif berbasis penyemprotan air serta spesifikasinya dapat dilihat pada Gambar 3. Sistem pendingin evaporator memiliki tiga komponen penting yang terdiri dari pompa, rangka, dan *nozzle*. Pompa DC yang dilengkapi dengan *inverter* berfungsi untuk mengalirkan air dari tempat penyimpanan ke *nozzle*. Besarnya daya yang digunakan pompa diatur dengan menggunakan potensiometer sehingga debit aliran air dari pompa dapat divariasikan. *Nozzle* berukuran 0,2 mm digunakan untuk menghasilkan kabut air berukuran sangat halus yang dipakai untuk mendinginkan udara yang masuk ke kondensor. Berdasarkan pengujian awal, susunan *nozzle* yang paling optimal diatur dalam konfigurasi tiga buah *nozzle* horizontal dan tiga buah *nozzle* vertikal. *Nozzle* ini dipasang pada siku L yang terhubung dengan rangka aluminium tipe hollow dengan ukuran 1 cm x 1,5 cm yang tahan karat. Dua buah tempat penyimpanan air yang terbuat dari akrilik berukuran 40 cm x 40 cm x 4 dan 20 cm x 20 cm x 4 diletakan di bawah outdoor unit dari AC sebagai wadah air yang digunakan untuk proses pendinginan evaporatif serta untuk menampung sisa kabut air yang disemprotkan ke kondensor agar dapat digunakan kembali.



Gambar 3. Perwujudan dan Spesifikasi Sistem Pendingin Evaporatif

Rangkuman hasil pengujian AC standar dan AC yang menggunakan sistem pendingin evaporatif dengan konfigurasi jarak antara nozzle dan kondensor (D) sejauh 20 cm dan debit air (Q) divariasikan antara 20-40 cm dapat dilihat pada Tabel 3. Data pada Tabel 3 mencakup rata-rata dan kesalahan baku (*standard error*) untuk suhu (T) dan kelembapan relatif (RH) pada masukan dan luaran dari unit *indoor* AC, serta hasil pengukuran daya AC dan pompa DC sistem pendingin evaporatif dengan menggunakan *wattmeter*. Data tersebut digunakan untuk menghitung *Coefficient of Performance* (COP) dari AC dengan menggunakan persamaan (1).

Tabel 3. Data Pengujian AC Standar dan AC dengan Sistem Pendingin Evaporatif

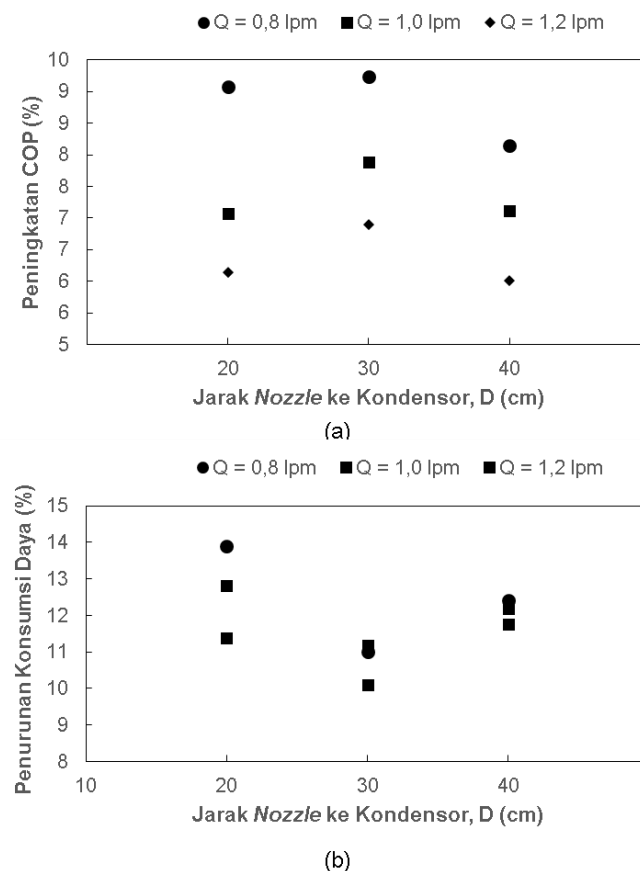
AC Standar							
Pengujian	T _{out} (°C)	T _{in} (°C)	RH _{out} (%)	RH _{in} (%)	P _{AC} (W)	P _{Pompa} (W)	COP
1	15.19 ± 0,04	25.91 ± 0,04	82,2 ± 0,26	56,6 ± 0,23	868,9 ± 2,31	0 ± 0,00	3,08 ± 0,03
2	15.21 ± 0,04	26,02 ± 0,04	82,8 ± 0,22	55,4 ± 0,21	871,4 ± 2,25	0 ± 0,00	3,07 ± 0,04
3	15.15 ± 0,03	25.87 ± 0,04	82,3 ± 0,28	55,6 ± 0,26	870,3 ± 2,27	0 ± 0,00	3,04 ± 0,04
AC dengan Pendingin Evaporatif (Q= 0,8 lpm, D = 20 cm)							
Pengujian	T _{out} (°C)	T _{in} (°C)	RH _{out} (%)	RH _{in} (%)	P _{AC} (W)	P _{Pompa} (W)	COP
1	15.19 ± 0,04	25.70 ± 0,02	81,1 ± 0,25	54,8 ± 0,15	737,3 ± 0,61	16,9 ± 0,11	3,36 ± 0,02
2	15.21 ± 0,04	25,72 ± 0,03	81,6 ± 0,27	54,9 ± 0,18	737,4 ± 0,62	17,0 ± 0,00	3,35 ± 0,02
3	15.15 ± 0,03	25.78 ± 0,03	81,3 ± 0,23	54,4 ± 0,16	737,1 ± 0,57	16,9 ± 0,11	3,38 ± 0,01
AC dengan Pendingin Evaporatif (Q= 1,0 lpm, D = 20 cm)							
Pengujian	T _{out} (°C)	T _{in} (°C)	RH _{out} (%)	RH _{in} (%)	P _{AC} (W)	P _{Pompa} (W)	COP
1	15.12 ± 0,03	25.70 ± 0,03	81,5 ± 0,18	55,0 ± 0,22	732,7 ± 0,36	24,8 ± 0,14	3,28 ± 0,03
2	15.17 ± 0,03	25,92 ± 0,04	81,6 ± 0,17	54,8 ± 0,15	732,6 ± 0,31	24,9 ± 0,11	3,27 ± 0,03
3	15.21 ± 0,04	25.97 ± 0,03	81,3 ± 0,22	55,2 ± 0,19	732,8 ± 0,34	24,8 ± 0,14	3,27 ± 0,02
AC dengan Pendingin Evaporatif (Q = 1,2 lpm, D = 20 cm)							
Pengujian	T _{out} (°C)	T _{in} (°C)	RH _{out} (%)	RH _{in} (%)	P _{AC} (W)	P _{Pompa} (W)	COP
1	15.18 ± 0,03	25.70 ± 0,03	82,0 ± 0,16	55,5 ± 0,18	734,1 ± 0,25	35,8 ± 0,14	3.27 ± 0,02
2	15.17 ± 0,02	25,92 ± 0,05	82,2 ± 0,19	55,8 ± 0,14	733,9 ± 0,35	35.7 ± 0,16	3.26 ± 0,03
3	15.19 ± 0,03	25.88 ± 0,03	82,1 ± 0,21	54,9 ± 0,20	736,1 ± 0,37	35,6 ± 0,17	3.26 ± 0,03

Rata-rata dari hasil pengukuran daya AC dan pompa DC yang digunakan oleh sistem pendingin evaporatif pada Tabel 3 menunjukkan bahwa penggunaan sistem pendingin evaporatif pada kondensor AC split 1 PK dapat menurunkan konsumsi energi listrik sebesar 12,9-13,3%. Besarnya penghematan energi yang diamati pada pengujian ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang melaporkan penurunan konsumsi energi untuk AC yang dilengkapi dengan sistem pendingin evaporatif berkisar antara 11-20% tergantung dari kondisi iklim sekitar (Randazzo et al., 2020; Yu & Chan, 2009). Keberadaan sistem pendingin evaporatif untuk membantu mendinginkan udara yang masuk ke kondensor AC menyebabkan penurunan rasio tekanan refrigeran di kompresor sehingga kerja dan penggunaan energi listrik kompresor menjadi lebih rendah. Selain itu, dengan adanya penurunan tekanan pada lauran kompresor, jumlah refrigeran dalam bentuk cair yang masuk ke evaporator akan bertambah sehingga laju aliran massa dan kapasitas pendinginan refrigeran semakin meningkat (Sharma et al., 2016; Ulpiani, 2019).

Dari hasil perhitungan, COP untuk AC *split* standar ditemukan sebesar 3,04 - 3,08 yang masih berada dalam jangkauan COP normal untuk AC 1 PK komersial (Mustaqim et al., 2019; Ufie et al., 2021). Berdasarkan dari data rata-rata dari COP untuk setiap pengujian yang tercantum pada Tabel 3, penambahan sistem pendingin evaporatif pada AC *split* 1 PK menghasilkan peningkatan COP sebesar 6-10%. Peningkatan COP ini cukup konsisten dengan hasil yang dilaporkan pada penelitian serupa (Ardita & Subagia, 2018; Islam et al., 2015; J. Yang et al., 2012).

Hasil pengujian pada penelitian ini mengonfirmasi bahwa sistem pendingin evaporatif yang dipasang pada kondensor dapat menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi konsumsi energi listrik dari sistem pendingin udara seperti AC *split*. Mempertimbangkan kondisi iklim di Jakarta yang lembap dengan suhu lingkungan yang semakin panas, diharapkan efek dari sistem pendingin evaporatif dalam menekan konsumsi energi listrik dari unit pendingin udara dapat semakin signifikan dikarenakan kinerja sistem pendingin evaporatif yang paling optimal dapat dicapai pada kondisi suhu luar ruangan yang tinggi (Atmaca et al., 2022).

Pengujian AC *split* dengan sistem pendingin evaporatif juga dilakukan untuk konfigurasi jarak antara *nozzle* dan kondensor (D) sebesar 30 cm dan 40 cm untuk menentukan konfigurasi yang paling optimal. Gambar 4 merangkum hasil peningkatan COP dan penurunan konsumsi daya AC yang dilengkapi dengan sistem pendingin evaporatif terhadap sistem AC *split* standar untuk semua konfigurasi jarak nozzle D dan debit air Q yang diuji. Konfigurasi sistem pendingin dengan jarak D sebesar 30 cm dan debit air Q sebesar 0,8 lpm menghasilkan peningkatan COP paling besar, yakni sebesar $9,23 \pm 0,03 \%$. Analisis korelasi dilakukan menggunakan fungsi Data Analysis di perangkat lunak Microsoft Excel menemukan bahwa peningkatan COP cenderung berbanding terbalik terhadap debit aliran yang dipompa ke *nozzle*. Hal ini dikarenakan semakin besar debit air, efisiensi *nozzle* untuk mengubah air menjadi kabut (*mist*) berukuran sangat kecil menjadi berkurang sehingga proses pendinginan udara yang masuk ke kondensor menjadi tidak merata. Seiring dengan kenaikan debit air Q, jumlah butiran air yang dihasilkan oleh *nozzle* menjadi semakin kasar sehingga tidak dapat ikut terhisap oleh *fan* pada unit *outdoor* dan terbuang secara percuma. Selain itu, penambahan debit air menyebabkan peningkatan konsumsi daya listrik untuk pompa DC pada sistem pendinginan evaporatif sehingga turut berkontribusi pada penurunan COP sistem AC.



Gambar 4. Grafik Peningkatan COP (a) dan Penurunan Daya (b) AC Dengan Sistem Pendingin Evaporatif

Hasil pengujian dan analisis korelasi juga menunjukkan bahwa konsumsi daya listrik dari AC yang dilengkapi dengan sistem pendingin evaporatif cenderung menurun seiring dengan penurunan debit air dan tidak memiliki hubungan linear dengan jarak antara nozzle dengan kondensor. Berdasarkan data di atas, konfigurasi yang menghasilkan penurunan daya total paling tinggi adalah konfigurasi dengan jarak D sebesar 20 cm dan debit air Q sebesar 0,8 lpm yang menghasilkan penurunan daya total sebesar 13,19 %. Konfigurasi optimal untuk peningkatan COP dan penurunan daya total berbeda. Maka dari itu, dilakukan penentuan konfigurasi optimal berdasarkan pertimbangan dari sisi biaya pembuatan dan peluang penghematan energi. Berdasarkan dua faktor tersebut, konfigurasi sistem pendingin evaporatif dengan jarak dari nozzle ke kondensor sebesar 20 cm dan debit air sebesar 0,8 lpm ditentukan sebagai konfigurasi optimal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Proses perancangan dan perwujudan purwarupa sistem pendingin evaporatif berbasis penyemprotan air guna meningkatkan performa AC *split* 1 telah berhasil dilakukan. Sistem pendingin evaporatif yang dirancang menggunakan metode penyemprotan kabut air (*mist spray*) yang dihasilkan oleh nozzle yang dihubungkan dengan sistem pompa DC yang dipasang pada rangka aluminium dan dikontrol dengan potensiometer untuk mengatur daya yang digunakan pompa.

Hasil pengujian untuk AC *split* 1 PK yang dilengkapi dengan sistem pendingin evaporatif berbasis penyemprotan air menunjukkan peningkatan Coefficient of Performance (COP) pada kisaran 6% hingga 9%, tergantung dari pengaturan jarak nozzle ke kondensor dan debit air pada sistem pendingin evaporatif. Selain itu, penggunaan sistem pendingin evaporatif juga membantu dalam mengurangi daya total listrik yang dikonsumsi oleh sistem AC sebesar 10% hingga 13%. Hasil analisis korelasi pada data hasil pengujian menentukan bahwa sistem pendingin evaporatif dengan konfigurasi jarak nozzle ke kondensor sejauh 20 cm dan debit air 0,8 lpm adalah konfigurasi optimal yang dapat meningkatkan COP sebesar 9,03 % dan menurunkan konsumsi daya listrik sebesar 13,19 %.

Saran

Berdasarkan pengamatan selama pengujian dan hasil analisis yang telah dilakukan, sistem pendingin evaporatif perlu diuji dengan pompa yang berkapasitas lebih kecil dan nozzle yang berukuran lebih kecil sehingga dapat menguji efek debit air yang lebih rendah terhadap peningkatan COP AC. Selain itu, perlu adanya penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan pengaturan sudut penyemprotan nozzle pada sistem pendingin evaporatif.

Percobaan untuk mengamati dampak penggunaan sistem pendingin evaporatif berbasis penyemprotan dalam jangka panjang terhadap unit outdoor AC *split* juga perlu dilakukan untuk mengkaji tingkat keandalan dari sistem yang telah dirancang. Selain itu, percobaan untuk mempelajari efek pendingin evaporatif terhadap peningkatan efisiensi dan penghematan energi pada kondisi cuaca lingkungan yang ekstrim seperti pada puncak musim kemarau dan musim penghujan juga menarik sebagai bagian dari penelitian lanjutan.

REFERENSI

- Ahmadzadehtalatapeh, M. (2013). An air-conditioning system performance enhancement by using heat pipe based heat recovery technology. *Scientia Iranica*, 20(2), 329–336. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scient.2013.02.004>
- Ansari, A. A., Goyal, V., Yahya, S. M., & Hussain, T. (2018). Experimental investigation for performance enhancement of a vapor compression refrigeration system by employing several types of water-cooled condenser. *Science and Technology for the Built Environment*,

- 24(7), 793–802. <https://doi.org/10.1080/23744731.2018.1423802>
- Ardita, I. N., & Subagia, I. W. A. (2018). The Application of Condensate Water as an Additional Cooling Media Intermittently in Condenser of a Split Air Conditioning. *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1), 12059. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012059>
- Atmaca, İ., Şenol, A., & Çağlar, A. (2022). Performance Testing and Optimization of a Split-type Air Conditioner with Evaporatively-Cooled Condenser. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 32, 101064. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.09.010>
- Chaiyat, N., & Kiatsiriroat, T. (2015). Study on Thermal Performance of R-32 Air-Conditioner. *Engineering Journal Chiang Mai University*, 22(2), 38–46.
- Chouhan, S. S., Naukarkar, S. ., & Gupta, M. M. (2016). Improvement of COP and Energy Efficiency Ratio of Domestic Refrigerator by using Additive in Refrigerant R134a. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 3(6).
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W., & Medina-Elizade, M. (2006). Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(39), 14288 LP – 14293. <https://doi.org/10.1073/pnas.0606291103>
- Hosoi, A. (2018). Latent Heat Load and COP Evaluation Method for Room Air Conditioners and Residential Central Air Conditioners. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*, 83(749), 597–606. <https://doi.org/10.3130/aije.83.597>
- International Energy Agency. (2018). *Air conditioning use emerges as one of the key drivers of global electricity-demand growth*. <https://www.iea.org/news/air-conditioning-use-emerges-as-one-of-the-key-drivers-of-global-electricity-demand-growth>
- Islam, M. R., Jahangeer, K. A., & Chua, K. J. (2015). Experimental and Numerical Study of an Evaporatively-cooled Condenser of Air-Conditioning Systems. *Energy*, 87, 390–399. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.005>
- Kartika, S. A. (2018). Analisis Konsumsi Energi Dan Program Konservasi Energi (Studi Kasus: Gedung Perkantoran Dan Kompleks Perumahan Ti). *Sebatik*, 22(2), 41–50. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v22i2.306>
- Koh, J. H., Zakaria, Z., & Veerasamya, D. (2017). Hydrocarbons as Refrigerants—A Review. *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, 34(1), 35–50.
- Lundgren-Kownacki, K., Hornyanszky, E. D., Chu, T. A., Olsson, J. A., & Becker, P. (2018). Challenges of using air conditioning in an increasingly hot climate. *International Journal of Biometeorology*, 62(3), 401–412. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1493-z>
- Montazeri, H., Blocken, B., & Hensen, J. L. M. (2015). Evaporative cooling by water spray systems: CFD simulation, experimental validation and sensitivity analysis. *Building and Environment*, 83, 129–141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.03.022>
- Mustaqim, Farid, A., & Wibowo, H. (2019). Variasi Tekanan Kerja Suction Compressor Terhadap Kinerja Ac Split dengan R290. *Seminar Nasional Teknoka*, M12–M14.
- Nguyen, V., Mehri, R., Godbout, G., & Matida, E. (2020). Performance Enhancement of an Air-Conditioning System using a Passive Add-on Device. *International Journal of Refrigeration*, 117, 124–131.
- Pahl, G., Beitz, W., Jörg Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach* (3rd ed.). Springer.
- Prabakaran, R., Lal, D. M., & Devotta, S. (2021). Effect of thermostatic expansion valve tuning on the performance enhancement and environmental impact of a mobile air conditioning system. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143(1), 335–350. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-09224-2>
- Randazzo, T., De Cian, E., & Mistry, M. N. (2020). Air conditioning and electricity expenditure: The role of climate in temperate countries. *Economic Modelling*, 90, 273–287.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.econmod.2020.05.001>
- Sharma, K. K., Gupta, R. L., & Katarey, S. (2016). Performance Improvement of Air Conditioning System using Applications of Evaporative Cooling: A Review Paper. *SSRG International Journal of Thermal Engineering*, 2(2), 1–5.
- Ufie, R., Tupamahu, C., Sarwuna, S., & Frans, J. (2021). Kaji Performansi Refrigeran R-290, R-32, dan R-410a Sebagai Alternatif Pengaanti R-22. *ALE Proceeding*, 4, 133–139. <https://doi.org/https://doi.org/10.30598/ale.4.2021.133-139>
- Ulpiani, G. (2019). Water mist spray for outdoor cooling: A systematic review of technologies, methods and impacts. *Applied Energy*, 254, 113647. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113647>
- Yang, H., Rong, L., Liu, X., Liu, L., Fan, M., & Pei, N. (2020). Experimental research on spray evaporative cooling system applied to air-cooled chiller condenser. *Energy Reports*, 6, 906–913. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.04.001>
- Yang, J., Chan, K. T., Wu, X., Yu, F. W., & Yang, X. (2012). An analysis on the energy efficiency of air-cooled chillers with water mist system. *Energy and Buildings*, 55, 273–284. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.018>
- Yu, F. W., & Chan, K. T. (2009). Modelling of improved energy performance of air-cooled chillers with mist pre-cooling. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(4), 825–836. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.06.016>