INJEKSI AIR PADA KONDENSOR UNTUK PENINGKATAN *COEFFICIENT OF PERFORMANCE* SISTEM PENGKONDISIAN UDARA: TINJAUAN SISTEMATIS LITERATUR BERBASIS PRISMA

Firman Agus Wahyudi[1], Nuzul Hidayat[1], Yasep Setiawan[1], Ahmad Arif[1]
[1]Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
*firmanagus678@gmail.com

Abstract: *Automotive air conditioning (AC) is essential for driving comfort and safety in tropical countries such as Indonesia, yet its efficiency is often constrained by the condenser's reliance on fan-driven air alone to reject heat. One strategy to improve the Coefficient of Performance (COP) is spraying or injecting water including evaporator condensate directly onto the condenser to accelerate heat rejection, an approach increasingly combined with microcontroller-based automatic control such as Arduino. This article presents a systematic review synthesizing empirical evidence on the effectiveness of this intervention for air-conditioning COP, while mapping the extent to which automatic control has been applied. The review follows the PRISMA 2020 guideline through four stages: identification, screening, eligibility, and inclusion. Searches were conducted on academic search engines and journal repositories (Google Scholar, ScienceDirect, ResearchGate, IOPscience, DOAJ, and Garuda/OJS) using combinations of the terms water spray/injection condenser, COP air conditioner, and their Indonesian equivalents. Of 118 records identified, 15 studies met the eligibility criteria and were included in the narrative synthesis. The review shows that condenser water spraying/injection consistently improves COP, with the magnitude varying (6.3–60%) depending on nozzle design, water flow rate, and ambient conditions, while none of the included studies applied microcontroller-based automatic control to trigger spraying based on real-time condenser temperature. These findings reinforce the rationale for developing a temperature-triggered, microcontroller-controlled condensate-spraying device, such as the Arduino-based Water Injector applied to an automotive AC training kit, as a relevant direction for future automotive vocational research.*
Keywords: *Condensate Water; Energy Efficiency; Refrigeration System; Automatic Control; Arduino.*

Abstrak: AC mobil merupakan komponen penting bagi kenyamanan dan keamanan berkendara, khususnya di negara beriklim tropis seperti Indonesia, namun efisiensinya kerap dibatasi oleh kemampuan kondensor melepas kalor yang hanya mengandalkan aliran udara dari kipas. Salah satu upaya meningkatkan *Coefficient of Performance* (COP) adalah menyemprotkan atau menginjeksikan air termasuk air sisa kondensasi evaporator langsung ke kondensor agar pelepasan kalor berlangsung lebih cepat, sebuah pendekatan yang belakangan mulai dipadukan dengan kontrol otomatis berbasis mikrokontroler seperti Arduino. Artikel ini menyusun tinjauan sistematis untuk merangkum bukti empiris mengenai efektivitas intervensi tersebut terhadap COP sistem pengkondisian udara, sekaligus memetakan sejauh mana kontrol otomatis telah diterapkan. Tinjauan mengikuti pedoman PRISMA 2020 melalui empat tahap: identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan penyertaan. Pencarian dilakukan pada mesin pencari akademik dan

 P-ISSN 2622-9110
E-ISSN 2654-8399

repositori jurnal (Google Scholar, ScienceDirect, ResearchGate, IOPscience, DOAJ, dan Garuda/OJS) menggunakan kombinasi istilah *water spray/injection condenser*, *COP air conditioner*, beserta padanan bahasa Indonesianya. Dari 118 rekaman yang teridentifikasi, 15 studi memenuhi kriteria kelayakan dan disertakan dalam sintesis naratif. Hasil tinjauan menunjukkan penyemprotan/injeksi air pada kondensor secara konsisten meningkatkan COP, dengan besaran yang bervariasi (6,3–60%) bergantung pada desain nosel, laju alir air, dan kondisi lingkungan, sementara tidak satu pun studi yang disertakan menerapkan kontrol otomatis berbasis mikrokontroler untuk mengatur penyemprotan berdasarkan suhu kondensor secara *real-time*. Temuan ini memperkuat urgensi pengembangan perangkat penyemprot air kondensasi yang dilengkapi kontrol otomatis berbasis suhu, sebagaimana diterapkan pada *Water Injector* berbasis Arduino pada *Training Kit* AC Mobil, sebagai arah pengembangan yang relevan bagi riset dan pendidikan vokasi otomotif selanjutnya.
Kata Kunci: Air Kondensasi; Efisiensi Energi; Sistem Refrigerasi; Kontrol Otomatis; Arduino.

A. Pendahuluan

Air Conditioner (AC) mobil telah menjadi fitur standar kendaraan modern yang berperan penting bagi kenyamanan sekaligus keselamatan berkendara, terutama di negara beriklim tropis seperti Indonesia. Sistem ini bekerja berdasarkan siklus kompresi uap, dengan kondensor berperan melepaskan kalor refrigeran ke udara sekitar sebelum refrigeran diturunkan tekanannya menuju evaporator (Nurhadi, 2014). Performa sistem lazim dievaluasi melalui *Coefficient of Performance* (COP), yaitu perbandingan antara efek pendinginan yang dihasilkan dengan kerja kompresor yang dibutuhkan; semakin tinggi nilai COP pada kondisi kerja yang sama, semakin efisien sistem tersebut.

Berbagai upaya telah ditempuh untuk meningkatkan COP sistem AC mobil, di antaranya memvariasikan jenis refrigeran (Irawan dkk., 2015; Subagyo dkk., 2021). Namun demikian, kondensor tetap menjadi titik kritis karena pelepasan kalornya umumnya hanya mengandalkan aliran udara dari kipas, yang efektivitasnya menurun pada suhu lingkungan tinggi. Karena kalor jenis dan kalor laten penguapan air jauh lebih besar daripada udara, air mulai dilirik sebagai media tambahan untuk mempercepat pelepasan kalor kondensor. Air yang digunakan tidak harus berasal dari sumber eksternal air sisa kondensasi yang menetes dari evaporator, yang selama ini umumnya terbuang, berpotensi dimanfaatkan kembali untuk disemprotkan ke kondensor (Candela, 2014).

Meskipun demikian, penerapan penyemprotan air pada kondensor kerap masih dilakukan secara manual atau dengan laju alir tetap, tanpa kontrol otomatis yang menyesuaikan waktu dan durasi penyemprotan dengan kebutuhan aktual. Kondisi ini berisiko menimbulkan penyemprotan yang tidak tepat waktu, pemborosan air, atau bahkan defisit air kondensasi apabila kebutuhan penyemprotan tidak diimbangi dengan ketersediaannya (Candela, 2014). Di sisi lain, integrasi mikrokontroler pada platform AC mobil sesungguhnya bukan hal baru mikrokontroler telah diterapkan untuk fungsi penyalaan jarak jauh (Nurhadi, 2014) maupun perancangan simulator praktikum AC mobil untuk pembelajaran vokasi (Hidayat dkk., 2023) namun penerapannya secara khusus untuk mengatur penyemprotan air kondensor berdasarkan suhu secara *real-time*

belum banyak dilaporkan.

Sebelum mengembangkan lebih lanjut perangkat penyemprot air kondensasi berbasis mikrokontroler pada *Training Kit* AC Mobil, diperlukan pemetaan bukti empiris secara sistematis mengenai efektivitas intervensi tersebut, sekaligus sejauh mana kontrol otomatis telah diterapkan pada intervensi sejenis. Oleh karena itu, artikel ini menyusun tinjauan sistematis literatur (*systematic literature review*) mengikuti pedoman PRISMA 2020 (Page dkk., 2021) dengan tiga tujuan: (1) merangkum bukti empiris efektivitas injeksi/penyemprotan air pada kondensor terhadap peningkatan COP sistem pengkondisian udara; (2) memetakan sejauh mana kontrol otomatis berbasis mikrokontroler telah diterapkan pada intervensi tersebut; dan (3) mengidentifikasi celah penelitian sebagai dasar pengembangan *Water Injector* berbasis Arduino pada *Training Kit* AC Mobil selanjutnya.

B. Metodologi Penelitian

Tinjauan ini disusun mengikuti pedoman pelaporan *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020 (Page dkk., 2021), yang terdiri atas empat tahap: identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan penyertaan. Protokol tinjauan tidak didaftarkan pada basis registrasi prospektif (mis. PROSPERO) mengingat sifatnya sebagai tinjauan pendukung artikel mahasiswa, bukan tinjauan klinis.

Kriteria Kelayakan. Kriteria inklusi dan eksklusi disusun menggunakan kerangka PICOS (*Population, Intervention, Comparison, Outcome, Study design*), disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria kelayakan studi berdasarkan kerangka PICOS

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Populasi/ Masalah	Sistem pengkondisian udara atau refrigerasi kompresi uap dengan kondensor berpendingin udara (AC mobil, AC split, AC/chiller berpendingin udara skala bangunan)	Sistem di luar AC/refrigerasi kompresi uap (mis. panel surya, PC, irigasi pertanian, sistem non-pendingin)
Intervensi	Injeksi/penyemprotan air atau air kondensasi pada permukaan kondensor atau aliran udara masuk kondensor, dengan atau tanpa kontrol otomatis	Modifikasi kondensor/peningkatan COP yang sama sekali tidak melibatkan unsur air (mis. hanya variasi refrigeran, kecepatan kipas, atau sirip kondensor) dan tidak dijadikan pembanding

P-ISSN 2622-9110
E-ISSN 2654-8399

Pembanding	Kondisi normal tanpa penyemprotan air, atau metode peningkatan COP lain sebagai pembanding	Tidak ada data pembanding sama sekali
Outcome	Melaporkan data kuantitatif COP, EER, konsumsi daya, atau kapasitas pendinginan	Tidak melaporkan data kuantitatif terukur
Desain Studi	Studi eksperimental/kuasi-eksperimental, uji lapangan, simulasi numerik tervalidasi, atau riset rancang bangun (R&D) primer	Opini, berita populer, forum diskusi, materi pemasaran produk, ulasan tanpa data primer
Tahun & Bahasa	Dipublikasikan 2013–2026, berbahasa Indonesia atau Inggris, teks penuh dapat diakses	Di luar rentang tahun, bahasa lain, atau teks penuh tidak dapat diakses

Rentang tahun publikasi yang digunakan adalah 2013–2026, mengikuti perkembangan riset penyemprotan/pendinginan evaporatif pada kondensor AC dalam dekade terakhir, sekaligus mengakomodasi studi rujukan yang mendasari pengembangan *Water Injector* berbasis Arduino pada *Training Kit* AC Mobil. Sumber Informasi dan Strategi Pencarian. Pencarian literatur dilakukan melalui mesin pencari akademik dan repositori jurnal, meliputi Google Scholar, ScienceDirect, ResearchGate, IOPscience, DOAJ, serta repositori jurnal nasional (Garuda Kemdikbudristek/OJS kampus). Karena tidak tersedia akses langsung ke basis data berlangganan institusi (mis. Scopus atau Web of Science) pada saat penyusunan draf ini, pencarian dilakukan melalui mesin pencari yang mengindeks sumber-sumber tersebut. Sebagai langkah verifikasi tambahan, hasil pencarian disarankan direplikasi melalui akses institusi Universitas Negeri Padang sebelum naskah ini disubmit ke jurnal tujuan. Pencarian dilakukan pada September 2026 menggunakan kombinasi kata kunci, antara lain:

a) ("water spray" OR "water injection" OR "condensate water") AND "condenser" AND ("COP" OR "coefficient of performance" OR "air conditioning
b) ("penyemprotan air" OR "injeksi air" OR "air kondensasi") AND kondensor AND ("COP" OR "AC mobil" OR "pengkondisian udara"); dan
c) ("microcontroller" OR "Arduino") AND ("condenser" OR "cooling system") AND ("automatic control" OR "kontrol otomatis").

Proses Seleksi Studi. Seleksi dilakukan dalam dua tahap. Pada tahap pertama, judul dan abstrak seluruh rekaman disaring oleh penulis pertama (Firman Agus Wahyudi) untuk membuang rekaman yang jelas berada di luar topik. Pada tahap kedua, artikel teks penuh dari rekaman yang lolos dinilai kelayakannya terhadap kriteria PICOS pada Tabel 1, dengan verifikasi oleh dosen pembimbing. Perbedaan penilaian antara kedua penelaah didiskusikan hingga tercapai kesepakatan. Alur seleksi lengkap disajikan pada diagram PRISMA (Gambar 1). Ekstraksi Data. Data yang diekstraksi dari setiap studi meliputi: penulis dan tahun publikasi, objek/jenis sistem yang diteliti, jenis intervensi air yang diterapkan, ada atau tidaknya kontrol otomatis, serta temuan utama terkait perubahan COP/efisiensi energi. Hasil ekstraksi dirangkum pada Tabel 2. Metode Sintesis. Karena tingginya heterogenitas desain penelitian (eksperimen laboratorium, uji lapangan, dan simulasi numerik), satuan pelaporan (COP, EER, konsumsi daya, kapasitas pendinginan), serta jenis sistem yang diteliti (AC mobil, AC split, AC/chiller berpendingin udara skala industri), sintesis dilakukan secara naratif dengan pengelompokan tema, bukan meta-analisis sejalan dengan rekomendasi PRISMA 2020 untuk kondisi data yang tidak dapat digabungkan secara statistik (Page dkk., 2021).

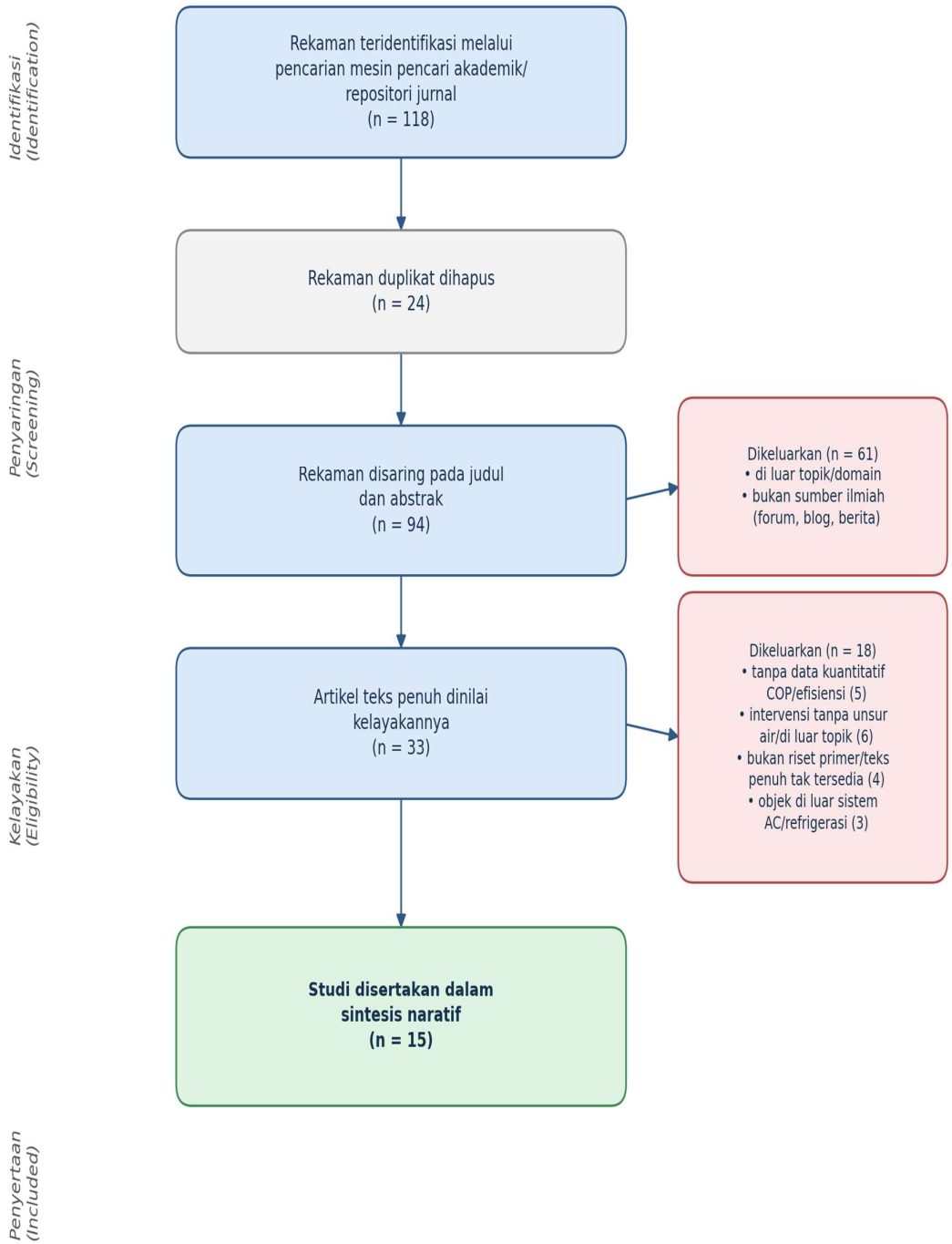
C. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil

Hasil Pencarian dan Seleksi Studi. Pencarian awal mengidentifikasi 118 rekaman. Setelah penghapusan duplikat (n = 24), sebanyak 94 rekaman disaring pada tingkat judul dan abstrak; 61 rekaman dikeluarkan karena berada di luar topik/domain (misalnya sistem irigasi pertanian, pendingin komputer, atau bukan sumber ilmiah primer seperti forum dan blog). Sebanyak 33 artikel teks penuh selanjutnya dinilai kelayakannya, dan 18 di antaranya dikeluarkan dengan rincian alasan: tidak melaporkan data kuantitatif COP/efisiensi (n = 5), intervensi pendinginan kondensor tanpa unsur air (n = 6), bukan riset primer atau teks penuh tidak dapat diakses (n = 4), serta objek penelitian di luar sistem AC/refrigerasi (n = 3).

Pada akhirnya, 15 studi memenuhi seluruh kriteria kelayakan dan disertakan dalam sintesis naratif. Alur seleksi selengkapnya disajikan pada Gambar 1.

P-ISSN 2622-9110
E-ISSN 2654-8399



Gambar 1. Diagram alur PRISMA 2020 proses identifikasi, penyaringan, penilaian kelayakan, dan penyertaan studi

Karakteristik Studi yang Disertakan. Dari 15 studi yang disertakan, 9 studi berfokus pada sistem AC/refrigerasi umum (AC split maupun AC berpendingin udara skala bangunan/industri) yang sebagian besar diterbitkan pada jurnal internasional, sedangkan 6 studi berfokus pada AC mobil yang sebagian besar diterbitkan pada jurnal nasional Indonesia. Karakteristik lengkap tiap studi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik studi yang disertakan dalam sintesis naratif

No	Penulis & Tahun	Objek/Sistem	Jenis Intervensi Air	Kontrol Otomatis	Temuan Utama
1	Hajidavallo o (2007)	AC jendela (window AC)	Bantalan evaporatif + injeksi air pada kondensor	Manual	Daya turun ±16%; COP naik ±55%
2	Hajidavallo o dan Eghtedari (2010)	AC split (refrigerasi udara)	Kondensor berpendingin evaporatif eksternal	Manual	Daya turun hingga 20%; COP naik ±50%
3	Yang, Pei, Fan, dkk. (2021)	Unit AC berpendingin udara	Semprot evaporatif, nosel atomisasi rancangan sendiri	Terjadwal/manu al	Daya turun 22%; COP naik ±42,6%
4	Yang dkk. (2021)	AC split	Elemen atomisasi piringan memanfaatkan air kondensasi	Manual (mode blower)	EER naik ±20%; daya turun 9,5% pada 43 °C
5	Ahmed dan Mohamed (2022)	Sistem VRF (simulasi)	Pra-pendinginan udara masuk	–	COP naik hingga

P-ISSN 2622-9110
E-ISSN 2654-8399

No	Penulis & Tahun	Objek/Sistem	Jenis Intervensi Air	Kontrol Otomatis	Temuan Utama
			kondensor evaporatif		60%; kerja kompresor turun 35%
6	Xiang dkk. (2024)	AC kondensor tipe-V	Semprot evaporatif intermiten, variasi jarak & sudut nosel	Terjadwal (intermiten)	EER naik dari 4,0 menjadi 4,89 (+22,2%)
7	Aziz dkk. (2021)	AC split 1 PK	Air kondensasi evaporator sebagai media pendingin langsung	Manual	Suhu & tekanan kondensor turun, performa siklus meningkat
8	Mainil dkk. (2021)	AC split	Modul evaporative cooling, variasi laju alir 880–1200 mL/menit	Manual (laju alir diatur peneliti)	COP tertinggi 7,09 (+12,95 %); kerja kompresor turun 6,57%
9	Syahnan dan Mainil (2016)	AC split 1 PK	Air kondensat sebagai media modul evaporative cooling	Manual	Penurunan suhu udara masuk kondensor teridentifikasi
10	Candela (2014)	AC mobil	Injektor plastik	Manual tanpa pengontrol	COP naik dari

No	Penulis & Tahun	Objek/Sistem	Jenis Intervensi Air	Kontrol Otomatis	Temuan Utama
			menyemprotkan air kondensasi ke kondensor		1,714 menjadi 2,118
11	Pratama (2021)	AC mobil	Modifikasi kondensor menjadi berpendingin air kontinu	Manual	COP 3,19–3,23 pada variasi 1500–3000 rpm
12	Solka dkk. (2023)	Trainer AC mobil (Training Kit)	Kondensor dengan media air sebagai alternatif	Tidak disebutkan	Berpotensi jadi alternatif peningkat COP pada 2970 rpm
13	Setyawan (2024)	AC ruangan (uji lapangan)	Discharge cooling memanfaatkan air kondensasi evaporator	Manual/gravitasi	COP naik 6,31%; daya turun 3,5%
14	Subagyo dkk. (2021)	AC mobil	Variasi jenis refrigeran (non-air), pembanding	–	MC-134 → COP terbaik; HFC-134 → efisiensi kompresor terbaik
15	Irawan dkk. (2015)	AC mobil	Perbandingan refrigeran R-134a vs MC-	–	Melengkapi pemaha

P-ISSN 2622-9110
E-ISSN 2654-8399

No	Penulis & Tahun	Objek/Sistem	Jenis Intervensi Air	Kontrol Otomatis	Temuan Utama
			134, pembanding		man strategi non-air peningka tan COP

Secara umum, seluruh studi melaporkan bahwa penambahan air baik dalam bentuk semprotan (*spray*), pra-pendinginan udara masuk kondensor secara evaporatif, maupun modifikasi kondensor menjadi berpendingin air memberikan peningkatan COP/EER yang bervariasi antara 6,3% hingga 60%, bergantung pada desain nosel/media, laju alir air, dan kondisi suhu lingkungan. Temuan penting lain adalah tidak satu pun dari 15 studi yang disertakan melaporkan penerapan kontrol otomatis berbasis mikrokontroler (misalnya Arduino) untuk mengatur penyemprotan air berdasarkan suhu kondensor secara *real-time*; seluruh studi menggunakan pengaturan manual, laju alir tetap, atau penjadwalan sederhana (lihat kolom "Kontrol Otomatis" pada Tabel 2).

2. Pembahasan

Efektivitas Injeksi/Penyemprotan Air pada Kondensor terhadap COP. Konsistensi temuan di seluruh 13 studi berbasis air (di luar dua studi pembanding non-air) menunjukkan bahwa penambahan air pada kondensor secara fisik masuk akal: kalor jenis dan terutama kalor laten penguapan air jauh lebih besar daripada udara, sehingga air mampu menyerap kalor dari sirip-sirip kondensor jauh lebih cepat daripada sekadar aliran udara kipas. Besaran peningkatan COP yang dilaporkan bervariasi cukup lebar, dari sekitar 6,3% (Mainil dkk., 2021; Setyawan, 2024) hingga 50–60% (Ahmed & Mohamed, 2022; Hajidavalloo & Eghtedari, 2010). Variasi ini tampak berkaitan dengan tiga faktor utama: desain dan penempatan nosel/media penyemprotan, laju alir air yang digunakan, serta selisih suhu antara lingkungan dan kondensor semakin panas dan kering kondisi lingkungan, semakin besar potensi peningkatan COP yang dapat dicapai (Yang, Pei, Fan, et al., 2021).

Pada konteks AC mobil secara khusus, temuan Candela (2014) dan Pratama (2021) menunjukkan pola serupa meski dengan besaran yang berbeda, sementara studi Solka et al. (2023) yang dilakukan pada *Training Kit* AC mobil di lingkungan Departemen Teknik Otomotif UNP, objek yang sama dengan penelitian ini turut mengonfirmasi bahwa kondensor bermedia air berpotensi menjadi alternatif peningkatan COP pada trainer sejenis.

Peran Kontrol Otomatis Berbasis Mikrokontroler. Temuan paling menonjol dari sintesis ini adalah kekosongan kontrol otomatis berbasis suhu pada seluruh studi yang disertakan. Mayoritas studi menggunakan penyemprotan manual, laju alir tetap yang

ditentukan di awal eksperimen, atau pada kasus terbaik penjadwalan intermiten sederhana (Xiang dkk., 2024). Ketiadaan kontrol otomatis berbasis suhu *real-time* berisiko menimbulkan dua masalah sekaligus: penyemprotan berlebih yang memboroskan air dan berpotensi mempercepat korosi komponen, atau penyemprotan yang kurang sehingga manfaat peningkatan COP tidak tercapai secara optimal sebagaimana disinggung oleh Candela (2014) sebagai keterbatasan utama rancangan injektor plastiknya.

Di sisi lain, kelayakan teknis integrasi mikrokontroler pada platform AC mobil sesungguhnya telah dibuktikan pada konteks lain, seperti sistem penyalaan jarak jauh (Nurhadi, 2014) dan simulator praktikum AC mobil untuk pembelajaran vokasi (Hidayat dkk., 2023). Kesenjangan antara kelayakan teknis yang telah terbukti pada fungsi-fungsi tersebut dengan minimnya penerapannya secara khusus untuk mengatur penyemprotan air kondensor berdasarkan suhu memperkuat posisi bahwa kontrol otomatis berbasis mikrokontroler merupakan celah penelitian yang nyata, bukan sekadar penyempurnaan teknis kecil.

Pemanfaatan Air Kondensasi sebagai Sumber Air Berkelanjutan. Sebagian besar studi yang disertakan, baik pada AC bangunan (Aziz dkk., 2021; Syahnan & Mainil, 2016) maupun AC mobil (Candela, 2014), memanfaatkan air sisa kondensasi evaporator sebagai sumber air penyemprotan, bukan air dari sumber eksternal. Pendekatan ini menguntungkan karena tidak memerlukan pasokan air tambahan dan memanfaatkan air yang selama ini umumnya terbuang. Namun demikian, ketersediaan air kondensasi bersifat terbatas dan bergantung pada kondisi kelembapan udara serta lama operasi sistem, sehingga diperlukan keseimbangan antara laju produksi air kondensasi dengan kebutuhan penyemprotan sebuah pertimbangan yang relevan secara langsung bagi pengembangan *Water Injector* pada *Training Kit* AC Mobil, mengingat laju produksi air kondensasi pada trainer bersifat terbatas dan baru stabil setelah beberapa menit operasi.

Keterbatasan Studi dan Celah Penelitian. Tingginya heterogenitas antarstudi baik dari sisi jenis sistem, metode pengujian, maupun satuan yang dilaporkan membuat perbandingan kuantitatif langsung antarstudi sulit dilakukan, sehingga sintesis pada tinjauan ini bersifat naratif, bukan meta-analisis. Mayoritas studi dengan besaran peningkatan COP tertinggi berasal dari AC split/bangunan skala lebih besar, bukan AC mobil, sehingga transferabilitas besaran tersebut ke konteks *Training Kit* AC mobil berskala kecil perlu diuji lebih lanjut melalui eksperimen langsung, bukan diasumsikan setara. Tinjauan ini juga memiliki keterbatasan metodologis: pencarian dilakukan melalui mesin pencari akademik umum, bukan akses langsung ke basis data berlangganan institusi seperti Scopus atau Web of Science, sehingga cakupan pencarian berpotensi belum sepenuhnya lengkap.

Implikasi bagi Pengembangan *Water Injector* Berbasis Arduino pada *Training Kit* AC Mobil. Secara keseluruhan, hasil sintesis ini memperkuat dua landasan sekaligus bagi pengembangan *Water Injector* berbasis Arduino pada *Training Kit* AC Mobil: pertama, bukti empiris yang konsisten bahwa injeksi/penyemprotan air pada kondensor

efektif meningkatkan COP; kedua, celah penelitian yang nyata pada sisi kontrol otomatis berbasis suhu, yang belum banyak dieksplorasi pada studi-studi sejenis. Dengan demikian, pengembangan alat yang memadukan penyemprotan air kondensasi dengan kontrol mikrokontroler berbasis sensor suhu yang secara otomatis mengaktifkan pompa saat suhu kondensor melampaui ambang tertentu dan menghentikannya saat suhu kembali normal merupakan kontribusi yang relevan secara akademis maupun praktis bagi pengembangan fasilitas pembelajaran vokasi teknik otomotif.

D. Penutup

Tinjauan sistematis literatur berbasis PRISMA 2020 terhadap 15 studi menunjukkan bahwa injeksi/penyemprotan air pada kondensor, termasuk pemanfaatan air sisa kondensasi, secara konsisten meningkatkan COP sistem pengkondisian udara dengan besaran yang bervariasi antara 6,3% hingga 60%, bergantung pada desain intervensi dan kondisi lingkungan. Namun demikian, tidak satu pun dari studi yang disertakan menerapkan kontrol otomatis berbasis mikrokontroler untuk mengatur penyemprotan berdasarkan suhu kondensor secara *real-time*; seluruh studi mengandalkan pengaturan manual atau laju alir tetap. Temuan ini menegaskan bahwa pengembangan *Water Injector* berbasis Arduino pada *Training Kit* AC Mobil mengisi celah penelitian yang nyata, sekaligus memberikan landasan literatur yang memadai bagi pengembangan lebih lanjut. Penelitian selanjutnya disarankan mereplikasi pencarian literatur ini melalui akses basis data berlangganan institusi untuk memperluas cakupan, serta menguji secara eksperimental sejauh mana kontrol otomatis berbasis suhu memengaruhi konsistensi dan efisiensi peningkatan COP dibandingkan dengan penyemprotan manual.

Daftar Pustaka

Ahmed, K. A., & Mohamed, O. E. (2022). Performance Improvement of an Air Cooled Air Conditioning System Using an Evaporative Cooled Condenser. *University of Khartoum Engineering Journal*, *12*(1).

Aziz, A., Syahnan, M. R., Mainil, A. K., & Mainil, R. I. (2021). Experimental Investigation of a Split Air Conditioning Using Condensate as Direct Evaporative Cooling. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *86*(1), 140–153. https://doi.org/10.37934/arfmts.86.1.140153

Candela, L. S. (2014). Peningkatan COP (Coefficient of Performance) Sistem AC Mobil dengan Menggunakan Air Kondensasi. *Jurnal Teknik Mesin*, *2*(02). https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/6536

Hajidavalloo, E. (2007). Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner. *Applied Thermal Engineering*, *27*(11–12), 1937–1943.

Hajidavalloo, E., & Eghtedari, H. (2010). Performance improvement of air-cooled refrigeration system by using evaporatively cooled air condenser. *International journal of refrigeration*, *33*(5), 982–988.

Hidayat, N., Giatman, M., Muskhir, M., Effendi, H., & Arif, A. (2023). Car Air

Conditioner System Simulator Design for Student Practicum. *MOTIVECTION : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, *5*(1), 151–160. https://doi.org/10.46574/motivection.v5i1.198

Irawan, R., Andrizal, A., & Basri, I. Y. (2015). Perbandingan coefficient of performance (cop) refrigerant r-134a dengan refrigerant mc-134 pada sistem pengkondisian udara mobil. *Jurnal Pendidikan Teknik Otomotif-Automotive Engineering Education Journals*, *1*(2).

Mainil, R. I., Sulaiman, A. W., Mainil, A. K., & Aziz, A. (2021). Performance enhancement of split air conditioner during evaporative cooling application. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *86*(2), 147–156.

Nurhadi, N. (2014). Rancang Bangun Sistem Penyalaan Ac Mobil Dari Jarak Jauh Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Malang*, *21*(2), 134806.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pratama, B. (2021). Analisa Coefficient Of Performance (C.O.P) Menggunakan Kondensor Berpendingin Air Pada Ac Mobil. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, *1*(3). https://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt/article/view/623

Setyawan, A. (2024). Enhancing Air Conditioner Efficiency Through Evaporative Cooling of the Compressor: Field Test Results. *International Journal of Heat & Technology*, *42*(3), 1073. https://doi.org/10.18280/ijht.420334

Solka, G., Hidayat, N., Andrizal, A., & Lapisa, R. (2023). Analisis Coeffisient of Performance (COP) Trainer Sistem Pengkondisian Udara pada Putaran 2970 rpm. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, *1*(1), 51–66. https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i1.7

Subagyo, R. S., Oktapiyanor, F., Fadliyanur, Muchsin, & Nanlohy, H. Y. (2021). Analisis Kinerja AC Mobil dengan Variasi Freon R-134A, HFC-134 dan MC-134. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, *6*(2), 119–128. https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v6i2.193

Syahnan, M. R., & Mainil, R. I. (2016). *Potensi Air Kondensat Sebagai Media Pendingin Untuk Aplikasi Modul Evaporative Cooling Terhadap Performansi AC Split 1 PK*.

Xiang, H., Jian, H., Lin, S., Junjie, C., Libo, Y., Liu, Y., & Xin, W. (2024). Experimental study on the effect of spray evaporative condensation on air conditioning performance. *Xi'an Gongcheng Daxue xuebao*, *38*(5), 109–116.

Yang, H., Pei, N., Fan, M., Liu, L., & Wang, D. (2021). Experimental study on an air-cooled air conditioning unit with spray evaporative cooling system. *International*

Journal of Refrigeration, *131*, 645–656. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.06.011