

RANCANG BANGUN DAN EVALUASI KINERJA SIMULATOR SISTEM PENDINGIN ENGINE TERHADAP CAIRAN PENDINGIN

Ilham zaki fauzan¹; Ibnu mubarak²; Yusep Sukrawan^{3*}

^{1, 2, 3}Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Pendidikan Indonesia, Indonesia

*Corresponding Author: fauzan471@upi.edu

Abstract

This study aims to design and develop a simulator of an automotive engine cooling system that serves both as a practical learning tool and an experimental platform to evaluate the effectiveness of three types of coolant fluids: Radiator coolant, mineral water, and demineralized water. The simulator was built using an Arduino-based system equipped with temperature sensors, a heating element, a water pump, and a radiator fan. The experiment focused on three key indicators: the time needed to reach engine operating temperature, the temperature difference between radiator inlet and outlet (ΔT). Results showed that mineral and demineralized water outperformed Radiator coolant in terms of thermal efficiency, particularly in heat transfer rate and temperature drop. Beyond numerical results, the simulator also enabled learners to directly observe coolant flow and the function of each component, enhancing their conceptual understanding. This study contributes to the development of accessible, practice-based automotive learning media, while also offering experimental insight into alternative coolant fluids in the context of vocational education..

Keywords: *simulator, engine cooling system, Radiator coolant, demineralized water, automotive education*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sebuah simulator sistem pendingin *engine* kendaraan ringan yang tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran praktik, tetapi juga sebagai alat untuk mengevaluasi efektivitas tiga jenis cairan pendingin, yaitu *Radiator coolant*, air mineral, dan air demineralisasi. Simulator dikembangkan dengan menggunakan sistem berbasis Arduino, dilengkapi dengan sensor suhu, elemen pemanas, pompa air, dan kipas radiator. Pengujian dilakukan dengan fokus pada tiga indikator utama: waktu untuk mencapai suhu kerja, perbedaan suhu antara inlet dan outlet radiator (ΔT). Hasilnya menunjukkan bahwa air mineral dan air demineralisasi memberikan performa pendinginan yang lebih baik dibandingkan *Radiator coolant*, terutama dalam hal efisiensi pelepasan panas dan stabilitas suhu. Selain memberikan data eksperimen, simulator ini juga memungkinkan mahasiswa mengamati langsung aliran cairan pendingin dan cara kerja setiap komponen, sehingga membantu meningkatkan pemahaman konsep secara menyeluruh. Penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam menghadirkan media praktik yang aplikatif serta memperkaya referensi eksperimen cairan pendingin dalam lingkungan pendidikan vokasi..

Kata Kunci: *simulator, sistem pendingin engine, Radiator coolant, air demineralisasi, pendidikan otomotif*

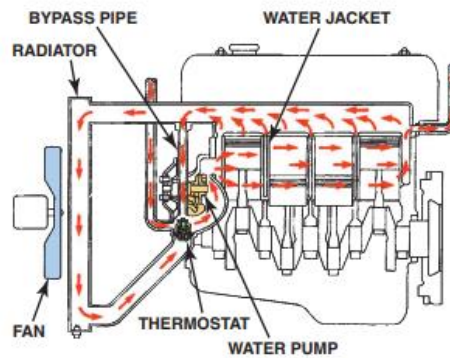
PENDAHULUAN

Sistem pendingin *engine* berperan penting dalam menjaga performa dan umur panjang mesin kendaraan. Pada *engine* pembakaran dalam, suhu kerja dapat mencapai lebih dari 2.500°C (Halderman, 2012). Hanya sebagian panas dari pembakaran yang dimanfaatkan sebagai tenaga, sehingga panas berlebih perlu segera dibuang untuk mencegah kerusakan pada komponen *engine* (Wiharno & Agus, 2019). Sistem pendinginan *engine* dirancang agar mampu membuang panas secara efisien dan menjaga suhu kepala dan dinding silinder tetap dalam kisaran yang efisien, sekaligus mengeluarkan sepertiga panas *engine*, sementara sisanya dibuang melalui knalpot (Santosa et al., 2024). Efektivitas sistem pendingin dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti desain radiator, jenis cairan pendingin, ukuran pompa, kipas, dan tekanan sistem (Halderman, 2012).

Komponen utama sistem pendingin menurut Halderman (2012) yaitu radiator, yang berfungsi untuk melepaskan panas dari cairan pendingin ke udara. Tutup radiator, berfungsi untuk mengatur atau menjaga tekanan cairan dalam sistem pendingin mobil (Gunawan & Wilerso, 2020). Pompa Air, berfungsi untuk mengatur sirkulasi air pendingin dari radiator ke silinder *engine* (Halderman, 2012). Thermostat, berfungsi untuk mengatur suhu *engine* agar mencapai suhu kerja yang optimal (Musa, Budiyono, 2019). Kipas pendingin, menjaga suhu *engine* tetap optimal (Hariyanto & Imam, 2022).

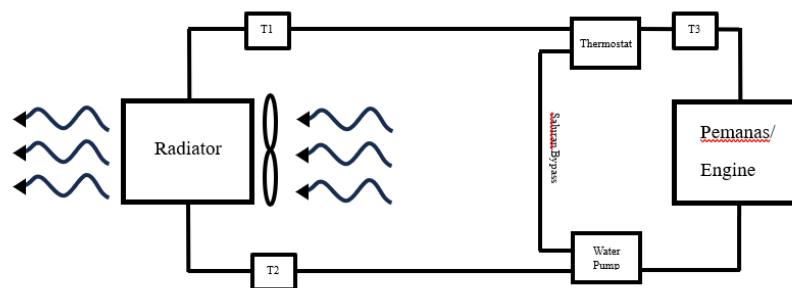
Cairan pendingin atau *coolant* merupakan salah satu komponen utama dalam sistem pendinginan (Elfiano et al., 2024). Fungsinya adalah menyerap panas dari *engine* lalu melepaskannya melalui radiator. Efektifitas proses pendinginan sangat bergantung pada jenis cairan yang digunakan. *Radiator coolant* berbasis *ethylene glycol* umum digunakan karena memiliki titik didih tinggi dan kandungan zat anti-karat. Disisi lain, air mineral dan air demineralisasi kerap menjadi alternatif karena harganya yang murah dan mudah diperoleh, meskipun tidak mengandung aditif pelindung dan memiliki titik didih lebih rendah (Haris et al., 2022).

Engine dengan sistem pendinginan air, cairan pendingin mengalir melalui bagian-bagian *engine* yang membutuhkan pendinginan, seperti dinding dan kepala silinder, untuk menyerap panas. Setelah itu, cairan pendingin yang sudah panas mengalir ke radiator untuk didinginkan kembali. Di radiator, cairan ini mengalir melalui pipa vertikal yang dilengkapi dengan sirip pendingin yang memperluas area perpindahan panas. Udara yang dipaksa melewati sirip-sirip radiator, baik oleh kipas atau gerakan kendaraan, menyerap panas dari cairan pendingin (Arismunandar, 2005). Skema aliran cairan pendingin pada sistem pendinginan di kendaraan dan skema pada simulator dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1 Aliran cairan pendingin

Sumber: (Halderman, 2012)



Gambar 2 Diagram pada simulator

Sistem pendinginan *engine*, baik yang berbasis air maupun udara, bekerja dengan prinsip aliran fluida untuk menyerap dan melepaskan panas, dimana efektivitasnya sangat dipengaruhi oleh jenis fluida yang digunakan, seperti air sumur atau *coolant* yang berfungsi menjaga kestabilan *engine* (Abd et al., 2024). Perpindahan panas adalah proses pemindahan energi dari suatu sistem ke sistem lain yang disebabkan oleh perbedaan suhu (Yunus A. Cengel, 2015).

Pemahaman mengenai sistem pendinginan *engine* dalam pendidikan vokasi tidak cukup hanya berbasis teori. Pendidikan vokasional menekankan pembelajaran berbasis praktik agar peserta didik menguasai keterampilan secara langsung. Banyak sekolah dan lembaga pendidikan tinggi belum memiliki media praktik yang memungkinkan peserta didik melihat secara langsung sirkulasi cairan pendinginan. Sebagian besar perangkat seperti *engine stand* tidak memperlihatkan aliran cairan secara visual sehingga siswa kesulitan memahami proses pendinginan secara menyeluruh. Situasi ini berkontribusi terhadap rendahnya pemahaman siswa terhadap konsep kerja sistem pendinginan *engine*.

Proses pembelajaran dan penilaian kompetensi sistem pendinginan *engine* masih menghadapi sejumlah kendala. Penelitian oleh (Handayani et al., 2021) menunjukkan bahwa metode pembelajaran klasikal (ceramah) yang masih dominan tidak mampu memfasilitasi

keaktifan peserta didik dalam pembelajaran praktis. Sementara itu, media praktik seperti *engine stand* meskipun memberikan gambaran nyata, tetap memiliki keterbatasan dalam hal keamanan, keterlihatan proses pendinginan internal, serta keterbatasan pengamatan real-time terhadap suhu dan respons komponen seperti thermostat dan kipas.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan pembelajaran sistem pendingin, seperti penerapan metode tutor sebaya guna meningkatkan hasil belajar (Muzaqi & Sampurno, 2022). Metode tersebut juga digunakan oleh (Handayani et al., 2021) yang terbukti meningkatkan hasil belajar kognitif peserta didik. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa penggunaan simulator dalam pembelajaran teknik otomotif mampu meningkatkan pemahaman siswa secara signifikan (Arleiny et al., 2021). Keberadaan simulator memungkinkan peserta didik menghubungkan teori dengan visualisasi nyata mengenai proses teknis yang sedang dipelajari. Penggunaan simulator juga terbukti efektif digunakan dalam proses pembelajaran (Subeki et al., 2024). Media pembelajaran yang mampu mempresentasikan kerja sistem pendinginan *engine* sekaligus membuka peluang eksplorasi terhadap variasi cairan pendinginan *engine* sangat dibutuhkan dalam proses belajar yang efektif.

Penelitian ini mengembangkan sebuah simulator sistem pendinginan *engine* berbasis arduino yang dirancang untuk menampilkan sirkulasi pendinginan secara langsung. Alat ini dilengkapi dengan elemen pemanas sebagai simulasi ruang bakar, sensor suhu digital (DS18B20), pompa air, kipas radiator, dan kontrol otomatis menggunakan arduino UNO. Tampilan LCD ditambahkan untuk menunjukkan suhu pada selang atas, selang bawah, dan ruang bakar, serta bagian radiator dibuat transparan agar aliran cairan pendinginan dapat diamati secara visual.

Penggunaan simulator ini tidak hanya ditujukan sebagai media pembelajaran praktik, tetapi juga sebagai alat evaluasi terhadap tiga jenis cairan pendingin: *Radiator coolant*, air mineral, dan air demineralisasi. Pengujian dilakukan untuk menilai performa cairan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu waktu menuju suhu kerja, perbedaan suhu masuk dan keluar radiator (ΔT). Simulasi dilaksanakan dalam sistem terbuka agar karakteristik perpindahan panas masing-masing cairan dapat diamati secara objektif.

METODE

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan utama, dimulai dari identifikasi masalah terkait kebutuhan analisis performa cairan pendingin pada simulator sistem pendingin engine, dilanjutkan dengan perumusan tujuan untuk membandingkan efisiensi *radiator coolant*, air aqua, dan air aki. Selanjutnya dilakukan perancangan simulator berbasis Arduino, pengujian dengan tiga jenis cairan pendingin untuk mengukur parameter suhu, waktu stabilisasi, dan

efisiensi pelepasan panas, kemudian analisis data secara statistik sederhana, serta pelaporan hasil yang memuat hasil dan pembahasan. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3 Alur Penelitian

Persiapan

Simulator sistem pendingin ini dirancang melalui proses pembuatan radiator, perakitan rangka, pemrograman Arduino, pemilihan sensor suhu, serta integrasi berbagai komponen yang bekerja secara terpadu untuk mendeteksi suhu dan mengaktifkan sistem pendinginan sesuai kebutuhan, dengan rincian alat dan bahan yang digunakan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1 Alat

No.	Nama Alat	Jumlah	No.	Nama Alat	Jumlah
1.	Gerinda tangan	1 unit	10.	Solder	1 buah
2.	Travo Las	1 set	11.	Bor tangan	1 unit
3.	Kedok Las	1 buah	12.	Bor duduk	1 unit
4.	Meteran	1 buah	13.	Kuas Cat	2 buah
5.	Mistar siku	1 buah	14.	Roll kabel	1 buah
6.	Penggores	1 buah	15.	Skrup dempul	2 buah
7.	Sarung tangan	2 pasang	16.	Sikat kawat	1 buah
8.	Palu chipping	1 buah	17.	Tang potong	1 buah
9.	Multimeter	1 buah	18.	Toolbox	1 unit

Tabel 2 Bahan

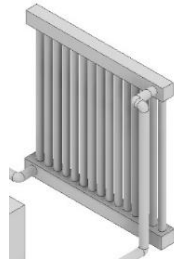
No.	Nama Alat	Jumlah	No.	Nama Alat	Jumlah
1.	Pipa pyrex 1 meter	2 buah	27.	Kabel jumper	3 set
2.	Pipa Aluminium	26 buah	28.	steker broko	2 buah
3.	Plat Besi	1 meter	29.	box arduino	1 buah
4.	Selang Kawat Transparan 1"	1 meter	30.	I2C Serial intervale LCD	1 unit
5.	Selang Kawat Transparan 5/8"	1 meter	31.	Upper & Lower tank	1 pasang
6.	Nepel Selang	2 buah	32.	Lem Sealant	5 buah
7.	Sambungan Selang	4 buah	33.	Lem Fahrenheit	1 buah
8.	Klip Selang	13 buah	34.	Lem Araldite	8 buah
9.	Pemanas Mug	4 buah	35.	Kaleng susu	4 buah
10.	kabel pemanas mug	1 meter	36.	Metal Cutter DIY 2.5 mm	2 buah
11.	Plat aluminium 2x1 m	1 lembar	37.	metal cutter biasa	3 buah
12.	Thermostat Kijang 5K	1 buah	38.	ampelas	3 lembar
13.	Water Outlet Kijang 5k	1 buah	39.	kuas kecil	1 buah
14.	Rumah Thermostat	1 buah	40.	kuas sedang	1 buah
15.	Drain Plug	1 buah	41.	rucika soket kuningan	2 buah
16.	Pompa Elektrik	1 buah	42.	star skrup philips 8x	4 buah
17.	Pompa Elektrik	1 unit	43.	akrilik	2 buah
18.	Kipas Radiator	1 buah	44.	Seal tape	2 buah
19.	Besi Siku 3x3	6 meter	45.	Gasket	4 buah
20.	Kawat Las	½ kg	46.	Amplas Kipas	1 buah
21.	Cat Besi	1 kaleng	47.	Sealant Merah	3 buah
22.	Thinner	1 kaleng	48.	Reservoir Tank	1 buah
23.	Mur & Baut	30 buah	49.	Selang Reservoir Tank	1 buah
24.	Power Supply 12V 10A	1 unit	50.	Air Radiator 7L	7 liter
25.	Sensor Suhu	3 unit	51.	Air Aki 7.5L	7,5 liter
26.	Arduino uno	1 unit			

Proses Rancang Bangun

Dalam perancangan ini, tahap awal yang dilakukan adalah membuat perancangan desain untuk mempermudah dalam proses pemotongan dan pengelasan. Tahapan proses pembuatan Simulator sistem pendingin *engine* sebagai berikut:

Perancangan Desain Radiator

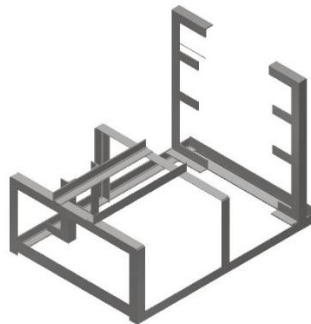
Perancangan desain radiator pada simulator sistem pendingin *engine* dilakukan menggunakan perangkat lunak Inventor, dengan bentuk yang disesuaikan untuk menampilkan aliran air melalui dua pipa transparan berbahan kaca pyrex yang dipasang di setiap ujung radiator guna memperjelas visualisasi aliran fluida dalam proses pendinginan. Hasil desain ditampilkan pada gambar berikut:



Gambar 4 Desain Rancangan Radiator

Perancangan Desain Rangka

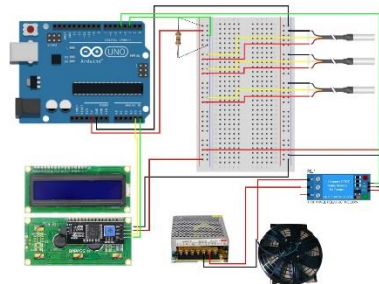
Desain rangka simulator dirancang menggunakan aplikasi Inventor untuk mempermudah proses pemotongan, pengelasan, serta penyesuaian bentuk dan tata letak komponen radiator agar sesuai dengan kebutuhan fungsional dan struktural, sebagaimana ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 5 Desain perancangan rangka menggunakan aplikasi Inventor

Skema Rangkaian Arduino

Skema rangkaian elektronik disusun untuk mempermudah pemasangan sistem Arduino yang berfungsi membaca sensor suhu, mengatur kerja relay sebagai pemicu kipas radiator, menampilkan data pada layar LCD, serta menggambarkan jalur koneksi antar komponen mulai dari sensor, relay, LCD, kipas, hingga Arduino. Skema sensor suhu dan relay pada arduino dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 6 Skema Sensor Suhu dan Relay

Pengukuran dan Pemotongan Bahan Radiator

Radiator dibuat menggunakan pipa aluminium berukuran panjang 41 cm, diameter 10 mm, dan ketebalan 0,5 mm, yang berfungsi untuk mensimulasikan aliran air di dalam sistem pendingin.

Proses tersebut dilakukan seperti pada gambar berikut.



Gambar 7 Proses pemotongan pipa

Modifikasi *Upper Tank* dan *Lower Tank* Radiator

Modifikasi pada upper tank dan lower tank dilakukan dengan cara melubangi bagian tertentu sesuai ukuran pipa aluminium dan kaca pyrex, sehingga keduanya dapat dipasang secara presisi dan terintegrasi dengan sistem radiator. Proses modifikasi dilakukan dengan melubangi bagian bawah upper tank seperti pada gambar berikut.



Gambar 8 Proses modifikasi upper tank dan lower tank

Pembuatan Sirip-sirip Radiator

Sirip-sirip radiator pada simulator sistem pendingin *engine* dirancang menggunakan plat aluminium setebal 0,5 mm yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi pendinginan air yang mengalir melalui radiator. Plat aluminium dilubangi menyesuaikan dengan upper tank dan lower tank seperti pada gambar berikut.



Gambar 9 Melubangi plat aluminium

Perakitan Radiator

Setelah proses pemotongan dan melubangi bahan radiator selesai, dilanjutkan dengan proses selanjutnya, yaitu merangkai semua bahan yang telah disiapkan menjadi satu kesatuan radiator. Proses perakitan dilakukan seperti pada gambar berikut.



Gambar 10 Merangkai pipa dan plat aluminium

Pembuatan Simulator *Water jacket*

Water jacket pada simulator sistem pendingin *engine* ini dirancang dengan menggunakan plat besi dengan tebal 4 mm yang dibentuk dengan bentuk balok dengan ukuran panjang 10 cm, lebar 8 cm, dan tinggi 12 cm. Untuk simulasi silinder menggunakan kaleng susu berjumlah 4 buah, dan dipasang pemanas teko bertegangan AC yang dipasang berjumlah 4 buah.

Rangka Simulator

Bahan yang digunakan dalam pembuatan rangka simulator adalah besi siku dengan ukuran 3x3 meter dan panjang 6 meter. Besi siku adalah besi yang memiliki sudut 90 derajat. Jenis besi ini banyak digunakan karena kokoh dan tahan lama sehingga dapat digunakan untuk keperluan konstruksi karena mampu bertahan dalam jangka waktu yang lama.

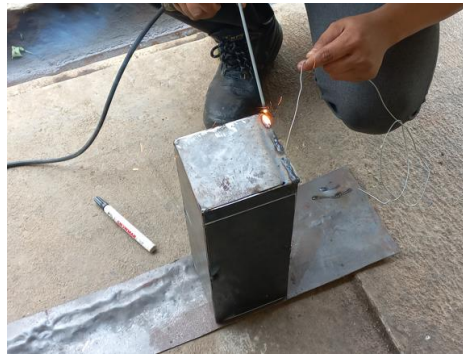
Pengelasan

Setelah dilakukan pemotongan bahan, selanjutnya dilakukan pengelasan dengan tujuan untuk menyambungkan besi satu dengan yang lainnya sesuai dengan desain dengan menggunakan las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*). Dalam pengelasan ini menghabiskan $\frac{1}{2}$ kg kawat las dikerjakan selama dua hari disebabkan oleh adanya kendala saat melakukan penyambungan yang berkaitan dengan presisi dan diagonal.

Pada tahap pengelasan ini menggunakan elektroda 2,6 mm dengan arus las sebesar 55 sampai 60 ampere sesuai dengan spesifikasi tebal besi yang dilas. Pengelasan pada pembuatan simulator *water jacket* dan rangka simulator dilakukan seperti pada gambar berikut.



Gambar 11 Proses pengelasan rangka



Gambar 12 Proses pengelasan simulasi *water jacket*

Pendempulan dan Pengecatan

Setelah proses pengelasan selesai untuk meratakan permukaan yang kurang rata, dilakukan pencampuran agar rangka yang dibuat terlihat rapi pada saat pengecatan. Pendempulan dilakukan untuk meratakan permukaan yang kurang rata akibat pengelasan karena ada beberapa yang melenting dan masih ada sedikit lubang. Pendempulan dilakukan dengan menggunakan dempul alfablos 1 kg dengan bahan campurannya yaitu hardener. Menggunakan alat scrub untuk mencampurkan dempul dan hardener hingga rata, lalu diaplikasikan ke permukaan yang tidak rata, seperti pada gambar berikut.



Gambar 13 Proses pendempulan

Pengecatan dilakukan setelah semua proses selesai, dari mulai pengukuran, pemotongan, pengelasan, dan pendempulan, lalu dilakukan mengecatan yang bertujuan agar simulator ini terlihat lebih rapih dan terhindar dari karat. Cat yang digunakan pada simulator ini adalah cat avian berwarna biru dengan menggunakan campuran tiner. Dalam proses pengecatan ini juga

menggunakan alat bantu spray gun untuk membuat pengecatan jadi lebih rata. Pengecatan dilakukan dalam waktu dua hari.

Sebelum dilakukan pengecatan, terlebih dahulu melakukan pengamplasan besi dari hasil pendempulan agar permukaan rangka lebih rata dengan menggunakan amplas 600 dan amplas 800 dengan alat bantu menggunakan media air bersih.



Gambar 14 Proses pengecatan

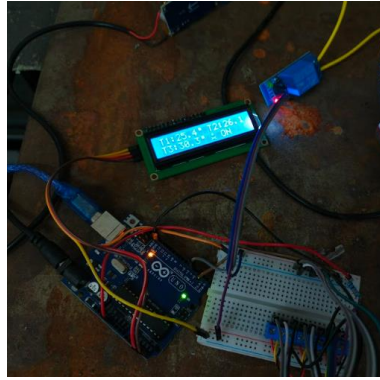
Perakitan dan Uji Coba Simulator

Tahap akhir dari pembuatan simulator sistem pendingin *engine* adalah merakit semua komponen yang telah disiapkan dan disatukan ke rangka menjadi satu kesatuan. Memastikan semua komponen dalam kondisi siap pasang dan berfungsi dengan baik setelah dipasang, sehingga simulator dapat berjalan dengan normal, seperti pada gambar berikut.



Gambar 15 Perakitan simulator

Setelah radiator, pompa, selang, dan termostat termasang ke rangka, selanjutnya adalah merangkai sensor suhu yang dibaca melalui arduino. Sensor suhu digunakan untuk membaca suhu air yang bersirkulasi di dalam simulator, jumlah sensor yang dipasang berjumlah 3 sensor, yang diantaranya terpasang di selang masuk radiator, selang keluar radiator, dan selang dekat simulasi *water jacket*. Sensor ini juga yang mengatur beroperasinya kipas dengan batas suhu yang ditentukan sesuai dengan kebutuhan. Dalam simulator ini kipas diatur akan menyala pada suhu 70°C untuk mencegah kebocoran pada simulasi *water jacket*. Rangkaian dilakukan seperti pada gambar berikut.



Gambar 16 Proses merakit sensor suhu

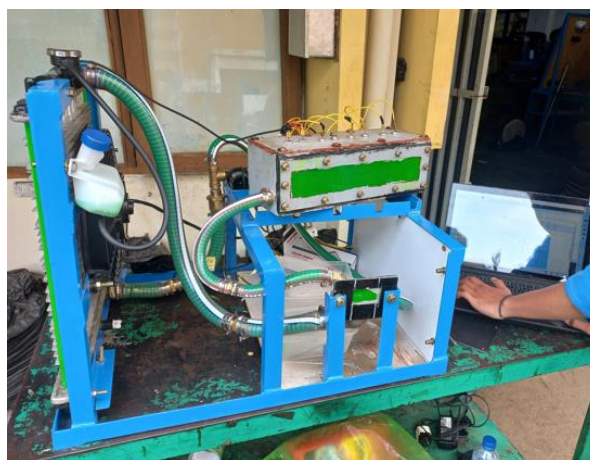
Setelah dirakit, simulator kemudian diuji coba dengan menggunakan air keran untuk memastikan semua komponen bekerja sesuai dengan fungsinya, seperti pada gambar berikut.



Gambar 17 Proses uji coba simulator

Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah simulator bekerja dan mampu membaca suhu air yang mengalir dalam simulator. Data yang diambil yaitu suhu air yang masuk dan yang keluar dari radiator, suhu sebelum dan sesudah kipas menyala, dan suhu setelah air melalui simulasi *water jacket*. Proses ini dilakukan pada setiap cairan yang diujikan, yaitu air mineral, air demineralisasi, dan air *coolant*, seperti pada gambar berikut.



Gambar 18 Pengambilan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pengukuran Suhu Maksimum

Hasil penelitian ini mengamati kinerja cairan pendingin yang digunakan pada simulator sistem pendingin *engine*, yaitu *Radiator coolant*, air mineral, dan air demineralisasi. Data yang dihasilkan mencakup waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu kerja, perubahan suhu (ΔT), dan kestabilan suhu selama pengujian. Berikut adalah hasil dari penelitian:

Hasil 1 Hasil Penelitian Perbandingan Radiator coolant, Air Mineral, dan Air Demineralisasi

Tabel 3 Hasil Penelitian Perbandingan Radiator coolant, Air Mineral, dan Air Demineralisasi

No.	Parameter	Radiator coolant	Air Mineral	Air Demineralisasi (Air Suling)
1.	Waktu mencapai suhu kerja	26 menit	23 menit	29 menit
2.	Suhu maksimal	70.5°C	70.62°C	70.5°C
3.	Perbedaan Suhu Masuk-Keluar (ΔT) pada 10 menit	1.3°C	1.6°C	1.3°C
4.	Perbedaan Suhu Masuk-Keluar (ΔT) pada 20 menit	2.2°C	2.3°C	1.1°C
5.	Perbedaan Suhu Masuk-Keluar (ΔT) pada 30 menit	2.3°C	2.2°C	2.1°C
6.	Perbedaan Suhu T3-T2 (Suhu inlet - suhu outlet radiator)	Stabil	Naik cepat lalu turun	Peningkatan lambat

Perbedaan Suhu Masuk Radiator dan Suhu Keluar Radiator

Dari ketiga cairan yang diujikan, ketiganya memiliki perbedaan suhu (ΔT) pada saat masuk ke dalam radiator (T3) dan suhu yang keluar dari radiator (T4) yang berbeda-beda, seperti pada tabel berikut ini:

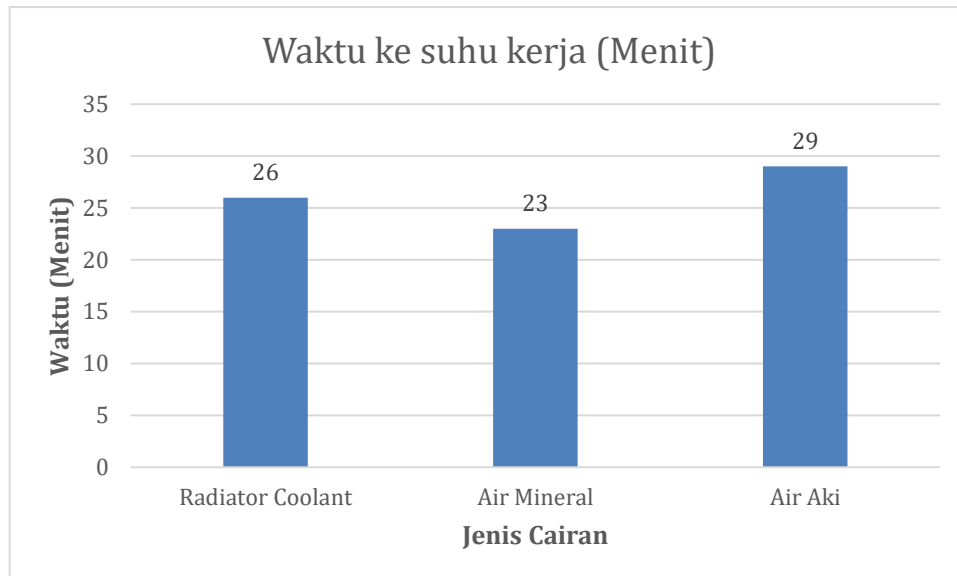
Hasil 2 Hasil Penelitian Perbandingan Radiator coolant, Air Mineral, dan Air Demineralisasi

No.	Waktu (Menit)	ΔT Radiator coolant	ΔT Air Mineral	ΔT Air Demineralisasi (Air Suling)
1.	10	1,8	1,8	1,6
2.	20	2,5	2,7	2,3
3.	30	2,4	2,4	1,8

Analisis Data

Waktu Suhu Kerja

Dari data di atas menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan setiap jenis cairan pendingin untuk mencapai suhu kerja. *Radiator coolant* membutuhkan waktu lebih lama (26 menit) dibandingkan Air aqua (23 menit), sementara Air Aki memerlukan waktu terlama (29 menit), hal ini ditunjukkan pada grafik berikut.



Gambar 19 Grafik Perbandingan waktu ke suhu kerja

Dari hasil pengujian, waktu yang dibutuhkan setiap cairan untuk mencapai suhu kerja memiliki perbedaan signifikan.

Radiator coolant menunjukkan performa stabil dalam mencapai suhu kerja. Hal ini disebabkan oleh kandungan *ethylene glycol* dalam *Radiator coolant* yang memiliki kapasitas panas jenis yang rendah.

Air mineral membutuhkan waktu lebih cepat, yang menunjukkan kemampuan konduksi panas yang baik. Hal ini disebabkan oleh tingginya kapasitas panas jenis yang tinggi sehingga panas dapat diserap dengan cepat.

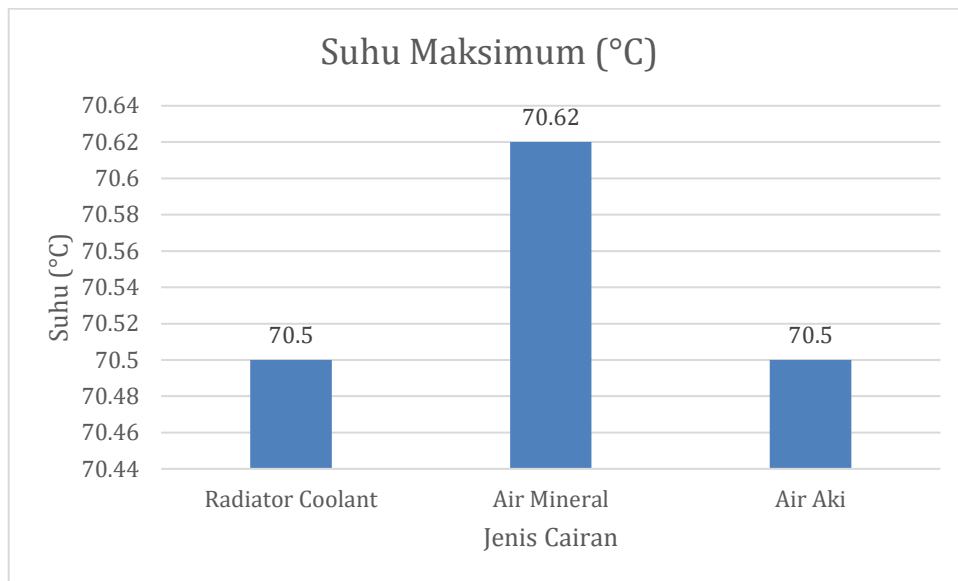
Air demineralisasi membutuhkan waktu lebih lama, hal ini menunjukkan bahwa air aki memiliki kemampuan pelepasan panas yang lebih lambat dibandingkan yang lain, namun dapat memberikan kestabilan yang lebih baik selama proses pendinginan. Hal ini disebabkan oleh sifat air demineralisasi mendekati air murni, tetapi tanpa mineral. Kapasitas panas jenis yang hampir sama dengan air murni.

Dengan demikian, air mineral memiliki kecepatan transfer panas yang lebih tinggi, *Radiator coolant* membutuhkan waktu sedang untuk mencapai suhu kerja, sementara air demineralisasi cenderung lebih lambat.

Suhu Maksimum

Dari data di atas juga menunjukkan bahwa suhu maksimal yang dicapai oleh masing-

masing cairan. Air aqua mencapai suhu tertinggi ($70,62^{\circ}\text{C}$), sementara *Radiator coolant* dan Air Aki mencapai suhu yang hampir sama ($70,5^{\circ}\text{C}$), hal ini ditunjukkan pada grafik berikut.



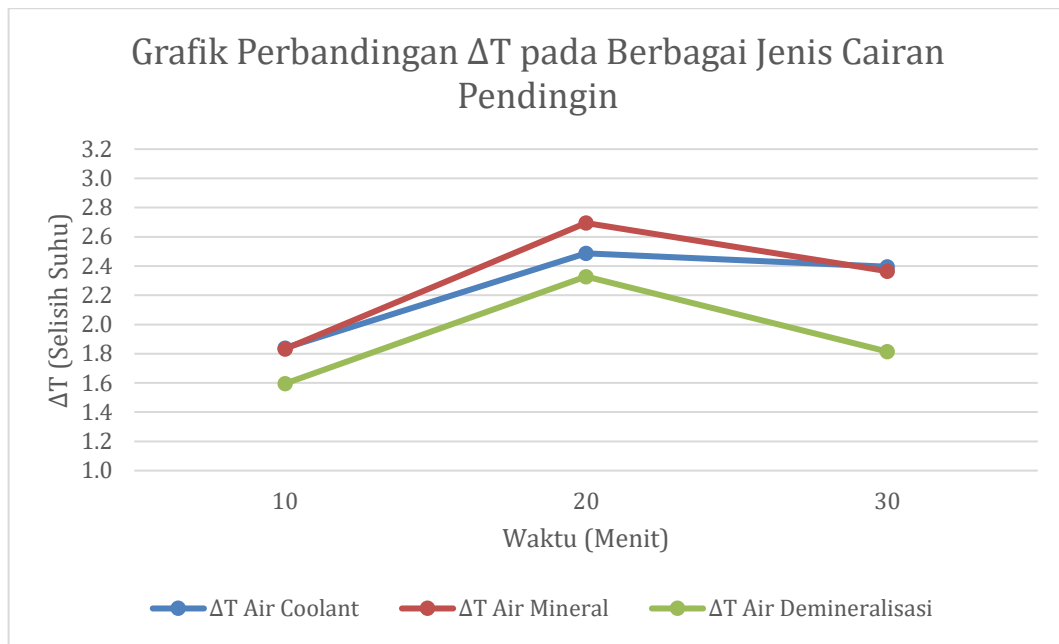
Gambar 20 Grafik Perbandingan suhu maksimum yang dicapai

Radiator coolant dan air demineralisasi mencapai suhu yang sama. *Radiator coolant* memiliki sifat kimia yang dirancang untuk stabilitas. Komposisinya mencegah kenaikan suhu berlebih, bahkan saat *engine* bekerja keras. Sedangkan air demineralisasi mirip dengan air mineral, tetapi karena tidak ada kandungan mineral atau ion yang dapat memperngaruhi sifat termal, air demineralisasi memiliki kestabilan suhu yang baik dan dapat mengurangi resiko karat.

Air mineral menyerap panas lebih cepat, sehingga suhu cairan lebih cepat naik hingga mencapai suhu maksimum. Air mineral tidak memiliki aditif yang membantu menjaga kestabilan suhu. Perbedaan ini cenderung tidak signifikan dan menunjukkan bahwa ketiga cairan memiliki kemampuan pelepasan panas yang hampir sama pada batas suhu tertinggi. Namun, air mineral yang lebih cepat mencapai suhu kerja dapat berkontribusi pada laju kenaikan suhu yang sedikit lebih tinggi.

Perbedaan Suhu Masuk dan Suhu Keluar Radiator (ΔT)

Dalam penelitian ini didapat data perbedaan suhu air yang masuk dan suhu air yang keluar dari radiator dalam kurun waktu tertentu. Data tersebut digambarkan dalam bentuk grafik dibawah ini.

Gambar 21 Grafik perbandingan ΔT

Berdasarkan data yang diperoleh ditunjukkan bahwa pada waktu 10 menit, air aqua memiliki perbedaan suhu yang terbesar yaitu 1,6. Air deionisasi dan air *coolant* memiliki perbedaan suhu sebesar 1,3. Ini menunjukkan air mineral lebih efektif mentransfer panas pada awal proses dibandingkan dengan cairan lainnya.

Pada waktu 20 menit, air aqua memiliki suhu sebesar 2,3, air *coolant* dan air aki memiliki perubahan yang lebih rendah dari air mineral, yaitu 2,2 dan 1,1. Hal ini menunjukkan air demineralisasi memiliki performa yang lebih rendah dalam periode ini karena transfer panasnya paling sedikit.

Pada waktu 30 menit, air *coolant* memiliki perubahan suhu lebih tinggi dari cairan lainnya, yaitu 2,3, sedangkan air mineral sebesar 2,2 dan air demineralisasi 2,1. Dalam tahap ini, air *coolant* lebih unggul dalam menunjukkan kemampuan untuk mempertahankan suhu transfer panas secara efektif.

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, setiap jenis cairan memiliki kecepatan berbeda dalam mencapai suhu kerja. Air mineral menunjukkan waktu pencapaian suhu kerja yang lebih singkat dibandingkan *Radiator coolant* dan air demineralisasi. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik termal air mineral memungkinkan perpindahan panas yang lebih cepat. Namun, perbedaan ini juga dapat mengindikasikan bahwa *Radiator coolant* memiliki sifat termal yang lebih stabil dalam menjaga temperatur kerja mesin dalam jangka waktu yang lebih lama (Halderman, 2012).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga jenis cairan memiliki suhu maksimal yang

hampir sama. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis cairan pendingin tidak terlalu mempengaruhi pencapaian suhu tertinggi pada sistem pendinginan *engine*. Akan tetapi, efektivitas cairan lebih berperan dalam menjaga kestabilan suhu dan mengoptimalkan pelepasan panas ke lingkungan. Menurut (Hariyanto & Imam, 2022), formulasi khusus pada *Radiator coolant* bertujuan untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan melindungi komponen sistem pendingin dari korosi.

Perbedaan suhu antara cairan masuk dan keluar pada berbagai interval waktu menunjukkan efektivitas cairan dalam melepaskan panas. Pada tahap awal, air mineral menunjukkan kinerja perpindahan panas yang lebih baik, tetapi kestabilannya menurun seiring waktu. *Radiator coolant*, di sisi lain, cenderung mempertahankan efektivitas perpindahan panasnya secara konsisten. Sementara itu, air demineralisasi menunjukkan kecenderungan perpindahan panas yang lebih lambat dibandingkan kedua cairan lainnya. Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa komposisi kimia pada *Radiator coolant* dirancang untuk mempertahankan efisiensi perpindahan panas dalam berbagai kondisi operasi (Wiharno & Agus, 2019).

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa *Radiator coolant* lebih unggul dalam menjaga kestabilan suhu dibandingkan kedua cairan lainnya. Air mineral mengalami fluktuasi suhu yang lebih signifikan, sementara air demineralisasi menunjukkan peningkatan suhu yang lebih lambat. Temuan ini mengindikasikan bahwa *Radiator coolant* lebih efektif dalam mempertahankan keseimbangan termal sistem pendinginan *engine*, yang sangat penting dalam menjaga efisiensi kerja *engine* dan mencegah overheating (Halderman, 2012).

Berdasarkan hasil ini, *Radiator coolant* merupakan pilihan yang lebih direkomendasikan untuk sistem pendinginan *engine* karena kestabilannya dalam mempertahankan perpindahan panas dalam jangka panjang. Air mineral dapat digunakan sebagai alternatif dalam kondisi tertentu, tetapi perlu mempertimbangkan ketidakstabilan suhu yang terjadi. Air demineralisasi, meskipun dapat digunakan sebagai media pendingin, menunjukkan efisiensi perpindahan panas yang lebih rendah dibandingkan dua cairan lainnya.

Hasil penelitian ini mendukung temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa *Radiator coolant* tidak hanya berperan dalam pendinginan tetapi juga perlindungan komponen radiator dari korosi dan pembentukan deposit yang dapat menghambat kinerja sistem (Santosa et al., 2024). Oleh karena itu, dalam praktik perawatan dan perbaikan sistem pendingin *engine* di bidang vokasi, pemilihan cairan pendingin harus mempertimbangkan tidak hanya kecepatan pendinginan tetapi juga kestabilan dan daya tahanya terhadap perubahan suhu dalam jangka panjang.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun simulator sistem pendingin *engine* kendaraan ringan yang berfungsi sebagai media pembelajaran dan alat eksperimen untuk menganalisis efektivitas tiga jenis cairan pendingin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan waktu pencapaian suhu kerja pada masing-masing cairan. *Radiator coolant* membutuhkan waktu paling lama untuk mencapai suhu kerja, yaitu 26 menit, sementara air mineral hanya memerlukan 23 menit, dan air demineralisasi mencapai suhu kerja dalam 29 menit. Dari segi efisiensi pelepasan panas (ΔT), air mineral menunjukkan performa tertinggi, terutama pada awal proses pendinginan. Hal ini disebabkan oleh nilai kalor jenis air aqua yang relatif besar, sehingga mampu menyerap dan melepaskan panas lebih cepat dibandingkan cairan lainnya. *Radiator coolant* menunjukkan laju perpindahan panas yang lebih rendah namun konsisten, sedangkan air demineralisasi memiliki nilai ΔT paling rendah.

Efektivitas masing-masing cairan pendingin juga menunjukkan karakteristik yang berbeda. *Radiator coolant* memiliki kestabilan suhu tinggi dan memberikan perlindungan terhadap overheating serta risiko korosi, sehingga lebih ideal untuk penggunaan jangka panjang. Air mineral unggul dalam hal kemampuan transfer panas yang cepat, tetapi cenderung kurang stabil dan lebih rentan terhadap kerusakan sistem dalam jangka panjang. Air demineralisasi berada di posisi tengah, dengan efisiensi pendinginan yang paling rendah tetapi memiliki kestabilan suhu yang cukup baik dan dapat menjadi alternatif ekonomis untuk *Radiator coolant* dalam konteks sistem terbuka seperti simulator ini. Secara keseluruhan, simulator yang dikembangkan tidak hanya mampu merepresentasikan kerja sistem pendingin secara nyata, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam pembelajaran berbasis praktik dan analisis karakteristik termal cairan pendingin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada para dosen pembimbing dan rekan sejawat atas dukungan, masukan, dan kerja sama yang diberikan, sehingga artikel ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga karya ini bermanfaat dalam memperluas wawasan dan pemahaman mengenai sistem pendinginan engine.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd, M., Zulfadli, T., Yusuf, M., Kamarullah, Mulkan, A., Azmal, S., & Zulfan. (2024). Analisis Perubahan Suhu Pada Sistem Pendingin Radiator Mesin Toyota Corola.

- Mekanikal, Inovasi, Dan Teknologi*, 10(2), 486–493.
- Arismunandar, W. (2005). *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Penerbit ITB.
- Arleiny, D.P.Y, N. A., & Suharto. (2021). Evaluasi Peran Laboratorium Simulator Navigasi Jurusan Nautika Terhadap Kompetensi Taruna Tingkat I. *Jurnal 7 Samudra*, 6(2), 53–60. <https://doi.org/10.54992/7samudra.v6i2.116>
- Elfiano, E., Hastuti, K., Suripto, H., Rahman, J., Subekti, P., & Zinomeza, E. (2024). *PENGARUH WATER COOLANT TERHADAP EFEKTIFITAS RADIATOR PADA MESIN TOYOTA KIJANG SERI 4K*. 15(2), 783–795. <https://doi.org/10.21776/jrm.v15i2.1533>
- Gunawan, F., & Wilarso. (2020). Identifikasi Kerusakan Tutup Radiator Terhadap Suhu Engine Toyota Kijang 5K. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 4(1), 24–30. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i1.3535>
- Halderman, J. D. (2012). *Automotive Technology Fourth Edition (Principles, Diagnosis, and Service)* (V. Anthony (Ed.); 4th ed.). Pearson Education.
- Handayani, S. A., Suwignyo, J., & Fatra, F. (2021). Meningkatkan Kompetensi Pendingin Mesin Melalui Metode Tutor Sebaya Dengan Media Engine Stand. *Journal of Vocational ...*, 3(1), 37–41. <https://e-journal.ivet.ac.id/index.php/joveat/article/view/1648%0Ahttps://e-journal.ivet.ac.id/index.php/joveat/article/download/1648/1187>
- Haris, Effiandi, N., & Asmed. (2022). Perbandingan Penggunaan Cairan Pendingin Radiator Terhadap Temperatur Kerja Mesin Mobil Toyota Avanza 1.5 S M/T. *Jurnal Teknik Mesin*, 15(1), 20–25. <https://doi.org/10.30630/jtm.15.1.787>
- Hariyanto, A., & Imam. (2022). Pengaruh Jenis *Coolant* Standard Dan *Coolant* Prestone Pada Sistem Pendingin Terhadap Temperature Engine Toyota Innova Diesel 2.4 G A/T. *Mekanik*, 15(2). <http://ejurnal.polnes.ac.id/index.php/mekanik/article/view/333%0Ahttps://ejurnal.polnes.ac.id/index.php/mekanik/article/download/333/522>
- Musa, Budiyo, A. F. (2019). Analisa Gangguan Sistem Pendingin Pada Mesin Avanza 1300 CC. *Surya Teknika*, 3, 39–46.
- Muzaqi, M. I., & Sampurno, Y. G. (2022). Implementasi Metode Pembelajaran Tutor Sebaya Guna Meningkatkan Hasil Belajar Siswa SMK NU Hasyim Asyari Tarub. *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomotif*, 4(2), 89–106. <https://doi.org/https://doi.org/10.21831/jpvo.v4i2.51898>
- Santosa, K. Y., Wichaksana, A., Ardiansyah, M. H., & Sulisty, A. B. (2024). Pengaruh

- Variasi Cairan Pendingin (*Coolant*) Terhadap Potensi Overheating Pada Engine Diesel (Studi Kasus Mitsubishi L300). *Berkala Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi*, 2(1), 40–47. <https://doi.org/10.19184/berkalafstpt.v2i1.889>
- Subeki, K., Sugiarto, T., Maksum, H., Dani Saputra, H., & Wagino. (2024). Pengembangan Simulator Sistem Pengisian IC Regulator sebagai Media Pembelajaran Siswa SMK. *MSI Transaction on Education*, 5(1), 1–12. <https://doi.org/10.46574/mted.v5i1.132>
- Wiharno, O., & Agus, M. (2019). Analisis Sistem Pendingin Engine Pada Pembuatan Life Engine Stand Nissan Sunny Ga15. *Torsi*, 1(1), 1–7.
- Yunus A. Cengel, A. J. G. (2015). *Heat and Mass Transfer Fifth Edition Fundamental & Application*. McGraw-Hill Education.