

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Pendahuluan

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kinerja *coolant* berbasis Etilenglikol dan air biasa sebagai cairan pendingin pada mesin mobil Suzuki Carry 1.5L dengan mengukur perbedaan temperatur radiator dan tingkat keasaman (pH) setelah 12 jam operasi kontinu pada masing masing putaran mesin yang bervariasi (1000, 1500, dan 2000 RPM) dalam kondisi idle. Hasil menunjukkan bahwa *coolant* menghasilkan perbedaan temperatur radiator yang lebih rendah (ΔT rata-rata $8.2 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$) dibandingkan air biasa (ΔT rata-rata $11.5 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$), menunjukkan efisiensi pendinginan yang lebih baik. Selain itu, pH *coolant* tetap stabil (dari 7.8 ke 8.1) dibandingkan air biasa yang menjadi lebih asam (menurun dari 7.6 ke 6.2), mengindikasikan perlindungan korosi yang lebih unggul. Temuan ini menegaskan bahwa *coolant* lebih efektif dalam menjaga performa dan keawetan sistem pendingin pada kendaraan niaga seperti Suzuki Carry di berbagai putaran mesin. Namun, air biasa tetap menjadi alternatif yang ekonomis. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi pengaruh jangka panjang serta variasi kualitas air yang digunakan dalam sistem pendingin. (Saputra *et al.*, 2025)

Pada tahun 2020, dilakukan penelitian mengenai efektivitas alat penukar panas tipe *shell and tube* 1-1 dengan sistem fluida gliserin–metanol yang menggunakan aliran *counter current*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja bahan pendingin (*coolant*) dapat berbeda secara signifikan berdasarkan komposisi dan jenis bahan yang digunakan. Adapun hasil penelitian mengenai efektivitas pendingin adalah sebagai berikut: campuran gliserin–air dengan konsentrasi 30% memiliki nilai NTU sebesar 6,4144 dan nilai efektivitas sebesar 0,9915; campuran propylene glycol–ethanol dengan perbandingan 2:1 memiliki nilai NTU sebesar 2,6263 dan nilai

efektivitas sebesar 0,9909; sedangkan campuran air–etilen glikol dengan konsentrasi 30% memiliki nilai efektivitas sebesar 0,8151. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa campuran gliserin–air dengan konsentrasi 30% menunjukkan kinerja terbaik dengan nilai efektivitas tertinggi, yaitu sebesar 0,9915, dibandingkan dengan campuran propylene glycol–ethanol dan air–etilen glikol. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan campuran gliserin–air sebagai *coolant* lebih efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem pendinginan.(Shanahan *et al.*, 2020)

Tabel 2. 1 Data Efektif Penyerapan Panas

Bahan	Konsentrasi	NTU	Efektivitas
Blending gliserin - air	10% gliserin (volume)	35,946	0,9734
	20% gliserin (volume)	39,856	0,9708
	30% gliserin (volume)	64,144	0,9915
	40% gliserin (volume)	47,686	0,9591
	50% gliserin (volume)	50,175	0,9515
Blending propylene Glycol – ethano	1 : 2 (mol)	14,324	0,9772
	1 : 1 (mol)	19,757	0,9846
	2 : 2 (mol)	26,263	0,9909
Air - etylene glycol	0% ethylene glycol (volume)	-	0,8090
	15% ethylene glycol (volume)	-	0,8104

	30% ethylene glycol (volume)	-	0,8151
--	------------------------------	---	--------

Sumber : (Shanahan *et al.*, 2020)

Penelitian mengenai perpindahan panas pada radiator mobil menggunakan cairan pendingin nanofluida dilakukan melalui analisis numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS Fluent versi 19. Hasil simulasi CFD kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran pengujian perpindahan panas radiator menggunakan nanofluida yang telah dilaksanakan sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan temperatur masuk cairan pendingin, konsentrasi massa campuran partikel nano, serta laju aliran cairan pendingin. *Hybrid nanoparticle* yang digunakan adalah $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ (aluminium oksida dan titanium dioksida) dengan cairan dasar *ethylene glycol* dan variasi konsentrasi massa sebesar 0,25%, 0,30%, dan 0,35%. Variasi laju aliran cairan pendingin yang digunakan adalah 20 LPM, 22 LPM, 24 LPM, 26 LPM, dan 28 LPM. Sementara itu, temperatur cairan pendingin divariasikan pada 70°C, 80°C, dan 90°C. (Al, Radiator and Hidayat, 2024)

Penelitian mengenai analisis laju perpindahan panas pada cairan pendingin radiator dengan menggunakan campuran air dan *ethylene glycol* bertujuan untuk mengetahui kinerja laju perpindahan panas pada *coolant* radiator. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh data temperatur mesin menggunakan cairan pendingin campuran air dan *ethylene glycol* serta cairan pendingin tanpa campuran pada waktu pengujian 5 menit, 10 menit, dan 20 menit. Pada penggunaan

campuran air dan *ethylene glycol*, temperatur mesin yang diperoleh pada menit ke-5 adalah 56°C, pada menit ke-10 sebesar 77°C, dan pada menit ke-20 mencapai 125°C. Sementara itu, pada penggunaan cairan pendingin tanpa campuran, temperatur mesin pada menit ke-5 sebesar 43°C, pada menit ke-10 sebesar 63°C, dan pada menit ke-20 mencapai 98°C. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, terlihat bahwa cairan pendingin radiator dengan campuran air dan *ethylene glycol* memiliki kemampuan perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan cairan pendingin tanpa campuran. Setelah 20 menit pengujian, temperatur mesin mencapai 125°C pada penggunaan campuran air dan *ethylene glycol*, sedangkan pada cairan pendingin tanpa campuran hanya mencapai 98°C. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa cairan pendingin dengan campuran air dan *ethylene glycol* memiliki rata-rata laju perpindahan panas yang lebih tinggi, yaitu sebesar 5,80°C per menit setelah 20 menit pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa campuran air dan *ethylene glycol* lebih efektif dalam meningkatkan perpindahan panas dan menjaga temperatur kerja mesin tetap stabil. (Randy Rastasyah et al., 2024)

Berdasarkan hasil penelitian, peneliti dapat mendeskripsikan karakteristik suhu kerja mesin pada berbagai jenis *coolant* yang digunakan. Suhu radiator terendah diperoleh pada penggunaan *coolant* dengan kandungan etilen glikol dan air sebesar 50:50, yaitu sebesar 70°C. Selain itu, penambahan *extra fan* (kipas tambahan) pada setiap variasi *coolant* menyebabkan terjadinya penurunan suhu. Suhu radiator terendah setelah penambahan *extra fan* diperoleh pada

campuran etilen glikol dan air sebesar 40:60, yaitu sebesar 60,7°C. Sementara itu, suhu blok mesin terendah tanpa penggunaan kipas diperoleh pada campuran etilen glikol dan air sebesar 50:50, yaitu sebesar 57,6°C. Adapun suhu blok mesin terendah saat kipas dioperasikan juga diperoleh pada campuran 50:50, yaitu sebesar 53,3°C. (Adianus, Misbachudin, 2025)

Perkembangan nanoteknologi telah banyak dimanfaatkan untuk meningkatkan kinerja sistem pendingin radiator kendaraan. Eksperimen nanofluida yang terdiri atas campuran air dan $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ dibandingkan dengan hasil penelitian lain pada mesin kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh laju aliran fluida terhadap efektivitas kinerja radiator dengan menggunakan nanofluida yang terdiri dari campuran air dan nano silika $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$. Penelitian diawali dengan pengujian morfologi partikel silika menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui struktur mikronya. Selanjutnya, nanopartikel silika $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ sebanyak 0,5 gram dicampurkan dengan air, kemudian diproses menggunakan *magnetic stirrer* selama 8 jam dan diendapkan selama 24 jam. Setelah terpisah dari endapan, nanofluida tersebut diuji kinerjanya menggunakan rangkaian alat uji yang terdiri atas radiator, *flowmeter*, pompa air, instalasi pipa, *heater*, dan tangki reservoir. Pengambilan data dilakukan pada temperatur masuk dan keluar fluida untuk mengetahui penurunan temperatur. Variasi laju aliran fluida yang digunakan adalah 1,8 LPM, 3 LPM, dan 6 LPM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan temperatur terbaik antara media air murni dan media dengan penambahan nanopartikel $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ diperoleh pada media dengan penambahan nanopartikel $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$, dengan rata-rata penurunan temperatur sebesar 0,292°C. Sementara itu, pada media air murni diperoleh rata-rata penurunan temperatur sebesar 0,208°C. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat

disimpulkan bahwa penambahan nanopartikel $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ mampu meningkatkan kemampuan pembuangan panas ke lingkungan dibandingkan dengan penggunaan air murni. (Sorono, 2024)

2.2 Water Coolant

Radiator coolant merupakan cairan khusus yang digunakan pada sistem pendingin kendaraan untuk mengendalikan suhu mesin, mencegah terjadinya panas berlebih (*overheating*), serta melindungi mesin dari kerusakan. Berbeda dengan air biasa, *coolant* memiliki titik didih yang lebih tinggi sehingga lebih efektif dalam menjaga kestabilan temperatur kerja mesin.

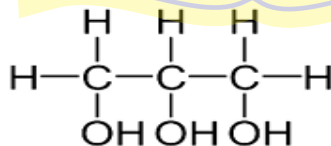
Coolant adalah cairan yang digunakan dalam radiator untuk menyerap panas yang dihasilkan oleh mesin. Selain itu, sistem pendingin mesin harus memiliki kemampuan untuk mendistribusikan panas secara efisien dan cepat ke seluruh bagian mesin, sehingga temperatur mesin dapat terjaga secara merata dan berada pada kondisi operasi yang optimal. (E. Elfiano et al., 2024)

2.3. Gliserin

Gliserin merupakan senyawa yang tidak berbau dan larut dalam air, etanol, serta pelarut polar lainnya, tetapi tidak larut dalam pelarut nonpolar, seperti benzena. Gliserin memiliki titik leleh sebesar 18°C , titik didih sebesar 290°C (mengalami dekomposisi sebelum mendidih), serta densitas sebesar $1,261\text{ g/cm}^3$ pada temperatur 20°C . Ditinjau dari gugus fungsinya, gliserin memiliki tiga gugus hidroksil (OH) sehingga bersifat hidrofilik. Gliserin dapat mengalami beberapa reaksi kimia, di antaranya reaksi esterifikasi, oksidasi, dan dehidrasi. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi antara gliserin dan asam lemak yang menghasilkan lemak atau minyak (trigliserida). Selain itu, gliserin juga dapat mengalami reaksi oksidasi yang menghasilkan gliseraldehid atau asam gliserat. Selanjutnya, pada reaksi dehidrasi, gliserin dapat menghasilkan akrolein, yaitu senyawa yang memiliki bau menyengat. (Sorono, 2024)

Gliserin dengan rumus kimia $C_3H_8O_3$, yang juga dikenal sebagai gliserol, merupakan senyawa kimia dari golongan alkohol, khususnya alkohol trihidrat (poliol), karena memiliki tiga gugus hidroksil (-OH). Senyawa ini tersusun atas tiga atom karbon, delapan atom hidrogen, dan tiga atom oksigen. Gliserin berbentuk cairan kental, tidak berwarna, memiliki rasa manis, mudah larut dalam air, serta bersifat higroskopis, yaitu mampu menyerap uap air dari lingkungan. Berdasarkan sifat-sifat tersebut, gliserin banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, antara lain sebagai bahan pelembap pada produk kosmetik, bahan campuran dalam sediaan farmasi, bahan tambahan pangan, serta sebagai bahan campuran pada cairan pendingin (*coolant*) radiator. (Sorono, 2024)

Dalam pengertian mesin, gliserin ($C_3H_8O_3$) merupakan cairan kental yang digunakan sebagai bahan tambahan (aditif) pada sistem pendingin, seperti radiator *coolant*. Gliserin berfungsi untuk membantu meningkatkan kemampuan pendinginan, menjaga kestabilan suhu mesin, serta mengurangi penguapan cairan pendingin. Selain itu, sifatnya yang higroskopis dan memiliki titik didih cukup tinggi membuat gliserin dapat membantu mencegah mesin mengalami *overheating* dan menjaga kinerja sistem pendingin tetap optimal. (Sorono, 2024)



Gambar 2. 1 Struktur Gliserin

Sumber : micoope.com

Tabel 2. 2 Komposisi Gliserol

Parameter	Kadar
Gliserin	95,5% - 99%
Air	1% - 4,5%

Sumber : (Randy Rastasyah et al., 2024)

Tabel 2. 3 Spesifikasi Gliserol

Karakter	Nilai
Rumus Kimia	$C_3H_8O_3$
Kenampakan	Cairan
Berat Molekul	92,1 g/mol
Titik leleh	18 °C
Titik didih	290 °C
Spesifikasi gravity	1250 kg/m ³
Flash point	160 °C
Titik auto-ignition	370 °C
Viskositas	954(25°C)

Sumber : (Randy Rastasyah et al., 2024)

Tabel 2. 4 Tekanan Uap Gliserol

mmHg	°C
1	123.5
5	153.8
10	167.2
20	182.2
40	198.0
60	208.0
100	229.1
200	240.0
400	263.0
760	290.0

Sumber : (Randy Rastasyah et al., 2024)

Tabel 2. 5 Viskositas Gloserol

°C	Centipoise
80	32.18
90	21.2
100	14.60
110	10.48
120	7.797
130	5.986
140	4.726
150	3.823
158	3.282
167	2.806

sumber : (Randy Rastasyah et al., 2024)

Viskositas Gliserol merupakan ukuran tingkat kekentalan suatu zat cair yang menunjukkan seberapa besar hambatan zat tersebut untuk mengalir. Gliserin dikenal memiliki viskositas yang sangat tinggi dibandingkan dengan cairan lain seperti air. Pada suhu sekitar 20–25°C, viskositas gliserin berkisar antara 1.200 hingga 1.500 mPa·s, sehingga alirannya cenderung lambat dan terasa kental. Tingginya viskositas ini disebabkan oleh adanya tiga gugus hidroksil (–OH) dalam struktur molekul gliserin yang memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen kuat antar molekul. Ikatan ini membuat molekul-molekul saling tarik-menarik dengan kuat, sehingga sulit bergerak bebas. Akibatnya, gliserin tidak mudah mengalir dan sering dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti bahan pelembap, farmasi, serta cairan pendingin karena sifatnya yang stabil dan kental.(Sorono, 2024)

2.4. MESIN 3SZ-VE

Tabel 2. 6 Spesifikasi Mesin 3SZ-VE

Sumber : (Astra Motor, 2024)

Spesifikasi	K3-DE 1.3L	2NR-VE / 3SZ-VE 1.5L
-------------	------------	----------------------

Tipe Mesin	4 silinder segaris DOHC	4 silinder DOHC
Kapasitas Mesin	1.298 cc	1.495 – 1.496 cc
Jumlah Silinder	4 silinder	4 silinder
Katup per Silinder	4 katup	4 katup
Sistem Bahan Bakar	EFI (Electronic Fuel Injection)	EFI / Dual VVT-i
Tenaga Maksimum	± 87–88 PS / 6.000 rpm	± 96–97 PS / 6.000 rpm
Torsi Maksimum	± 115 Nm / 4.400 rpm	± 134 Nm / 4.400 rpm
Rasio Kompresi	± 10 : 1	± 10 : 1
Konfigurasi Mesin	In-line 4 cylinder	In-line 4 cylinder
Bore x Stroke	72 x 79,7 mm	± 72,5 x 90,6 mm
Sistem Pendingin	Pendingin air (radiator)	Pendingin air
Bahan Bakar	Bensin	Bensin

Mesin 3SZ-VE menggunakan konfigurasi 4 silinder segaris dengan teknologi DOHC dan sistem injeksi bahan bakar EFI. Varian 1.3L menghasilkan tenaga sekitar 87–88 PS dengan torsi 115 Nm, sedangkan varian 1.5L lebih bertenaga dengan tenaga hingga 97 PS dan torsi 134 Nm. Rasio kompresi sekitar 10:1 membuat mesin ini cukup efisien dan cocok untuk kebutuhan niaga maupun transportasi ringan. (Astra Motor, 2024)

Secara sederhana, mesin empat langkah (4-tak) merupakan jenis mesin pembakaran dalam yang menghasilkan tenaga melalui empat langkah gerak piston dalam satu siklus

kerja. Keempat langkah tersebut menyebabkan mesin ini dikenal sebagai *four-stroke engine* atau mesin empat langkah. Pada mesin kendaraan, proses tersebut berlangsung secara cepat dan berulang selama mesin beroperasi. Tujuan utama dari proses tersebut adalah mengubah energi hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan. Menurut (Hariyanto, 2021) Berikut adalah sifat ideal yang dipergunakan serta keterangan mengenai proses siklusnya:

1. Langkah Hisap

Pada tahap ini, mesin mulai mengisap campuran udara dan bahan bakar yang akan digunakan dalam proses pembakaran. Proses tersebut terjadi ketika piston bergerak turun dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB). Saat piston bergerak ke bawah, volume ruang di dalam silinder bertambah besar sehingga tekanan di dalam silinder menurun. Kondisi ini menyebabkan campuran udara dan bahan bakar masuk ke ruang bakar. Pada saat yang sama, katup masuk (*intake valve*) terbuka, sedangkan katup buang (*exhaust valve*) tertutup. Pada mesin modern yang menggunakan sistem injeksi, perbandingan campuran udara dan bahan bakar diatur oleh sistem *Electronic Fuel Injection* (EFI) agar jumlahnya tetap optimal dan proses pembakaran berlangsung secara efisien.

2. Langkah Kompresi

Setelah ruang bakar terisi oleh campuran udara dan bahan bakar, mesin memasuki tahap berikutnya, yaitu langkah kompresi. Pada tahap ini, piston bergerak naik dari Titik Mati Bawah (TMB) menuju Titik Mati Atas (TMA). Pada fase kompresi, katup masuk (*intake valve*) dan katup buang (*exhaust valve*) berada dalam kondisi tertutup. Karena kedua katup

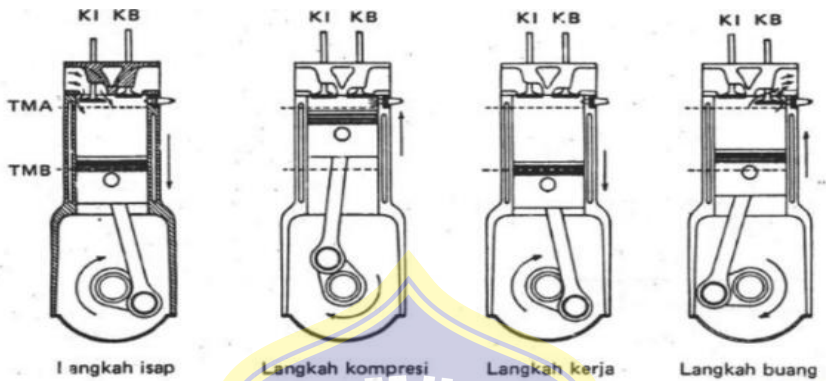
tertutup, campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder terperangkap dan mengalami proses pemampatan oleh piston.

3. Langkah usaha

Tahap ini merupakan langkah yang menghasilkan tenaga pada mesin. Pada akhir langkah kompresi, piston berada pada posisi Titik Mati Atas (TMA) dan campuran udara serta bahan bakar berada dalam kondisi bertekanan tinggi. Pada saat tersebut, busi menghasilkan percikan api ke dalam ruang bakar yang memicu proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar. Proses pembakaran tersebut menghasilkan tekanan gas yang sangat tinggi sehingga mendorong piston bergerak turun dengan cepat menuju Titik Mati Bawah (TMB). Dorongan piston tersebut menjadi sumber tenaga pada mesin. Energi yang dihasilkan dari proses pembakaran kemudian diubah menjadi gerak putar melalui poros engkol (*crankshaft*).

4. Langkah buang

Setelah proses pembakaran selesai, ruang bakar dipenuhi oleh gas sisa hasil pembakaran. Gas tersebut tidak dapat digunakan kembali sehingga harus dikeluarkan dari dalam silinder. Pada tahap ini, mesin memasuki langkah terakhir, yaitu langkah buang. Pada langkah buang, piston bergerak naik dari Titik Mati Bawah (TMB) menuju Titik Mati Atas (TMA). Pada saat yang sama, katup buang (*exhaust valve*) terbuka, sedangkan katup masuk (*intake valve*) tertutup. Melalui pergerakan piston tersebut, gas sisa pembakaran terdorong keluar dari silinder. Setelah seluruh gas sisa pembakaran dikeluarkan, siklus kerja mesin kembali memasuki langkah hisap dan proses tersebut berlangsung secara berulang selama mesin beroperasi.



Gambar 2. 2 Siklus Mesin 4 Langkah

Sumber : (Sorono, 2024)

2.4.1. Sistem Pendingin

Sistem pendingin berfungsi untuk menjaga temperatur kerja mesin kendaraan agar tidak melebihi batas yang diizinkan atau mengalami kondisi panas berlebih (*overheating*). Pada penelitian ini, fluida pendingin yang digunakan meliputi air biasa, Velux Radiator Coolant, dan Toyota Long Life Coolant. Pengujian dilakukan pada jarak tempuh antara 10 km hingga 50 km. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, temperatur tertinggi setelah dihitung berdasarkan nilai rata-rata pada setiap putaran mesin terjadi pada penggunaan air biasa. Air biasa memiliki temperatur rata-rata pada sisi masuk radiator (*in radiator*) sebesar $97,3^{\circ}\text{C}$ dan pada sisi keluar radiator (*out radiator*) sebesar $78,9^{\circ}\text{C}$.

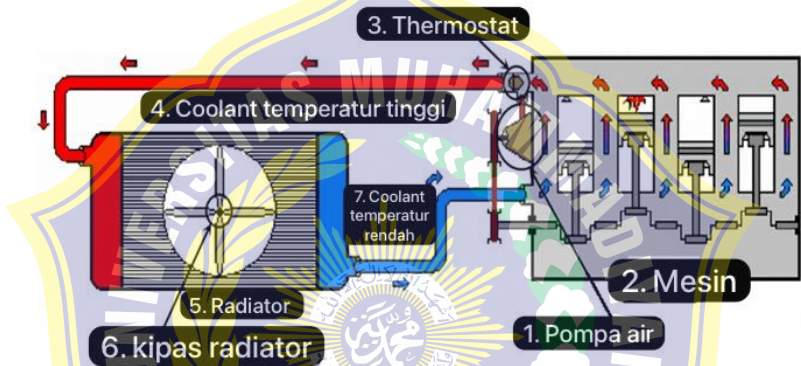
2.4.2. Radiator

Sistem pendingin pada mobil berfungsi untuk mengurangi suhu pada mesin yang terjadi sebagai akibat dari pembakaran dari ruang bakar. Sistem pendingin pada mesin menggunakan perangkat berupa radiator. Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah: Apakah ada pengaruh kecepatan mesin terhadap perpindahan panas dalam sistem pendingin dan seberapa besar pengaruh kecepatan mesin

terhadap perpindahan panas dalam sistem pendingin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan mesin terhadap perpindahan panas pada sistem pendingin Toyota Rush 1500cc. Penelitian ini menggunakan alat penelitian, yaitu mesin Toyota Rush 1500cc dan termogun. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan waktu penelitian dan kecepatan mesin, mengukur suhu udara sebelum dan sesudah mengenai radiator, serta mengukur suhu air pendingin sebelum masuk dan setelah keluar dari radiator. Metode penelitian ini menggunakan teknik analisis data deskriptif. Berdasarkan analisis yang menggunakan grafik hubungan antara perpindahan panas, suhu air pendingin dan perpindahan panas serta efektivitas, bahwa nilai Efektivitas Radiator akan meningkat seiring dengan kecepatan mesin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan mesin terhadap perpindahan panas pada sistem pendingin kendaraan Toyota Rush 1500 cc. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mesin Toyota Rush 1500 cc dan *thermogun*. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan waktu pengujian dan kecepatan mesin, serta mengukur temperatur udara sebelum dan sesudah melewati radiator, serta temperatur cairan pendingin sebelum masuk dan setelah keluar dari radiator. Metode penelitian yang digunakan adalah teknik analisis data deskriptif. Berdasarkan hasil analisis yang disajikan dalam grafik hubungan antara perpindahan panas, temperatur cairan pendingin, dan efektivitas radiator, diperoleh hasil bahwa nilai efektivitas radiator meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan mesin.(Pratama, Anoi and Sobah, 2023).

Sistem pendingin radiator berfungsi menjaga temperatur kerja mesin pada kisaran 80–95°C dengan

menyerap panas dari blok mesin melalui cairan pendingin (*coolant*). *Water pump* mengalirkan *coolant* panas menuju radiator, kemudian panas dilepaskan ke udara melalui *radiator core* dengan bantuan kipas pendingin. Setelah didinginkan, *coolant* kembali ke mesin untuk menyerap panas kembali. Proses ini berlangsung secara terus-menerus sehingga temperatur mesin tetap stabil dan terhindar dari kondisi panas berlebih (*overheating*). (Pratama, Anoi and Sobah, 2023).



Gambar 2. 3 Sikluasi Air Pendingin

Sumber : (<https://www.ebay.com>)

Keterangan gambar di atas:

Berdasarkan Gambar di atas, sistem pendingin bekerja diawali oleh pompa air (1). yang mengalirkan *coolant* bersuhu rendah dari radiator menuju mesin (2). Di dalam mesin, *coolant* menyerap panas hasil pembakaran sehingga temperaturnya meningkat. Selanjutnya *coolant* panas melewati *thermostat* (3). yang berfungsi mengatur aliran coolant menuju radiator. Setelah *thermostat* terbuka, *coolant* dengan temperatur tinggi (4). mengalir ke radiator (5). untuk didinginkan. Proses pendinginan dibantu oleh kipas radiator (6). yang mengalirkan udara melalui sirip-sirip radiator. Setelah panas dilepaskan ke lingkungan, *coolant* menjadi bertemperatur rendah (7). Selanjutnya, cairan pendingin kembali menuju pompa air untuk

disirkulasikan kembali ke dalam mesin. Proses ini berlangsung secara terus-menerus selama mesin beroperasi guna menjaga temperatur kerja mesin tetap optimal.

2.4.3. Kipas Radiator

Radiator merupakan komponen penting pada sistem pendingin mesin yang berfungsi melepaskan panas dari cairan pendingin (*coolant*) yang telah menyerap panas dari mesin. Pada kendaraan, temperatur kerja ideal mesin berkisar antara 85–90°C. Apabila temperatur cairan pendingin melebihi 95°C, kondisi tersebut dapat menyebabkan peningkatan temperatur mesin dan berpotensi menimbulkan *overheating*. (Adianus, Misbachudin, 2025).

Dalam sistem ini, kipas pendingin digerakkan oleh motor listrik yang akan aktif ketika suhu cairan pendingin meningkat. Sensor suhu yang terpasang pada kepala silinder mengirimkan sinyal ke *ECU* sebagai pusat pengendali. Cara kerja *ECU* pada sistem pendingin adalah mengolah sinyal suhu tersebut untuk menentukan kapan kipas harus diaktifkan atau dimatikan. Saat suhu melebihi batas yang ditentukan, *ECU* mengirim perintah ke *relay* motor sehingga motor listrik bekerja dan menggerakkan kipas pendingin. Kipas hanya beroperasi ketika diperlukan, sehingga membantu mengurangi kebisingan yang dihasilkan.

2.4.4. Pompa Air (*Water Pump*)

Pompa air (*water pump*) merupakan komponen utama pada sistem pendingin yang berfungsi mensirkulasikan cairan pendingin (*coolant*) secara terus-menerus dari radiator menuju blok mesin dan kembali lagi ke radiator. Umumnya, pompa air yang digunakan adalah tipe sentrifugal yang digerakkan oleh sabuk (*fan belt* atau *timing belt*). Kinerja pompa air yang baik sangat penting untuk menjaga temperatur kerja mesin tetap optimal dan mencegah terjadinya *overheating*. (Abdul Jalal *et al.*, 2021).

2.4.5. Thermostat

Thermostat berfungsi mengatur temperatur kerja mesin dengan mengendalikan aliran cairan pendingin (*coolant*). Komponen ini akan menutup saat mesin masih dingin dan membuka pada temperatur sekitar 80–90°C sehingga *coolant* dapat mengalir ke radiator untuk didinginkan. Dengan demikian, *thermostat* menjaga temperatur mesin tetap optimal dan mencegah terjadinya *overheating*. (Marjuki and Epriyandi, 2021).

2.4.6. Mantel Pendingin (*Water Jacket*)

Water jacket atau mantel pendingin merupakan saluran pada blok silinder dan kepala silinder yang berfungsi sebagai jalur aliran cairan pendingin (*coolant*). Komponen ini berperan dalam menyerap dan memindahkan panas dari mesin sehingga temperatur kerja tetap optimal serta mencegah terjadinya panas berlebih (*overheating*). (Anand, 2021).

2.4.7. Tabung Cadangan Air Radiator (*Reservoir tank*)

Reservoir radiator atau tangki cadangan radiator merupakan komponen pada sistem pendingin mesin yang berfungsi sebagai tempat penampungan sementara cairan pendingin (*coolant*) akibat perubahan volume karena kenaikan temperatur. Ketika mesin panas, *coolant* yang memuai akan mengalir ke reservoir, sedangkan saat mesin mendingin, cairan tersebut akan kembali ke radiator. Mekanisme ini menjaga volume *coolant* tetap stabil dan mencegah terjadinya *overheating*.

Secara konstruksi, reservoir radiator umumnya terbuat dari bahan plastik transparan dan dilengkapi tanda batas minimum (*LOW*) dan maksimum (*FULL*) untuk memudahkan pemeriksaan volume cairan pendingin. Selain itu, komponen ini juga membantu mengurangi masuknya udara ke dalam sistem pendingin sehingga efisiensi pendinginan dan keandalan sistem dapat dipertahankan. (Marjuki and Epriyandi, 2021)

2.4.8. Selang Radiator

Selang radiator merupakan komponen fleksibel pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai jalur sirkulasi cairan

pendingin (*coolant*) antara mesin dan radiator. Selang radiator terdiri atas selang atas (*upper hose*) dan selang bawah (*lower hose*). Komponen ini berperan dalam mengalirkan *coolant* dari mesin menuju radiator untuk didinginkan, kemudian mengembalikannya ke mesin sehingga temperatur kerja mesin tetap stabil dan terhindar dari kondisi *overheating*. (Sukrawan *et al.*, 2025).

2.5. Perpindahan Panas Pada Radiator

Perpindahan panas pada radiator mobil merupakan proses pelepasan energi panas dari cairan pendingin (*coolant*) ke udara lingkungan untuk menjaga temperatur kerja mesin tetap stabil. Proses ini terjadi melalui tiga mekanisme, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Panas dari mesin diserap oleh *coolant* dan dialirkan ke radiator, kemudian berpindah secara konduksi ke dinding pipa radiator dan dilepaskan ke udara melalui proses konveksi serta sebagian kecil melalui radiasi. Kombinasi ketiga mekanisme tersebut memungkinkan radiator menurunkan temperatur *coolant* sebelum kembali bersirkulasi ke dalam mesin.

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa nanofluida memiliki karakteristik termal yang lebih baik dibandingkan dengan fluida konvensional, seperti air, etilen glikol, dan minyak, sehingga berpotensi digunakan dalam sistem pendingin otomotif. Sifat termal dan hidrodinamik nanofluida menjadikannya kandidat yang baik untuk aplikasi manajemen termal pada kendaraan. Namun, salah satu kendala utama penggunaan nanofluida adalah rendahnya stabilitas suspensi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkan nanofluida hibrida yang mengombinasikan dua jenis nanopartikel sehingga memiliki konduktivitas termal dan stabilitas yang lebih baik. Oleh karena itu, nanofluida hibrida

berpotensi meningkatkan kinerja sistem pendingin otomotif. (Ramadhan *et al.*, 2022).

Secara rumus perhitungan data menurut (Hadi Kusnanto *et al.*, 2025), konveksi dapat dibagi menjadi empat jenis, yaitu: Menghitung laju perpindahan panas didalam radiator ($Q_{internal}$) dengan persamaan berikut:

$$Q = \dot{m} \times C_p \times \Delta T_{LMTD} \quad (2.1)$$

Keterangan:

Q = laju perpindahan panas. (Watt (W) atau kW)

$\dot{m}$ = laju aliran fluida. (kg/s)

C_p = kalor jenis (Specific Heat Capacity) fluid. (J/kg°C) atau (kJ/kg°C)

ΔT = perbedaan suhu fluida. °C atau K

Sedangkan untuk menghitung ΔT_{LMTD} dengan persamaan berikut:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (2.2)$$

Keterangan:

T_1 = Suhu air keluar radiator (°C)

T_2 = Suhu air masuk radiator (°C)

t_1 = Suhu udara sebelum kipas (°C)

t_2 = Suhu udara setelah kipas (°C)

Untuk menghitung laju aliran massa fluida menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \quad (2.3)$$

Keterangan:

$\dot{m}$ = Laju aliran massa fluida (*Mass Flow Rate*). (kg/s)

ρ = Massa jenis atau densitas fluida. (kg/m³)

A = Luas penampang aliran fluida. (m²)

v = Kecepatan aliran fluida. (m/s)

Efektifitas penyerapan panas terhadap mesin, maka metode efektifitas mempunyai beberapa keuntungan untuk menganalisa perbandingan berbagai jenis penukar kalor dalam memilih jenis yang terbaik untuk melaksanakan pemindahan kalor tertentu. Efektifitas penukar kalor (*Heat Exchange Effectiveness*) didefinisikan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{Q_{actual}}{Q_{max}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

ε (efektivitas) = tingkat kinerja heat exchanger

Q_{actual} = panas yang benar-benar terjadi. (Watt (W))

Q_{max} = panas maksimum yang mungkin terjadi. (Watt (W))

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in}) \quad (2.5)$$

Keterangan:

Q_{max} = Laju perpindahan panas maksimum. (w)

C_{min} = Kapasitas panas terkecil dari kedua fluida. (W/°C)

$T_{h,in}$ = Suhu masuk fluida panas. (°C)

$$(T_{h1} - T_{c2}) \quad (2.6)$$

Keterangan:

T_{h1} (T_{h1}) = suhu fluida panas (*hot*) pada titik 1 (masuk)

T_{c2} (T_{c2}) = suhu fluida dingin (*cold*) pada titik 2 (keluar)

Langkah-langkah pengumpulan data dari penelitian ini didapatkan data berupa angka-angka dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik serta penjelasan secara berurutan.

2.6. Teknik Pengambilan Data

Beberapa metode pengumpulan data yang digunakan untuk memperoleh data sesuai dengan tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk menghitung hubungan suhu (T) terhadap waktu (t), tidak ada satu rumus tunggal—tergantung prosesnya. Yang

paling umum dipakai adalah model perpindahan panas, khususnya pendinginan/pemanasan. (Wibowo *et al.*, 2023)
Gunakan model eksponensial:

$$T(t)=T_{\infty}+(T_o - T_{\infty})e^{-kt} \quad (2.7)$$

Keterangan :

$T(t)$ = suhu benda pada waktu t . ($^{\circ}\text{C}/\text{K}$)

T_o = suhu awal benda pada saat $t = 0$. ($^{\circ}\text{C}/\text{K}$)

T_{∞} = suhu lingkungan (suhu akhir yang di capai). ($^{\circ}\text{C}/\text{K}$)

k = konstan (tergantung material dan kondisi)

t = waktu pengamatan. (s, detik atau jam)

- 2) Pengolahan data dilakukan menggunakan metode *Log Mean Temperature Difference* (LMTD). Metode ini didasarkan pada perbedaan temperatur rata-rata antara fluida panas dan fluida dingin yang mengalami proses perpindahan panas di dalam alat penukar panas (*heat exchanger*). (Caroline and Rosid, 2022) menggunakan rumus:

$$W= U \cdot A \cdot \Delta T \quad (2.8)$$

Keterangan:

Q = Kalor yang dilepaskan/diterima (W)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($W/m^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

A = Luas perpindahan panas (m^2)

ΔT_m = Selisih temperatur rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)

- 3) Menghitung laju panas cairan menurut (Adianus, Misbachudin, 2025), untuk mengetahui laju panas *coolant* radiator dapat menggunakan rumus :

$$q = \frac{th_1 - th_2}{t} \quad (2.9)$$

Keterangan : q = Laju aliran panas (J/s)
 th_1 = Suhu awal ($^{\circ}\text{C}$)
 th_2 = Suhu akhir ($^{\circ}\text{C}$) t = Waktu (s)

2.7. Laju Korosifitas

Laju korosi merupakan kecepatan terjadinya korosi pada suatu material terhadap waktu. Pengukuran laju korosi dapat dilakukan dengan metode kehilangan massa (*weight loss method*), yaitu dengan membandingkan massa sampel sebelum dan sesudah pengujian untuk menentukan besarnya kehilangan massa akibat korosi. (Arif, Nafi and Seputro, 2025)

Laju korosi menunjukkan tingkat kerusakan suatu material akibat proses korosi terhadap waktu. Satuan yang umum digunakan untuk menyatakan laju korosi adalah mm/tahun (*mm/year*) dan mil per tahun (*mils per year* atau *mpy*). Secara umum, tingkat ketahanan material terhadap korosi berada pada rentang laju korosi antara 1–200 mpy. (Syaiful, 2022)

Tabel 2. 7 Laju Korosi

Ketahanan Korosi Relatif	Laju Korosi				
	Mpy	mm/y	$\mu\text{m/y}$	nm/hr	pm/s
Sangat baik	<1	<0,02	<25	<2	<1
Baik	1-5	0,020,1	25-100	2-10	1-5
Cukup	5-20	0,1-0,5	100 -500	10-50	20-50
Kurang	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200

Sumber : (Randy Rastasyah et al., 2024)



Gambar 2. 4 Instrumen Uji Polarisasi Potensi dinamik

Sumber: (Randy Rastasyah et al., 2024)

Keterangan:

1. Sel Elektrokimia.
 - Berisi larutan elektrolit atau media korosif.
 - Tempat spesimen uji direndam selama pengujian.
 - Terdapat sistem tiga elektroda yang terdiri dari: Elektroda kerja (*Working Electrode*) yaitu spesimen yang diuji, Elektroda referensi (*Reference Electrode*), dan Elektroda pembantu (*Counter Electrode*).
2. Potensiostat/Galvanostat.
 - Berfungsi memberikan tegangan listrik terkontrol pada spesimen.
 - Mengukur arus yang timbul akibat reaksi korosi.

- Mengatur proses pemindaian potensial selama pengujian polarisasi.
3. Komputer dan Perangkat Lunak.
- Digunakan untuk mengendalikan potensiostat.
 - Merekam data arus dan potensial secara real-time.
 - Menampilkan grafik polarisasi dan melakukan analisis Tafel Plot.

Prosedur Pengujian Polarisasi Potensiodinamik:

Pengujian korosi Aluminium Alloy menggunakan metode polarisasi potensiodinamik diawali dengan persiapan spesimen Aluminium Alloy yang dipotong sesuai ukuran pengujian, kemudian diampas dan dibersihkan untuk menghilangkan kotoran, minyak, serta lapisan oksida pada permukaan. Setelah itu, larutan gliserin ($C_3H_8O_3$) dengan konsentrasi yang telah ditentukan disiapkan sebagai media pengujian dan dimasukkan ke dalam sel elektrokimia. Spesimen Aluminium Alloy dipasang sebagai elektroda kerja (*working electrode*), sedangkan elektroda referensi dan elektroda pembantu dipasang untuk melengkapi sistem tiga elektroda yang digunakan dalam pengujian.

Selanjutnya, seluruh elektroda dihubungkan ke potensiostat/galvanostat yang terhubung dengan komputer. Melalui perangkat lunak yang tersedia pada komputer, parameter pengujian seperti *scan rate*, *scan range*, dan luas permukaan spesimen diatur sesuai kebutuhan penelitian. Setelah pengaturan selesai, potensiostat memberikan perubahan potensial secara bertahap pada spesimen Aluminium Alloy yang terendam dalam larutan gliserin. Selama proses tersebut, arus yang timbul akibat reaksi elektrokimia pada permukaan spesimen akan diukur dan direkam secara otomatis oleh sistem.

Data hasil pengujian berupa hubungan antara potensial dan arus kemudian ditampilkan dalam bentuk kurva polarisasi atau *Tafel Plot*. Kurva tersebut dianalisis untuk memperoleh nilai potensial korosi (E_{corr}) dan arus korosi (I_{corr}), yang selanjutnya digunakan untuk menghitung laju korosi material. Hasil perhitungan laju korosi pada setiap variasi konsentrasi gliserin kemudian dibandingkan untuk mengetahui pengaruh gliserin ($C_3H_8O_3$) terhadap ketahanan korosi Aluminium Alloy. Dari hasil tersebut dapat ditentukan konsentrasi gliserin yang memberikan perlindungan korosi paling baik terhadap Aluminium Alloy pada kondisi pengujian yang dilakukan. : (Randy Rastasyah et al., 2024)

