

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kinerja sistem pendinginan air pada mesin diesel satu silinder merk Yanmar tipe TF85MR-di melalui pendekatan eksperimen dan analisis teoritis berdasarkan data temperatur fluida pendingin.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan analisis teoritis perpindahan panas pada sistem pendinginan mesin diesel satu silinder tipe laboratorium. Metode eksperimen dilakukan dengan melakukan pengukuran temperatur fluida pendingin pada sistem pendinginan mesin secara langsung saat mesin beroperasi.

Data temperatur yang diperoleh dari pengujian eksperimen kemudian dianalisis menggunakan prinsip dasar perpindahan panas untuk mengetahui karakteristik pelepasan panas pada sistem pendinginan air mesin diesel. Selain itu, data hasil eksperimen juga disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah proses analisis dan visualisasi kinerja sistem pendinginan.

Pendekatan penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran mengenai karakteristik perpindahan panas pada sistem pendinginan mesin diesel satu silinder tipe laboratorium.

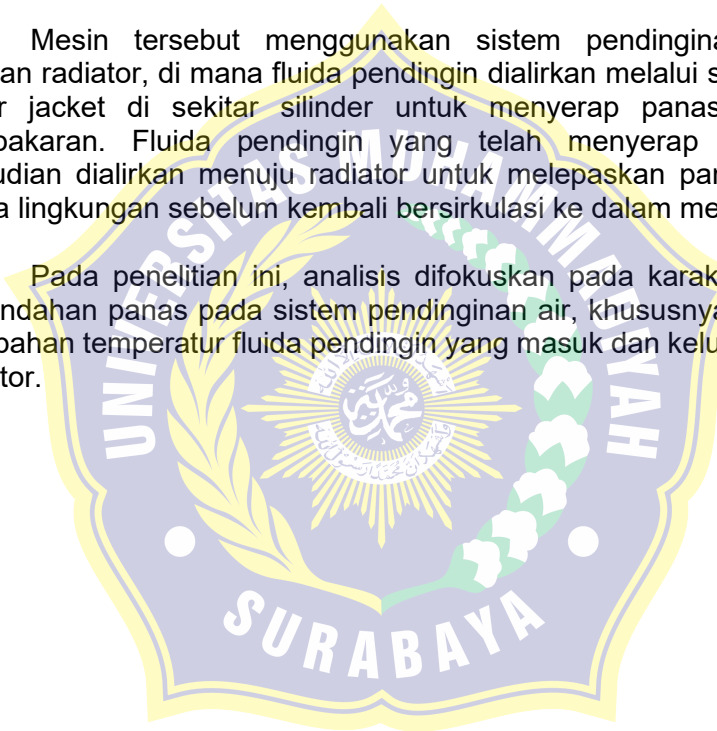
3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan adalah mesin diesel satu silinder merk Yanmar tipe TF85MR yang tersedia di laboratorium Teknik Mesin. Pemilihan mesin diesel Yanmar TF85MR-di sebagai objek penelitian sangat relevan karena spesifikasinya yang mewakili standar mesin penggerak di sektor pertanian dan industri kecil di Indonesia. Sebagai fasilitas resmi di Laboratorium Teknik

Mesin, mesin ini menjamin validitas data karena kondisinya yang terawat dan sesuai dengan standar operasional laboratorium. Penggunaan mesin tipe direct injection ini memungkinkan pengamatan fenomena pembakaran yang lebih akurat, sehingga hasil penelitian tidak hanya memberikan kontribusi teoritis, tetapi juga memiliki nilai aplikatif yang tinggi bagi pengembangan praktikum dan teknologi mesin diesel satu silinder ke depannya.

Mesin tersebut menggunakan sistem pendinginan air dengan radiator, di mana fluida pendingin dialirkan melalui saluran water jacket di sekitar silinder untuk menyerap panas hasil pembakaran. Fluida pendingin yang telah menyerap panas kemudian dialirkan menuju radiator untuk melepaskan panas ke udara lingkungan sebelum kembali bersirkulasi ke dalam mesin.

Pada penelitian ini, analisis difokuskan pada karakteristik perpindahan panas pada sistem pendinginan air, khususnya pada perubahan temperatur fluida pendingin yang masuk dan keluar dari radiator.



Spesifikasi Mesin Diesel Yanmar TF 85 MR :	
Model	Yanmar TF 85 MR
Daya Maksimum	8.5 hp / 2200 rpm
Daya Kontinyu	7.5 hp / 2200 rpm
Engine	Single cylinder, 4-stroke
Kapasitas Tangki	10.5 L
Pemakaian Bahan Bakar	171 gr / hp,jam
Sistem Pendinginan	Radiator
Sistem Penyalan	Manual Engkol
Berat Bersih	91 Kg
Dimensi P x L x T	780 x 480 x 700 mm

Gambar 3.0 Tabel Spesifikasi Yanmar TF85MR
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2026)

Spesifikasi teknis di atas menunjukkan bahwa mesin Yanmar TF85MR memiliki karakteristik daya dan torsi yang stabil pada putaran menengah (1600-2200 rpm), sehingga sangat ideal digunakan sebagai instrumen pengujian performa bahan bakar maupun variasi sistem injeksi di laboratorium.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya, khususnya pada unit mesin diesel satu silinder yang digunakan sebagai media praktikum mahasiswa.

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada semester genap tahun akademik 2025/2026, dimulai dari tahap persiapan alat, pengambilan data eksperimen, hingga proses analisis data penelitian.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian



Gambar 3.1 Fluida Pendingin Radiator Coolant TMO Chemical 50/50
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2026)

3.4.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Mesin diesel satu silinder tipe laboratorium
2. Thermocouple sebagai alat ukur temperature
3. Digital temperature reader / data reader thermocouple
4. Stopwatch untuk mengukur waktu pengambilan data
5. Kamera atau smartphone untuk dokumentasi penelitian
6. Gelas ukur/buret kapasitas 20 mL untuk mengukur volume konsumsi bahan bakar solar selama pengujian.



Gambar 3.2 Thermocouple Thermometer HTi HT-9815 sebelum pengujian
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2026)

3.4.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Coolant TMO Chemical 50/50 sebagai fluida pendingin pada sistem pendinginan mesin
2. Bahan bakar solar untuk mengoperasikan mesin diesel

3.5 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Variabel yang diukur

Variabel yang diukur secara langsung dalam penelitian ini adalah:

1. Temperatur fluida pendingin masuk radiator (T_{in})
2. Temperatur fluida pendingin keluar radiator (T_{out})
3. Waktu pengujian
4. Waktu konsumsi bahan bakar sebanyak 20 mL solar
5. Putaran mesin (RPM)

2. Variabel yang dihitung

Variabel yang dianalisis dalam penelitian ini adalah:

1. Selisih temperatur fluida pendingin
2. Laju perpindahan panas pada sistem pendinginan
3. Laju konsumsi massa bahan bakar ($\dot{m}_{bbm}$).
4. Daya panas bahan bakar (Q_{fuel}).
5. Efisiensi sistem pendinginan (η_{cool}).

3.6 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini disusun untuk memperoleh data temperatur fluida pendingin pada sistem radiator mesin diesel secara sistematis dan terukur. Tahapan pengambilan data dilakukan sebagai berikut:

1. Persiapan Alat dan Objek Penelitian
Menyiapkan mesin diesel satu silinder tipe laboratorium (Yanmar TF85MR-di) beserta sistem pendinginannya. Selain itu, disiapkan alat ukur temperatur berupa thermocouple yang telah dikalibrasi.

2. **Penentuan Titik Pengukuran**
Menentukan titik pengukuran temperatur pada sistem pendinginan, yaitu: Titik masuk radiator (inlet) sebagai Tin
Titik keluar radiator (outlet) sebagai Tout
3. **Pemasangan Sensor Temperatur**
Memasang thermocouple pada titik masuk dan keluar radiator dengan memastikan sensor terpasang dengan baik dan dapat membaca temperatur fluida secara akurat..
4. **Pengoperasian Mesin**
Menghidupkan mesin diesel dan menjalankannya hingga mencapai kondisi operasi stabil (steady state), yang ditandai dengan temperatur mesin yang relatif konstan.
5. **Proses Pengambilan Data**
Melakukan pengukuran temperatur fluida pendingin pada sisi masuk dan keluar radiator. Pengambilan data dilakukan setiap interval waktu tertentu (misalnya setiap 1 menit) selama $\pm 10-15$ menit pada kondisi mesin stabil.
6. **Pencatatan Data**
Mencatat data hasil pengukuran temperatur Tin dan Tout secara sistematis dalam tabel pengamatan.
7. **Penghentian Pengujian**
Setelah pengambilan data selesai, mesin dimatikan dan seluruh peralatan dilepas dengan aman.
8. **Pengolahan Data**
Data temperatur yang diperoleh kemudian diolah untuk menghitung laju perpindahan panas menggunakan Persamaan (2.5) serta disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.



Gambar 3.4: Titik Pengukuran Temperatur pada Sistem Pendinginan Mesin Diesel Yanmar TF85MR-di (Direct Injection) di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surabaya.

Sumber: Dokumentasi Pribadi (2026)

Gambar 3.4 menunjukkan titik pengukuran temperatur pada sistem pendinginan mesin diesel Yanmar TF85MR-di (Direct Injection). Pengukuran dilakukan pada dua titik utama, yaitu sisi masuk radiator (Tin) dan sisi keluar radiator (Tout). Penentuan titik pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui selisih temperatur fluida pendingin yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan laju perpindahan panas.

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui metode pengukuran langsung pada sistem pendinginan mesin diesel menggunakan alat ukur temperatur thermocouple HTi HT-9815.

Pengukuran dilakukan pada dua titik utama, yaitu:

- Temperatur fluida pendingin sebelum masuk radiator (Tin)
- Temperatur fluida pendingin setelah keluar dari

radiator (Tout)

Pengambilan data dilakukan pada dua kelompok kondisi operasi, yaitu:

a) Kondisi Tanpa Pembebanan Listrik

Pengukuran dilakukan pada tiga variasi putaran mesin, yaitu kondisi Idle (600 RPM), kondisi Middle (1058 RPM), dan kondisi High (1524 RPM). Pada setiap kondisi, data temperatur Tin dan Tout dicatat setiap 1 menit selama 10 menit setelah mesin mencapai kondisi steady state.

b) Kondisi dengan Pembebanan Listrik

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan mesin pada putaran ± 1850 RPM ke generator listrik sehingga putaran generator mencapai 1500 RPM. Variasi beban listrik yang diberikan adalah 0 Watt, 1.000 Watt, 2.000 Watt, 3.000 Watt, dan 4.000 Watt. Pada setiap kondisi pembebanan, data temperatur Tin dan Tout dicatat sebanyak lima kali pengukuran setelah mesin beroperasi pada kondisi yang relatif stabil. Laju aliran massa fluida pendingin ($\dot{m}$) pada kondisi ini ditentukan secara proporsional berdasarkan perbandingan putaran mesin terhadap kondisi high (1524 RPM) sebagai pendekatan dalam ketiadaan alat ukur flow meter.

Seluruh data temperatur yang diperoleh kemudian dicatat secara sistematis dalam tabel pengamatan untuk selanjutnya dianalisis menggunakan persamaan perpindahan panas.

Selain pengukuran temperatur, dilakukan pula pengukuran konsumsi bahan bakar dengan metode volumetrik menggunakan gelas ukur 20 mL. Waktu yang diperlukan mesin untuk menghabiskan volume bahan bakar tersebut dicatat menggunakan stopwatch. Data volume dan waktu konsumsi digunakan untuk

menghitung laju aliran massa bahan bakar yang selanjutnya dipakai dalam perhitungan daya panas bahan bakar dan efisiensi sistem pendinginan.

3.8 Metode Analisis Data

Data hasil pengujian berupa temperatur fluida pendingin pada sisi masuk radiator (Tin) dan sisi keluar radiator (Tout) dianalisis untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas pada sistem pendinginan mesin diesel.

Perhitungan Laju Konsumsi Bahan Bakar

Laju aliran massa bahan bakar dihitung menggunakan persamaan:

$$\dot{m}_{bbm} = (\rho \times V) / (t \times 1.000) \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

$\dot{m}_{bbm}$ = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

ρ = massa jenis solar (kg/m³)

V = volume bahan bakar yang dikonsumsi (m³)

t = waktu konsumsi bahan bakar (s)

Perhitungan Daya Panas Bahan Bakar

$$Q_{\text{bahan bakar}} = \dot{m}_{bbm} \times LHV \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan:

Q_{fuel} = daya panas bahan bakar (W)

LHV = Lower Heating Value solar (kJ/kg)

Perhitungan Efisiensi Pendinginan

$$\eta_{\text{cool}} = (Q_{\text{coolant}} / Q_{\text{bahan bakar}}) \times 100\% \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan:

η_{cool} = efisiensi pendinginan (%)

Q_{cool} = panas yang dilepaskan radiator (W)

Q_{fuel} = daya panas yang tersedia dari bahan bakar (W)

Efektivitas pendinginan radiator (khusus kondisi tanpa beban)

$$\varepsilon_{cool} = \Delta T / (T_{in} - T_{lingkungan}) \times 100\% \dots\dots\dots (3.4)$$

Tahapan analisis data pada penelitian ini dilakukan sebagai berikut:

1. Data temperatur hasil pengukuran menggunakan thermocouple dicatat pada setiap kondisi pengujian, yaitu kondisi idle, middle, dan high RPM.
2. Data temperatur fluida pendingin pada sisi masuk (T_{in}) dan keluar (T_{out}) radiator disusun dalam bentuk tabel untuk mempermudah proses analisis.
3. Selisih temperatur fluida pendingin antara sisi masuk dan keluar radiator dianalisis untuk mengetahui kemampuan radiator dalam menurunkan temperatur fluida pendingin.
4. Data temperatur hasil eksperimen digunakan untuk menghitung laju perpindahan panas pada sistem pendinginan berdasarkan persamaan perpindahan panas yang telah dijelaskan pada Bab II.
5. Hasil perhitungan dan data temperatur selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah interpretasi data.
6. Analisis dilakukan dengan membandingkan karakteristik temperatur dan laju perpindahan panas pada setiap kondisi putaran mesin guna mengevaluasi kinerja sistem pendinginan mesin diesel.

Catatan penting: Parameter ε pada Persamaan (3.4) diterapkan untuk kondisi operasi tanpa pembebanan listrik (idle, middle, high RPM) karena tidak tersedia data konsumsi bahan bakar terukur pada kondisi tersebut. Parameter η pada Persamaan (3.3) diterapkan untuk kondisi berbeban generator menggunakan data konsumsi bahan bakar yang diukur selama pengujian. Kedua parameter ini bersifat komplementer dan disajikan secara terpisah dalam analisis hasil.

3.9 Keterkaitan Tujuan dan Metode Penelitian

Keterkaitan antara tujuan dan metode penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

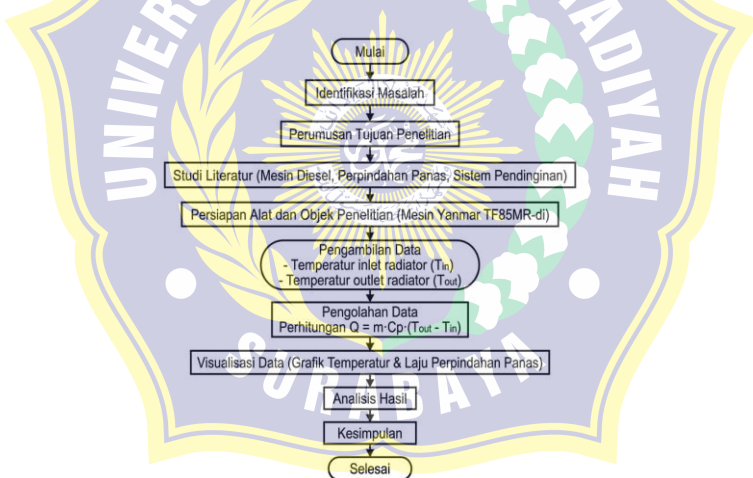
1. Tujuan pertama dicapai melalui analisis mekanisme perpindahan panas yang terjadi pada sistem pendinginan mesin diesel, dengan fokus utama pada perpindahan panas konveksi fluida pendingin di radiator berdasarkan pendekatan keseimbangan energi.
2. Tujuan kedua dicapai melalui pengukuran temperatur fluida pendingin pada sisi masuk (T_{in}) dan keluar (T_{out}) radiator secara eksperimen.
3. Tujuan ketiga dicapai melalui perhitungan laju perpindahan panas menggunakan persamaan keseimbangan energi serta visualisasi data dalam bentuk grafik.

3.10 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian digunakan untuk menggambarkan tahapan pelaksanaan penelitian secara sistematis mulai dari identifikasi masalah hingga diperoleh hasil analisis. Diagram alir ini disusun agar alur penelitian yang dilakukan menjadi lebih jelas, terarah, dan sesuai dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

Pada penelitian ini, alur dimulai dari identifikasi permasalahan pada sistem pendinginan mesin diesel satu silinder tipe laboratorium, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur sebagai dasar teori yang digunakan dalam analisis. Selanjutnya dilakukan pengambilan data temperatur fluida pendingin pada sisi masuk (inlet) dan keluar (outlet) radiator.

Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan persamaan perpindahan panas untuk menghitung laju perpindahan panas pada sistem pendinginan. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah interpretasi data. Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada **Gambar 3.5** berikut.



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian
Sumber: Hasil Olahan Pribadi (2026)

Tahapan penelitian ini dilaksanakan secara sistematis mengikuti diagram alir (flowchart) yang dimulai dari studi literatur hingga penarikan kesimpulan. Secara mendalam, prosedur pengujian pada

objek mesin diesel Yanmar TF85MR-di dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

1. **Persiapan Alat dan Bahan:** Menyiapkan unit mesin diesel, sistem pendingin radiator, serta instrumen pengukuran seperti termokopel atau sensor suhu yang telah dikalibrasi.
2. **Aktivasi Mesin:** Menyalakan mesin diesel Yanmar TF85MR-di pada putaran mesin (RPM) yang telah ditentukan sebagai titik awal pengujian.
3. **Stabilisasi Kondisi Termal:** Menunggu beberapa saat hingga mesin mencapai kondisi operasional yang stabil (steady state) agar fluktuasi suhu pada fluida pendingin tidak memengaruhi validitas data.
4. **Pengambilan Data Primer:** Melakukan pengukuran temperatur fluida pendingin secara berkala pada sisi saluran masuk (Inlet Radiator/Tin) dan saluran keluar (Outlet Radiator/Tout).
5. **Pencatatan Hasil:** Mendokumentasikan seluruh angka temperatur yang terbaca pada unit pemantau ke dalam tabel data pengamatan.
6. **Analisis Termodinamika:** Melakukan pengolahan data dengan menghitung laju perpindahan panas (Q) menggunakan persamaan keseimbangan energi:
7. **Visualisasi dan Interpretasi:** Menyajikan hasil perhitungan dalam bentuk grafik hubungan antara temperatur dan laju perpindahan panas untuk dianalisis lebih lanjut guna melihat efektivitas sistem pendinginan.
8. **Penarikan Kesimpulan:** Merangkum seluruh temuan penelitian untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan.