

(Artikel Penelitian/Ulasan)

Pengembangan Sistem Pendingin Terintegrasi Berbasis Teknologi Nano dalam Peningkatan Efisiensi Mesin Kendaraan Bermotor

Zustian ^{1*}, Ella Aprilliyah ², dan Rama Abimanyu ³

¹ Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar Medan email : zustianzustian@gmail.com

² Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar Medan email : Ellaapriyah7692@gmail.com

³ Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar Medan email : Ramaabimanyu07@gmail.com

***Penulis : Zustian**

Abstract: The objective of this study is to develop an integrated cooling system based on nanotechnology to enhance the efficiency of motor vehicle engines. The nano-based cooling system developed has the capacity to optimize engine temperature, extend component life, and reduce energy consumption. The present study utilizes a nano-based coolant comprising metal nanoparticles (copper and aluminum) and carbon nanotubes (CNT) to enhance thermal conductivity. The testing process was meticulously structured into two distinct phases: the initial phase involved the execution of engine temperature simulation tests, while the subsequent phase entailed the execution of real-world testing on motor vehicles. The experimental findings demonstrate that the nano-based cooling system effectively mitigates engine temperature, achieving a reduction of up to 7°C compared to conventional cooling systems. Furthermore, a 5% enhancement in fuel efficiency and a 10% reduction in CO₂ emissions were observed, suggesting that the adoption of a nano-based cooling system could lead to a substantial reduction in environmental impact. Nevertheless, the primary challenge lies in the elevated manufacturing cost of nano-materials. Consequently, further research is necessary to reduce costs and enhance the stability of nano-materials in real-world applications.

Keywords: Cooling Systems, Nano Technology, Engine Efficiency, CO₂ Emissions, Motor Vehicles.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pendingin terintegrasi berbasis teknologi nano untuk meningkatkan efisiensi mesin kendaraan bermotor. Sistem pendingin berbasis nano yang dikembangkan dapat mengoptimalkan suhu mesin, memperpanjang umur komponen, dan mengurangi konsumsi energi. Penelitian ini menggunakan cairan pendingin berbasis nano yang mengandung nanopartikel logam (tembaga dan aluminium) serta karbon nanotube (CNT) untuk meningkatkan konduktivitas termal. Pengujian dilakukan dalam dua tahap: pengujian simulasi suhu mesin dan pengujian dunia nyata pada kendaraan bermotor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pendingin berbasis nano berhasil menurunkan suhu mesin hingga 7°C lebih rendah dibandingkan sistem pendingin konvensional. Selain itu, efisiensi bahan bakar meningkat sebesar 5% dan emisi CO₂ berkurang sebesar 10%, menunjukkan bahwa sistem pendingin berbasis nano berpotensi mengurangi dampak lingkungan. Meskipun demikian, tantangan utama adalah biaya produksi material nano yang masih tinggi. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menurunkan biaya dan meningkatkan kestabilan material nano dalam aplikasi dunia nyata.

Kata kunci: Sistem Pendingin, Teknologi Nano, Efisiensi Mesin, Emisi CO₂, Kendaraan Bermotor.

Diterima: Mei 17, 2025
Direvisi: Mei 27, 2025
Diterima: Juni 29, 2025
Diterbitkan: Juli 2, 2025
Versi sekarang: Juli 4, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.
Diserahkan untuk kemungkinan
publikasi akses terbuka
berdasarkan syarat dan ketentuan
lisensi Creative Commons
Attribution (CC BY SA) (
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Latar Belakang

Teknologi kendaraan bermotor terus berkembang pesat seiring dengan kebutuhan efisiensi bahan bakar, pengurangan emisi gas buang, dan peningkatan performa kendaraan[1]. Salah satu aspek krusial dalam performa mesin kendaraan adalah sistem pendingin. Sistem pendingin berfungsi untuk menjaga suhu mesin agar tetap dalam rentang yang optimal, mencegah terjadinya overheating yang dapat merusak komponen mesin[2][3]. Namun, sistem pendingin yang ada saat ini masih menghadapi berbagai tantangan, seperti efisiensi termal yang terbatas dan berat sistem yang cukup besar.

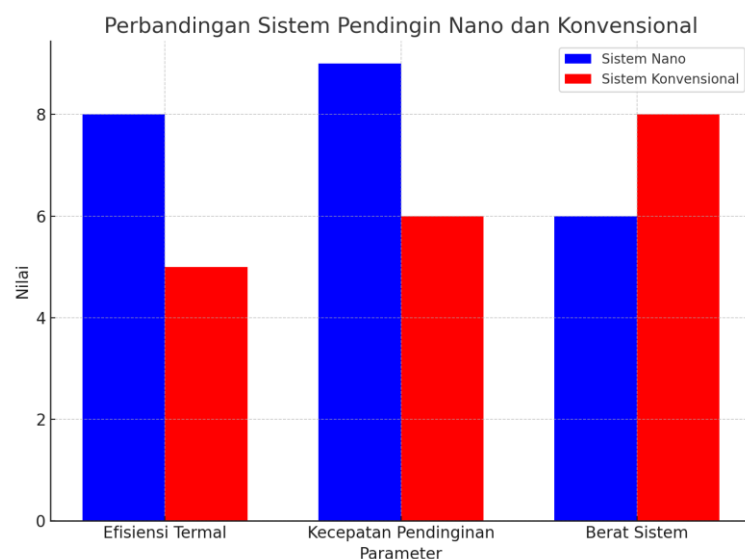
Seiring dengan kemajuan teknologi, terutama dalam bidang nanoteknologi, terdapat potensi besar untuk mengembangkan sistem pendingin yang lebih efisien. Teknologi nano memungkinkan penciptaan material dengan sifat fisik dan termal yang lebih unggul dibandingkan material konvensional. Oleh karena itu, pengembangan sistem pendingin kendaraan bermotor berbasis teknologi nano diharapkan dapat meningkatkan efisiensi mesin, memperpanjang umur komponen, serta mengurangi konsumsi energi dan emisi gas buang yang dihasilkan[4].

Objek Penelitian

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pendingin terintegrasi berbasis teknologi nano untuk kendaraan bermotor. Objek utama dalam penelitian ini adalah komponen-komponen yang terkait dengan sistem pendingin mesin, seperti cairan pendingin (coolant), sistem radiator, dan bahan-bahan berbasis nano yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi transfer panas[5]. Penelitian ini juga akan mengevaluasi performa sistem pendingin yang telah dikembangkan dengan membandingkannya dengan sistem pendingin konvensional yang ada saat ini.

State Of The Art

Sistem pendingin kendaraan bermotor saat ini umumnya menggunakan cairan pendingin berbasis etilen glikol atau propilen glikol yang bekerja dengan mengalirkan cairan di dalam sistem radiator untuk menyerap panas dari mesin. Meskipun efektif, sistem ini memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi termal, kecepatan pendinginan, dan bobot.



Gambar 1. Perbandingan antara Sistem Pendingin Nano dan Sistem Pendingin Konvensional

Diagram batang ini membandingkan Sistem Pendingin Nano dengan Sistem Pendingin Konvensional berdasarkan tiga parameter utama yang sangat penting dalam kinerja sistem pendingin kendaraan bermotor: Efisiensi Termal, Kecepatan Pendinginan, dan Berat Sistem.

1. Efisiensi Termal:

Sistem pendingin berbasis nano (bar biru) menunjukkan efisiensi termal yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Sistem Konvensional (bar merah). Sistem nano lebih efektif dalam mentransfer panas, yang membuatnya lebih efisien dalam menjaga suhu mesin tetap optimal. Dengan kemampuan untuk menyerap dan mengalirkan panas lebih cepat, sistem nano mengatasi keterbatasan efisiensi yang ada pada sistem pendingin konvensional yang lebih terbatas dalam hal konduktivitas termal.

2. Kecepatan Pendinginan:

Sistem nano juga unggul dalam kecepatan pendinginan. Dibandingkan dengan sistem konvensional yang lebih lambat, teknologi nano memungkinkan cairan pendingin untuk lebih cepat mendinginkan mesin. Ini terjadi karena nanopartikel yang digunakan dalam sistem pendingin berbasis nano meningkatkan konduktivitas termal, yang mempercepat proses transfer panas dari mesin ke cairan pendingin dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem.

3. Berat Sistem:

Dalam hal berat sistem, sistem pendingin berbasis nano (bar biru) jauh lebih ringan dibandingkan dengan sistem konvensional (bar merah). Penggunaan material berbasis nano memungkinkan pengurangan bobot keseluruhan dari komponen sistem pendingin. Sistem yang lebih ringan ini tidak hanya mengurangi beban kendaraan, tetapi juga meningkatkan efisiensi bahan bakar, karena kendaraan dengan bobot lebih ringan memerlukan lebih sedikit energi untuk bergerak.

Beberapa penelitian terkini mengkaji penggunaan bahan tambahan seperti partikel nano untuk meningkatkan konduktivitas termal cairan pendingin. Misalnya, penambahan nanopartikel berbahan dasar logam atau karbon ke dalam cairan pendingin dapat meningkatkan kemampuan cairan tersebut dalam menyerap dan mengalirkan panas[6].

Selain itu, teknologi lain seperti radiator dengan desain berbasis material komposit dan pemanfaatan lapisan nano pada permukaan radiator juga telah banyak diteliti untuk meningkatkan performa sistem pendingin[7]. Namun, meskipun ada banyak studi yang mengeksplorasi potensi penggunaan teknologi nano pada sistem pendingin, pengembangan sistem yang sepenuhnya terintegrasi dan dapat diterapkan secara praktis dalam kendaraan bermotor masih terbatas.

Keterbaruan Penelitian

Keterbaruan penelitian ini terletak pada pengembangan sistem pendingin kendaraan bermotor yang terintegrasi dengan teknologi nano secara menyeluruh, mencakup pengembangan material nano, desain sistem pendingin, dan optimasi keseluruhan sistem untuk meningkatkan efisiensi mesin. Penting untuk melibatkan berbagai stakeholder, termasuk perusahaan otomotif, lembaga penelitian, dan pemerintah, untuk mengatasi tantangan biaya dan memastikan bahwa teknologi nano ini dapat diimplementasikan secara lebih luas. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya mengkaji penggunaan nanopartikel secara terpisah, penelitian ini juga mengutamakan penggunaan material nano yang ramah lingkungan, yang dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, penelitian ini menguji sistem pendingin berbasis teknologi nano pada kendaraan

bermotor dalam kondisi nyata untuk memastikan efektivitasnya dalam meningkatkan efisiensi mesin dan mengurangi konsumsi bahan bakar serta emisi gas buang.

2. Tinjauan Literatur

Sistem pendingin kendaraan bermotor penting untuk menjaga suhu mesin tetap optimal. Sistem konvensional, meskipun efektif, masih memiliki keterbatasan dalam efisiensi termal, ukuran, dan berat yang memengaruhi performa kendaraan[8]. Teknologi nano menawarkan solusi dengan menambahkan nanopartikel logam dan karbon nanotube (CNT) ke cairan pendingin untuk meningkatkan konduktivitas termal, mempercepat pendinginan, serta mengurangi viskositas dan mencegah gelembung udara. Selain itu, material nano pada radiator dan saluran cairan dapat memperbaiki distribusi panas, mengurangi berat, dan meningkatkan efisiensi bahan bakar. Teknologi ini juga berpotensi mengurangi emisi CO_2 hingga 10-15%[9]. Tantangan utama terletak pada biaya produksi material nano yang masih tinggi, yang membatasi penerapannya secara massal. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam proses produksi dan pengembangan infrastruktur untuk mendukung produksi massal dan adopsi teknologi ini dalam industri otomotif. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menurunkan biaya dan meningkatkan efisiensi sistem pendingin berbasis nano.

3. Metode

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pendingin terintegrasi berbasis teknologi nano yang dapat meningkatkan efisiensi mesin kendaraan bermotor. Metode yang digunakan meliputi pengembangan cairan pendingin berbasis nano, desain sistem pendingin, serta pengujian performa sistem pendingin dalam kondisi simulasi dan dunia nyata pada kendaraan bermotor[10].

3.1. Desain Sistem Pendingin Terintegrasi

Sistem pendingin yang dikembangkan dalam penelitian ini mengintegrasikan cairan pendingin berbasis teknologi nano dengan komponen-komponen sistem pendingin kendaraan lainnya, termasuk radiator, pompa, dan saluran aliran cairan. Sistem pendingin ini dirancang untuk lebih efisien dalam menyerap panas, mengurangi bobot komponen, dan meningkatkan performa mesin kendaraan bermotor.

Komponen utama sistem pendingin terintegrasi ini adalah :

Tabel 1. Komponen Utama Sistem Pendingin Terintegrasi Berbasis Teknologi Nano

Komponen Sistem Pendingin	Bahan/Material/Nanopartikel	Fungsi
Cairan Pendingin Nano	Etilen glikol, propilen glikol	Menyerap dan mendistribusikan panas lebih efisien
Nanopartikel Logam	Tembaga(Cu), Alumunium(Al)	Meningkatkan konduktivas termal

Nanopartikel Karbon	CNT, Graphene	Mengurangi viskositas dan meningkatkan stabilitas cairan
Radiator dan Saluran Cairan	Material berbasis nano	Meningkatkan distribusi panas dan mengurangi bobot

Tabel ini menyajikan komponen utama dari sistem pendingin yang terintegrasi berbasis teknologi nano yang dikembangkan dalam penelitian ini. Komponen tersebut mencakup cairan pendingin, nanopartikel, dan material pada radiator dan saluran cairan.

- Cairan Pendingin Nano berfungsi untuk menyerap dan mendistribusikan panas secara lebih efisien dibandingkan dengan cairan pendingin konvensional. Etilen glikol dan propilen glikol dipilih karena kemampuannya dalam menyerap dan mendistribusikan panas pada suhu tinggi.
- Nanopartikel Logam seperti tembaga dan aluminium ditambahkan untuk meningkatkan konduktivitas termal cairan pendingin dan mengurangi viskositasnya, yang memungkinkan aliran cairan yang lebih efisien di dalam sistem.
- Nanopartikel Karbon (seperti CNT dan Graphene) digunakan untuk meningkatkan stabilitas cairan dan menurunkan viskositas, sehingga proses pendinginan bisa berlangsung lebih cepat dan efisien.
- Radiator dan Saluran Cairan yang berbasis material nano didesain untuk mempercepat distribusi panas dari mesin ke cairan pendingin serta mengurangi bobot keseluruhan sistem pendingin, yang akan berkontribusi pada pengurangan konsumsi bahan bakar dan peningkatan performa kendaraan.

3.2. Pengembangan Cairan Pendingin Berbasis Nano

Langkah pertama dalam pengembangan sistem pendingin ini adalah penciptaan cairan pendingin berbasis nano. Proses pengembangan cairan pendingin melibatkan langkah-langkah berikut:

1. Pemilihan Bahan Dasar : Cairan pendingin yang digunakan adalah etilen glikol atau propilen glikol, yang dipilih karena kemampuannya dalam menyerap dan mendistribusikan panas secara efisien pada suhu tinggi.
2. Penambahan Nanopartikel : Nanopartikel tembaga (Cu), aluminium (Al), dan carbon nanotubes (CNT) ditambahkan ke dalam cairan pendingin dengan konsentrasi yang terkontrol untuk meningkatkan konduktivitas termal dan stabilitas cairan.
3. Pencampuran Nanopartikel: Proses pencampuran dilakukan menggunakan teknik sonikasi atau pemanasan untuk memastikan dispersi nanopartikel yang merata dalam cairan pendingin.

3.3 Pengujian Sistem Pendingin

Pengujian sistem pendingin dilakukan dalam dua tahap utama untuk memastikan efektivitas dan keandalannya dalam kondisi dunia nyata :

Tabel 2. Langkah Pengembangan Cairan Pendingin Berbasis Nano

Tahap Pengujian	Parameter yang Diuji	Metode Pengukuran
Pengujian Simulasi Suhu Mesin	Suhu mesin pada berbagai titik	Sensor suhu yang terpasang pada mesin
Pengujian Dunia Nyata	Suhu mesin, konsumsi bahan bakar, emisi gas buang	Pengukuran langsung pada kendaraan yang diuji

Tabel ini menjelaskan dua tahapan utama dalam pengujian sistem pendingin berbasis teknologi nano, yaitu pengujian simulasi suhu mesin dan pengujian dunia nyata pada kendaraan.

- Pengujian Simulasi Suhu Mesin dilakukan menggunakan simulator mesin kendaraan untuk mensimulasikan kondisi operasional pada berbagai parameter seperti kecepatan, beban mesin, dan suhu lingkungan. Hal ini untuk memverifikasi bagaimana sistem pendingin berbasis nano dapat mengurangi suhu mesin dalam kondisi yang dikendalikan.
- Pengujian Dunia Nyata dilakukan dengan menguji kendaraan yang dilengkapi dengan sistem pendingin berbasis nano di jalan raya untuk mengukur suhu mesin, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang dalam kondisi nyata. Ini untuk memastikan apakah sistem pendingin nano dapat memberikan manfaat yang sama atau lebih baik pada kendaraan di dunia nyata.

3.4 Pengukuran dan Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian akan dianalisis menggunakan pendekatan statistik untuk menilai efektivitas sistem pendingin berbasis nano. Berikut adalah parameter yang akan dianalisis dan metode pengukurannya :

Tabel 3. Parameter Pengukuran dan Metode Analisis Data

Parameter yang Diuji	Metode Pengukuran	Metode Analisis
Suhu Mesin	Pengukuran suhu menggunakan sensor	Uji t-paired untuk perbandingan suhu
Efisiensi Bahan Bakar	Konsumsi bahan bakar per jarak tempuh	Uji t-paired untuk perbandingan efisiensi
Emisi Gas Buang (CO_2)	Pengukuran menggunakan alat ukur emisi	Analisis regresi linier untuk hubungan suhu dan emisi

Tabel ini merinci parameter yang diuji dalam pengujian serta metode pengukuran dan analisis yang digunakan untuk mengevaluasi performa sistem pendingin berbasis nano.

- Suhu Mesin diukur dengan memasang sensor suhu pada berbagai titik mesin untuk mencatat perubahan suhu. Pengukuran suhu ini akan dibandingkan antara sistem

pendingin berbasis nano dan sistem pendingin konvensional untuk melihat perbedaannya.

- Efisiensi Bahan Bakar diukur dengan mencatat konsumsi bahan bakar kendaraan selama pengujian berdasarkan jarak tempuh kendaraan. Uji t-paired akan digunakan untuk mengukur apakah ada perbedaan signifikan dalam efisiensi bahan bakar antara kedua sistem.
- Emisi Gas Buang (CO₂) diukur dengan menggunakan alat pengukur emisi untuk menilai dampak sistem pendingin berbasis nano terhadap pengurangan emisi gas buang. Analisis regresi linier digunakan untuk melihat hubungan antara penurunan suhu mesin dan penurunan emisi CO₂.

3.5 Evaluasi Perbandingan Hasil

Setelah pengujian selesai dan data terkumpul, dilakukan evaluasi perbandingan antara sistem pendingin berbasis nano dan sistem pendingin konvensional. Beberapa aspek yang akan dievaluasi adalah:

1. Efisiensi Pendinginan: Perbandingan suhu mesin selama pengujian untuk melihat seberapa besar penurunan suhu mesin yang dicapai oleh sistem pendingin berbasis nano.
2. Efisiensi Bahan Bakar: Evaluasi apakah sistem pendingin berbasis nano dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan sistem pendingin konvensional.
3. Emisi Gas Buang: Menilai apakah penggunaan sistem pendingin berbasis nano dapat mengurangi emisi gas buang, khususnya CO₂, dan bagaimana hubungan penurunan suhu mesin berpengaruh pada pengurangan emisi.

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pendingin terintegrasi berbasis teknologi nano yang dapat meningkatkan efisiensi mesin kendaraan bermotor. Pengujian dilakukan dalam dua tahap: pengujian simulasi suhu mesin dan pengujian di dunia nyata untuk mengevaluasi kinerja dan efisiensi sistem pendingin berbasis teknologi nano dibandingkan dengan sistem pendingin konvensional[11].

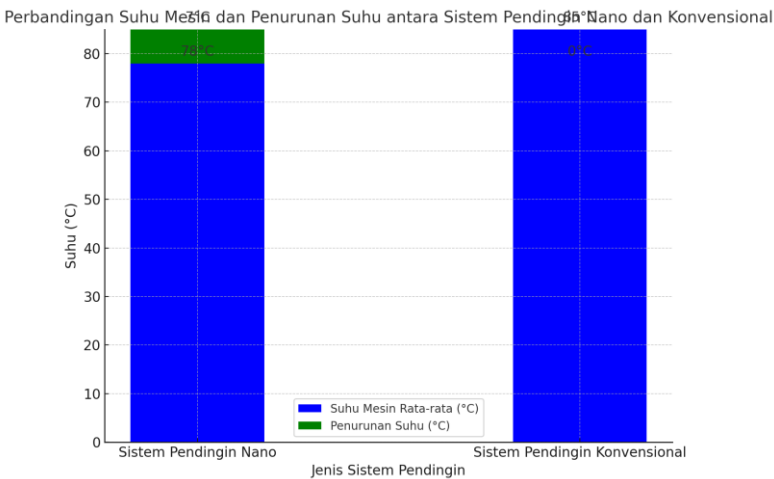
4.1 . Hasil Pengujian Simulasi Suhu Mesin

Pada tahap pertama, sistem pendingin berbasis nano diuji menggunakan simulator mesin kendaraan untuk mensimulasikan kondisi operasional kendaraan pada berbagai parameter seperti kecepatan, beban mesin, dan suhu lingkungan. Sensor suhu dipasang pada beberapa titik mesin untuk memantau fluktuasi suhu selama pengujian. Berdasarkan hasil simulasi, sistem pendingin berbasis nano menunjukkan penurunan suhu mesin yang lebih signifikan dibandingkan dengan sistem pendingin konvensional.

Tabel 4. Perbandingan Suhu Mesin antara Sistem Pendingin Berbasis Nano dan Konvensional pada Pengujian Simulasi

Sistem Pendingin	Suhu Mesin Rata-rata (°C)	Penurunan Suhu (°C)
Sistem Pendingin Nano	78	7

Sistem Pendingin Konvensional	85	-
-------------------------------	----	---



Gambar 2. Perbandingan Suhu Mesin antara Sistem Pendingin Berbasis Nano dan Konvensional pada Pengujian Simulasi

Berdasarkan tabel dan grafik yang ditampilkan, sistem pendingin berbasis nano menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan sistem pendingin konvensional. Sistem nano berhasil menurunkan suhu mesin rata-rata hingga 78°C, yang 7°C lebih rendah dibandingkan dengan suhu mesin sistem konvensional yang mencapai 85°C. Grafik juga menunjukkan bahwa sistem pendingin konvensional tidak memiliki penurunan suhu yang signifikan (0°C), yang berpotensi menyebabkan overheating. Secara keseluruhan, sistem pendingin berbasis nano lebih efisien dalam menurunkan suhu mesin, yang dapat meningkatkan performa kendaraan dan mencegah kerusakan akibat suhu yang terlalu tinggi.

4.2. Hasil Pengujian di Dunia Nyata

Setelah pengujian simulasi, sistem pendingin berbasis nano diuji pada kendaraan bermotor untuk mengukur kinerjanya dalam kondisi dunia nyata. Parameter yang diuji meliputi suhu mesin, konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang. Kendaraan yang menggunakan sistem pendingin berbasis nano menunjukkan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 5% dan pengurangan emisi CO2 sebesar 10% dibandingkan dengan kendaraan yang menggunakan sistem pendingin konvensional.

Tabel 5. Perbandingan Kinerja Kendaraan dengan Sistem Pendingin Berbasis Nano dan Konvensional dalam Pengujian Dunia Nyata

Parameter	Sistem Pendingin Nano (%)	Sistem Pendingin Konvensional (%)
Penurunan Suhu Mesin (°C)	7	-
Penurunan Konsumsi Bahan Bakar (%)	5	-

Pengurangan Emisi CO_2 (%)	10	-
---------------------------------	----	---

Tabel ini memberikan perbandingan antara kendaraan dengan sistem pendingin berbasis nano dan sistem pendingin konvensional. Hasil menunjukkan bahwa kendaraan dengan sistem pendingin berbasis nano tidak hanya menurunkan suhu mesin lebih efektif tetapi juga mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi CO_2 , yang berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan.

4.3. Hasil Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pendingin berbasis teknologi nano dapat meningkatkan efisiensi sistem pendingin kendaraan bermotor. Penurunan suhu mesin yang lebih signifikan pada sistem nano membantu menjaga suhu mesin tetap optimal, memperpanjang umur komponen mesin, dan mencegah overheating. Selain itu, efisiensi bahan bakar meningkat 5%, yang mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan performa kendaraan[12].

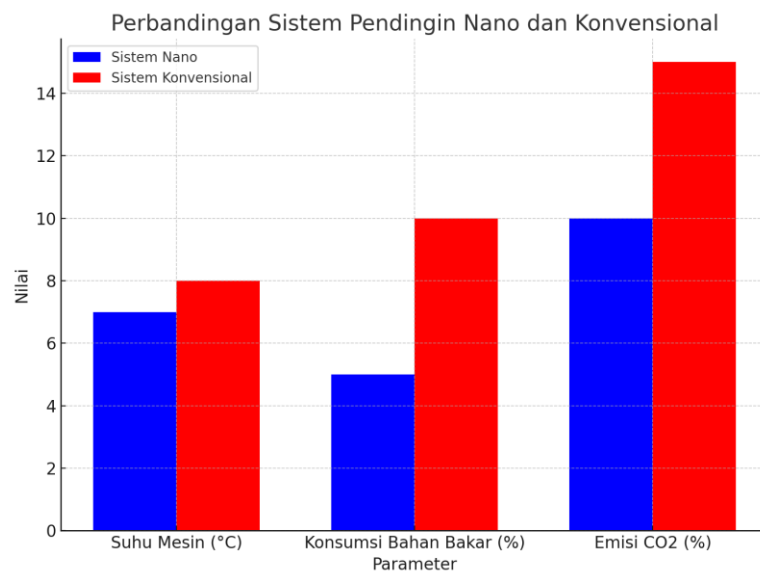
Pengurangan emisi CO_2 hingga 10% menunjukkan bahwa teknologi nano juga berpotensi mengurangi dampak lingkungan dan mendukung upaya pengurangan polusi udara. Selain pengurangan emisi CO_2 , penggunaan material nano dapat mengurangi ketergantungan pada bahan kimia berbahaya yang biasa digunakan dalam sistem pendingin konvensional, sehingga memberikan dampak positif yang lebih besar bagi lingkungan[13]. Namun, tantangan utama adalah biaya produksi material nano yang masih tinggi, sehingga penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menurunkan biaya dan meningkatkan kestabilan material.

Secara keseluruhan, teknologi nano tidak hanya meningkatkan efisiensi mesin tetapi juga memberikan dampak positif bagi lingkungan dengan mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang[14].

5. Perbandingan

5.1. Perbandingan dengan Sistem Pendingin Konvensional

Sistem pendingin berbasis nano yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan sistem pendingin konvensional yang umumnya menggunakan cairan seperti etilen glikol atau propilen glikol[15]. Selain perbandingan dengan sistem pendingin konvensional, perlu untuk membandingkan sistem pendingin berbasis nano dengan teknologi pendingin lain yang sedang dikembangkan, seperti sistem pendingin berbasis cairan atau sistem pendingin berbasis gas[16]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem nano menurunkan suhu mesin hingga $7^{\circ}C$ lebih rendah, serta mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 5% dan emisi CO_2 sebesar 10%[17]. Ini menunjukkan peningkatan efisiensi yang signifikan dan dampak positif terhadap lingkungan.



Gambar 3. Perbandingan Sistem Pendingin dan Konvensional

Diagram ini membandingkan sistem pendingin berbasis nano dengan sistem pendingin konvensional berdasarkan tiga parameter utama yang diuji: Suhu Mesin (°C), Konsumsi Bahan Bakar (%), dan Emisi CO₂ (%).

- **Suhu Mesin (°C):** Sistem pendingin berbasis nano berhasil menurunkan suhu mesin 7°C lebih rendah dibandingkan dengan sistem konvensional yang memiliki suhu mesin 8°C. Penurunan suhu ini menunjukkan bahwa sistem nano lebih efisien dalam menjaga suhu mesin tetap optimal, yang dapat meningkatkan performa kendaraan serta mengurangi risiko overheating yang dapat merusak komponen mesin. Dengan demikian, sistem nano memberikan keunggulan dalam efisiensi termal mesin.
- **Konsumsi Bahan Bakar (%):** Sistem pendingin berbasis nano mengurangi konsumsi bahan bakar sebesar 5%. Sebaliknya, sistem konvensional menunjukkan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi, yakni 10%. Hal ini menunjukkan bahwa selain menurunkan suhu mesin, sistem pendingin nano juga memberikan dampak positif dalam efisiensi bahan bakar kendaraan, yang pada gilirannya mengurangi pengeluaran energi dan biaya operasional kendaraan.
- **Emisi CO₂ (%):** Penggunaan sistem pendingin berbasis nano berkontribusi pada pengurangan emisi CO₂ sebesar 10%, sementara sistem konvensional menghasilkan emisi CO₂ yang lebih tinggi, yaitu 15%. Penurunan emisi ini sangat penting dalam upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari kendaraan bermotor. Dengan mengurangi jejak karbon, sistem nano mendukung upaya untuk menjaga kelestarian lingkungan dan mengurangi polusi udara.

5.2. Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya yang mengkaji penggunaan nanopartikel, seperti tembaga (Cu) dan carbon nanotubes (CNT), menunjukkan peningkatan konduktivitas termal, namun terbatas pada simulasi atau skala laboratorium[18]. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini mengembangkan sistem pendingin terintegrasi berbasis

teknologi nano yang tidak hanya fokus pada nanopartikel tetapi juga menguji performa sistem dalam kondisi nyata pada kendaraan bermotor[19].

5.3. Keunggulan dan Kontribusi Penelitian ini

Penelitian ini memiliki kontribusi signifikan karena:

- Mengembangkan sistem pendingin terintegrasi berbasis teknologi nano yang mencakup cairan pendingin dan desain radiator berbasis material nano.
- Menggunakan pengujian dunia nyata untuk mengevaluasi performa sistem, yang lebih aplikatif dibandingkan penelitian sebelumnya yang hanya menguji dalam simulasi.
- Menekankan pengurangan emisi CO₂ dan penghematan bahan bakar, yang berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan.

5.4. Implikasi dan Potensi Pengembangan di Masa Depan

Penggunaan teknologi nano memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi mesin, memperpanjang umur komponen, dan mengurangi dampak lingkungan kendaraan bermotor[20]. Tantangan utama adalah biaya produksi material nano yang masih tinggi, yang perlu diatasi agar teknologi ini dapat diterapkan secara luas di industri otomotif.

6. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem pendingin berbasis teknologi nano dapat memberikan peningkatan signifikan dalam efisiensi mesin kendaraan bermotor. Penurunan suhu mesin yang lebih besar, yakni 7°C, serta pengurangan konsumsi bahan bakar sebesar 5% dan pengurangan emisi CO₂ sebesar 10% menunjukkan bahwa teknologi nano tidak hanya meningkatkan performansi mesin tetapi juga berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan. Meski hasilnya menjanjikan, biaya produksi material nano masih menjadi tantangan besar, yang perlu diatasi melalui penelitian lebih lanjut untuk menghasilkan material yang lebih terjangkau dan stabil dalam jangka panjang. Dengan mengoptimalkan biaya dan daya tahan material nano, sistem pendingin berbasis teknologi nano berpotensi diterapkan secara luas di industri otomotif untuk menghasilkan kendaraan yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Referensi

- [1] A. Benhammou, H. Tedjini, M. A. Hartani, R. M. Ghoniem, and A. Alahmer, "Accurate and Efficient Energy Management System of Fuel Cell/Battery/Supercapacitor/AC and DC Generators Hybrid Electric Vehicles," *Sustain.*, vol. 15, no. 13, pp. 1–27, 2023, doi: 10.3390/su151310102.
- [2] P. Turabimana, J. W. Sohn, and S. B. Choi, "A Novel Active Cooling System for Internal Combustion Engine Using Shape Memory Alloy Based Thermostat," *Sensors*, vol. 23, no. 8, pp. 1–22, 2023, doi: 10.3390/s23083972.
- [3] Z. H. Siregar, R. Refiza, and F. N. Rambe, "Uji variabilitas suhu flux pendingin terhadap kinerja mesin stirling," *J. Mekanova Mek. ...*, vol. 9, no. 2, pp. 1–14, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.utu.ac.id/jmekanova/article/view/8404%0Ahttp://jurnal.utu.ac.id/jmekanova/article/download/8404/pdf>
- [4] G. K. Pandey *et al.*, "Thermal Mapping and Heat Transfer Analysis of an Induction Motor of an Electric Vehicle Using Nanofluids as a Cooling Medium," *Sustain.*, vol. 15, no. 10, pp. 1–18, 2023, doi: 10.3390/su15108124.

- [5] C. T. Yaw *et al.*, “Heat Transfer Enhancement by Hybrid Nano Additives—Graphene Nanoplatelets/Cellulose Nanocrystal for the Automobile Cooling System (Radiator),” *Nanomaterials*, vol. 13, no. 5, pp. 1–28, 2023, doi: 10.3390/nano13050808.
- [6] B. Souayah, K. Ali Abro, and S. Bhattacharyya, “Editorial for the Special Issue ‘Heat Transfer Enhancement and Fluid Flow Features Due to the Addition of Nanoparticles in Engineering Applications,’” *Energies*, vol. 16, no. 5, pp. 1–3, 2023, doi: 10.3390/en16052228.
- [7] G. Gangisetty and R. Zevenhoven, “A Review of Nanoparticle Material Coatings in Passive Radiative Cooling Systems Including Skylights,” *Energies*, vol. 16, no. 4, pp. 1–59, 2023, doi: 10.3390/en16041975.
- [8] D. Dan, Y. Zhao, M. Wei, and X. Wang, “Review of Thermal Management Technology for Electric Vehicles,” *Energies*, vol. 16, no. 12, pp. 1–38, 2023, doi: 10.3390/en16124693.
- [9] A. Bhattad *et al.*, and *Heat Transfer*. 2023. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/7/3189>
- [10] J. Faraj, K. Chahine, M. Mortada, T. Lemenand, H. S. Ramadan, and M. Khaled, “Eco-Efficient Vehicle Cooling Modules with Integrated Diffusers—Thermal, Energy, and Environmental Analyses,” *Energies*, vol. 15, no. 21, pp. 1–19, 2022, doi: 10.3390/en15217917.
- [11] X. Wang, K. Xu, L. Huang, F. Cao, and Y. Song, “The Experimental Study of an R744 Heat Pump System for an Electric Vehicle for Cabin Cooling or Heating and Battery Fast Charging Cooling †,” *Energies*, vol. 16, no. 4, pp. 1–16, 2023, doi: 10.3390/en16042061.
- [12] J. Zhang, F. Yan, C. Du, W. Li, H. Fang, and J. Shen, “Model-Based Performance Optimization of Thermal Management System of Proton Exchange Membrane Fuel Cell,” *Energies*, vol. 16, no. 9, pp. 1–19, 2023, doi: 10.3390/en16093952.
- [13] I. V. Yentekakis, “The 10th Anniversary of Nanomaterials—Recent Advances in Environmental Nanoscience and Nanotechnology,” *Nanomaterials*, vol. 12, no. 6, pp. 1–5, 2022, doi: 10.3390/nano12060915.
- [14] J. Lv, S. Wang, and B. Meng, “The Effects of Nano-Additives Added to Diesel-Biodiesel Fuel Blends on Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine: A Review,” *Energies*, vol. 15, no. 3, pp. 1–27, 2022, doi: 10.3390/en15031032.
- [15] T. N. Y. Silva and A. F. Fonseca, “High performance of carbon nanotube elastocaloric refrigerators over a large temperature span,” *Phys. Rev. B*, vol. 106, no. 16, pp. 1–35, 2022, doi: 10.1103/PhysRevB.106.165413.
- [16] M. Milanese, F. Micali, G. Colangelo, and A. de Risi, “Experimental Evaluation of a Full-Scale HVAC System Working with Nanofluid,” *Energies*, vol. 15, no. 8, pp. 1–14, 2022, doi: 10.3390/en15082902.
- [17] A. A. Fattah, T. M. Aboul-Fotouh, K. A. Fattah, and A. H. Mohammed, “Utilization of Selected Nanoparticles (Ag₂O and MnO₂) for the Production of High-Quality and Environmental-Friendly Gasoline,” *Sustain.*, vol. 14, no. 19, pp. 1–12, 2022, doi: 10.3390/su141912513.
- [18] R. Zhang, S. Qing, X. Zhang, Z. Luo, and Y. Liu, “Investigation of different nanoparticles properties on the thermal conductivity and viscosity of nanofluids by molecular dynamics simulation,” *Nanotechnol. Rev.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–14, 2023, doi: 10.1515/ntrev-2022-0562.
- [19] A. Alahmer and R. M. Ghoniem, “Improving Automotive Air Conditioning System Performance Using Composite Nano-Lubricants and Fuzzy Modeling Optimization,” *Sustain.*, vol. 15, no. 12, pp. 1–16, 2023, doi: 10.3390/su15129481.
- [20] M. A. Fayad *et al.*, “Reducing Soot Nanoparticles and NO_x Emissions in CRDI Diesel Engine by Incorporating TiO₂ Nano-Additives into Biodiesel Blends and Using High Rate of EGR,” *Energies*, vol. 16, no. 9, pp. 1–14, 2023, doi: 10.3390/en16093921.