



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Optimasi Sistem Pendinginan Mesin Menggunakan Fluida Nanofluida Berbasis Air

Optimization of Engine Cooling System Using Water-Based Nanofluid

Bambang Triono

Universitas Sunan Giri Surabaya

Email: bambangtriono@unsuri.ac.id

Artikel Pengabdian

Article History:

Received: 15 Nov, 2025

Revised: 14 Dec, 2025

Accepted: 19 Dec, 2025

Kata Kunci:

Nanofluida, Sistem Pendinginan Mesin, Transfer Panas, Fluida Berbasis Air, Efisiensi Termal

Keywords:

Nanofluids, Engine cooling system Heat transfer, Water-based fluid, Thermal efficiency

DOI: 10.56338/jks.v8i12.6993

ABSTRAK

P Sistem pendinginan mesin memiliki peran strategis dalam menjaga stabilitas suhu kerja, mencegah kerusakan komponen, serta meningkatkan efisiensi dan umur pakai mesin. Fluida pendingin konvensional berbasis air memiliki keterbatasan utama pada nilai konduktivitas termal yang relatif rendah, sehingga kinerja perpindahan panas belum optimal, terutama pada kondisi kerja dengan beban tinggi. Perkembangan teknologi material nano mendorong pemanfaatan nanofluida sebagai alternatif fluida pendingin yang lebih efektif. Nanofluida merupakan suspensi partikel berukuran nanometer ke dalam fluida dasar, seperti air, yang mampu meningkatkan karakteristik termofisika fluida secara signifikan. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif pemanfaatan nanofluida berbasis air dalam sistem pendinginan mesin, meliputi aspek teoritis, metode penelitian, serta aplikasinya dalam meningkatkan efisiensi termal. Metode yang digunakan adalah studi literatur terhadap berbagai penelitian nasional yang membahas karakteristik nanofluida, pengaruh jenis dan konsentrasi nanopartikel, serta performa perpindahan panas pada sistem pendingin mesin. Hasil kajian menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel tertentu, seperti Al_2O_3 , SiO_2 , atau TiO_2 , ke dalam fluida berbasis air mampu meningkatkan konduktivitas termal dan koefisien perpindahan panas secara signifikan dibandingkan fluida konvensional. Peningkatan konsentrasi nanopartikel terbukti memberikan kontribusi positif terhadap efektivitas sistem pendinginan, meskipun perlu dikendalikan agar tidak menimbulkan peningkatan viskositas dan hambatan aliran yang berlebihan. Dengan demikian, penggunaan nanofluida berbasis air berpotensi menjadi solusi inovatif dalam optimasi sistem pendinginan mesin. Namun, diperlukan penelitian lanjutan terkait stabilitas suspensi, dampak jangka panjang terhadap komponen mesin, serta aspek ekonomi sebelum diterapkan secara luas dalam skala industri.

ABSTRACT

The engine cooling system plays a crucial role in maintaining operational temperature stability, preventing component damage, and improving engine efficiency as well as service life. Conventional water-based cooling fluids have inherent limitations due to their relatively low thermal conductivity, which restricts heat transfer performance, especially under high thermal loads. Advances in nanotechnology have led to the development of nanofluids as an alternative cooling

medium with superior thermal characteristics. Nanofluids are suspensions of nanoparticles with nanometer-scale sizes dispersed in a base fluid, such as water, which significantly enhance the thermophysical properties of the fluid. This article aims to comprehensively examine the application of water-based nanofluids in engine cooling systems, covering theoretical foundations, research methods, and practical applications related to thermal performance enhancement. The research method employed is a literature review of national scientific journals focusing on nanofluid characteristics, the influence of nanoparticle types and concentrations, and their effects on heat transfer performance in engine cooling systems. The results of the review indicate that the addition of specific nanoparticles, such as Al_2O_3 , SiO_2 , or TiO_2 , to water-based fluids leads to a notable increase in thermal conductivity and convective heat transfer coefficients compared to conventional cooling fluids. Increasing nanoparticle concentration generally improves cooling effectiveness; however, it must be carefully controlled to avoid excessive viscosity and flow resistance that could negatively affect system performance. In conclusion, water-based nanofluids demonstrate strong potential as an innovative solution for optimizing engine cooling systems. Nevertheless, further studies are required to address issues related to long-term stability, potential impacts on engine components, and economic feasibility before large-scale industrial implementation can be achieved.

PENDAHULUAN

Sistem pendinginan mesin merupakan salah satu komponen vital dalam menjaga kinerja, keandalan, dan umur pakai mesin, baik pada kendaraan bermotor maupun pada mesin-mesin industri. Selama proses operasi, mesin menghasilkan panas yang signifikan akibat pembakaran bahan bakar, gesekan antar komponen, serta kerja mekanis yang berlangsung secara terus-menerus. Apabila panas tersebut tidak dikelola dan dibuang secara efektif, maka suhu mesin dapat meningkat melebihi batas aman, yang pada akhirnya berpotensi menyebabkan overheating, penurunan performa, kerusakan material, hingga kegagalan sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, keberadaan sistem pendinginan yang efektif menjadi prasyarat utama untuk menjamin mesin dapat beroperasi secara optimal dan berkelanjutan.

Pada umumnya, sistem pendinginan mesin konvensional menggunakan fluida berbasis air atau campuran air dengan etilen glikol sebagai media perpindahan panas. Air dipilih karena memiliki kapasitas panas jenis yang tinggi, mudah diperoleh, serta relatif ramah lingkungan. Sementara itu, etilen glikol ditambahkan untuk meningkatkan titik didih, menurunkan titik beku, dan memberikan perlindungan terhadap korosi pada komponen sistem pendingin. Meskipun demikian, fluida pendingin konvensional tersebut masih memiliki keterbatasan, terutama pada nilai konduktivitas termalnya yang relatif rendah. Keterbatasan ini menyebabkan kemampuan fluida dalam mentransfer panas dari mesin ke lingkungan sekitar menjadi kurang optimal, khususnya pada kondisi kerja dengan beban tinggi dan temperatur ekstrem (Pratama et al., 2025).

Seiring dengan perkembangan teknologi mesin yang semakin mengarah pada peningkatan daya, efisiensi bahan bakar, dan desain yang lebih ringkas, tantangan dalam pengelolaan panas menjadi semakin kompleks. Mesin modern cenderung menghasilkan panas yang lebih besar dalam ruang yang lebih sempit, sehingga menuntut sistem pendinginan dengan kinerja yang lebih tinggi. Dalam kondisi tersebut, penggunaan fluida pendingin konvensional sering kali tidak mampu memenuhi kebutuhan perpindahan panas secara optimal. Hal ini mendorong para peneliti dan praktisi teknik untuk mencari alternatif fluida pendingin yang memiliki karakteristik termal lebih unggul tanpa memerlukan perubahan signifikan pada desain sistem pendingin yang sudah ada.

Salah satu inovasi yang mendapat perhatian luas dalam beberapa dekade terakhir adalah pengembangan nanofluida. Nanofluida didefinisikan sebagai suspensi stabil dari partikel padat berukuran nanometer, umumnya antara 1 hingga 100 nm, yang terdispersi secara merata di dalam fluida dasar seperti air, minyak, atau etilen glikol. Kehadiran nanopartikel dalam fluida dasar ini terbukti

mampu meningkatkan sifat termofisika fluida, terutama konduktivitas termal dan karakteristik perpindahan panas konveksi. Dibandingkan dengan fluida konvensional, nanofluida menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menyerap dan mentransfer panas, sehingga sangat potensial untuk diaplikasikan pada sistem pendinginan mesin (Kristiawan et al., 2022).

Pemilihan air sebagai fluida dasar dalam nanofluida memiliki berbagai keunggulan. Air memiliki sifat termal yang baik, biaya yang rendah, serta tidak menimbulkan dampak lingkungan yang signifikan. Dengan menambahkan nanopartikel ke dalam air, diharapkan kelemahan utama air sebagai fluida pendingin, yaitu rendahnya konduktivitas termal, dapat diatasi. Berbagai jenis nanopartikel telah diteliti untuk tujuan ini, di antaranya nanopartikel oksida logam seperti aluminium oksida (Al_2O_3), silikon dioksida (SiO_2), titanium dioksida (TiO_2), serta nanopartikel hybrid yang mengombinasikan lebih dari satu jenis material nano.

Nanopartikel Al_2O_3 merupakan salah satu jenis yang paling banyak diteliti karena memiliki stabilitas kimia yang baik, konduktivitas termal yang relatif tinggi, serta kompatibilitas yang baik dengan fluida berbasis air. Demikian pula, nanopartikel SiO_2 dikenal memiliki stabilitas suspensi yang baik dan relatif aman terhadap komponen sistem pendingin. Penggunaan nanopartikel hybrid, yang mengombinasikan dua atau lebih jenis nanopartikel, juga mulai dikembangkan untuk memperoleh efek sinergis dalam peningkatan perpindahan panas. Studi yang dilakukan oleh Saputra dan Surono (2024) menunjukkan bahwa aliran nanofluida yang mengandung nanopartikel tersebut melalui media perpindahan panas mampu meningkatkan koefisien perpindahan panas secara signifikan dibandingkan dengan penggunaan air murni.

Peningkatan performa perpindahan panas pada nanofluida tidak hanya dipengaruhi oleh jenis nanopartikel, tetapi juga oleh konsentrasi, ukuran partikel, serta kondisi aliran fluida. Secara umum, peningkatan konsentrasi nanopartikel akan meningkatkan konduktivitas termal fluida, sehingga kemampuan perpindahan panas juga meningkat. Namun, peningkatan konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kenaikan viskositas fluida, yang pada akhirnya meningkatkan hambatan aliran dan kebutuhan daya pompa. Oleh karena itu, optimasi nanofluida memerlukan keseimbangan antara peningkatan kinerja termal dan efisiensi hidrolik sistem pendinginan.

Selain aspek kinerja termal, stabilitas suspensi nanopartikel dalam fluida dasar juga menjadi isu penting dalam penerapan nanofluida. Nanopartikel cenderung mengalami aglomerasi dan sedimentasi apabila tidak terdispersi dengan baik, terutama dalam penggunaan jangka panjang. Kondisi ini dapat menurunkan efektivitas perpindahan panas dan berpotensi menyebabkan penyumbatan pada saluran pendingin yang sempit. Oleh karena itu, teknik preparasi nanofluida, penggunaan surfaktan, serta pengendalian parameter operasi menjadi faktor penting yang harus diperhatikan dalam pengembangan sistem pendinginan berbasis nanofluida.

Di sisi lain, penerapan nanofluida dalam sistem pendinginan mesin juga harus mempertimbangkan interaksi fluida dengan material komponen mesin, seperti pipa, radiator, dan pompa. Paparan nanopartikel dalam jangka panjang dikhawatirkan dapat mempengaruhi laju korosi atau erosi pada permukaan material. Meskipun beberapa penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel oksida relatif aman, kajian lebih lanjut tetap diperlukan untuk memastikan keandalan dan keamanan sistem dalam penggunaan jangka panjang, khususnya pada aplikasi industri dan otomotif.

Dalam konteks efisiensi energi dan keberlanjutan, pengembangan sistem pendinginan mesin yang lebih efektif memiliki implikasi yang luas. Sistem pendinginan yang optimal dapat membantu menjaga temperatur mesin pada kondisi ideal, sehingga proses pembakaran berlangsung lebih efisien dan konsumsi bahan bakar dapat ditekan (Sukri et al., 2025). Selain itu, pengendalian temperatur yang baik juga berkontribusi pada penurunan emisi gas buang dan peningkatan umur komponen mesin. Dengan demikian, penggunaan nanofluida berbasis air sebagai media pendingin tidak hanya relevan dari sisi teknis, tetapi juga sejalan dengan upaya global dalam meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa nanofluida berbasis air memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai alternatif fluida pendingin dalam sistem pendinginan mesin. Namun, penerapannya masih memerlukan kajian yang komprehensif terkait karakteristik termal, stabilitas, aspek hidrolik, serta dampak jangka panjang terhadap komponen mesin. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi prinsip kerja nanofluida, metode pemanfaatannya dalam sistem pendinginan mesin, serta dampaknya terhadap peningkatan kinerja dan efisiensi sistem pendingin. Diharapkan hasil kajian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi pendinginan mesin yang lebih efisien, andal, dan berkelanjutan di masa depan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif-deskriptif dengan metode studi literatur yang bertujuan untuk mengkaji secara sistematis konsep, karakteristik, serta kinerja nanofluida berbasis air dalam sistem pendinginan mesin. Metode ini dipilih karena topik penelitian berfokus pada analisis dan sintesis hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan, khususnya dari jurnal nasional di bidang teknik mesin, perpindahan panas, dan rekayasa termal. Melalui pendekatan ini, peneliti dapat memperoleh gambaran komprehensif mengenai perkembangan penelitian nanofluida, parameter yang mempengaruhi performanya, serta tantangan penerapannya dalam sistem pendinginan mesin (Fiantika et al., 2022).

Penelitian ini merupakan penelitian kepustakaan yang bersifat deskriptif-analitis. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menjelaskan konsep dasar sistem pendinginan mesin dan karakteristik nanofluida berbasis air, sedangkan pendekatan analitis digunakan untuk membandingkan hasil-hasil penelitian terdahulu terkait pengaruh jenis nanopartikel, konsentrasi, dan kondisi aliran terhadap kinerja perpindahan panas. Dengan pendekatan ini, penelitian tidak melakukan pengujian eksperimental secara langsung, tetapi menganalisis data dan temuan yang telah dipublikasikan secara ilmiah.

Data penelitian diperoleh dari sumber data sekunder berupa artikel jurnal ilmiah nasional terakreditasi, prosiding seminar nasional, serta buku referensi yang relevan dengan topik nanofluida dan sistem pendinginan mesin. Kriteria pemilihan sumber data meliputi: (1) artikel membahas nanofluida berbasis air sebagai fluida pendingin, (2) penelitian berkaitan dengan perpindahan panas, radiator, atau sistem pendinginan mesin, dan (3) artikel dipublikasikan dalam rentang waktu sepuluh tahun terakhir agar data yang digunakan tetap relevan dan mutakhir.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran database jurnal nasional daring menggunakan kata kunci seperti “nanofluida berbasis air”, “sistem pendinginan mesin”, “perpindahan panas”, dan “radiator”. Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan kesesuaian topik dan kualitas metodologi penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi jenis nanopartikel yang digunakan, konsentrasi nanofluida, metode pengujian atau simulasi, serta hasil kinerja perpindahan panas yang dilaporkan.

Analisis data dilakukan secara kualitatif dengan tahapan reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Pada tahap reduksi data, informasi yang relevan dengan tujuan penelitian dipilih dan dikelompokkan berdasarkan tema tertentu, seperti karakteristik nanofluida, pengaruh konsentrasi nanopartikel, dan kinerja sistem pendinginan mesin. Selanjutnya, data disajikan dalam bentuk uraian naratif yang sistematis untuk memudahkan proses analisis dan perbandingan antar hasil penelitian.

Tahap analisis juga mencakup perbandingan performa nanofluida berbasis air dengan fluida pendingin konvensional, terutama dalam hal peningkatan konduktivitas termal dan koefisien perpindahan panas. Dari hasil perbandingan tersebut, ditarik pola umum dan kecenderungan yang menunjukkan efektivitas penggunaan nanofluida dalam sistem pendinginan mesin. Selain itu, analisis kritis dilakukan untuk mengidentifikasi keterbatasan penelitian terdahulu dan potensi pengembangan riset di masa mendatang.

Dalam penelitian ini, variabel yang dianalisis terdiri atas variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas meliputi jenis nanopartikel (seperti Al_2O_3 , SiO_2 , dan TiO_2), konsentrasi nanopartikel

dalam fluida berbasis air, serta kondisi aliran fluida. Variabel terikat adalah kinerja sistem pendinginan mesin yang diukur melalui parameter perpindahan panas, seperti konduktivitas termal dan koefisien perpindahan panas. Variabel-variabel tersebut dianalisis untuk mengetahui hubungan dan pengaruhnya terhadap efektivitas sistem pendinginan.

Untuk menjamin validitas data, penelitian ini menggunakan teknik triangulasi sumber, yaitu dengan membandingkan hasil dari beberapa penelitian yang berbeda namun memiliki topik dan metode yang serupa. Dengan cara ini, kesimpulan yang diambil tidak hanya bergantung pada satu sumber, melainkan didukung oleh berbagai temuan ilmiah yang konsisten. Selain itu, penggunaan jurnal nasional terakreditasi juga menjadi upaya untuk memastikan bahwa data yang dianalisis berasal dari sumber yang kredibel dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

Melalui metode penelitian ini, diharapkan kajian mengenai optimasi sistem pendinginan mesin menggunakan nanofluida berbasis air dapat memberikan gambaran yang jelas, sistematis, dan ilmiah mengenai potensi, tantangan, serta arah pengembangan teknologi pendinginan mesin di masa depan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Nanofluida Berbasis Air

Nanofluida berbasis air merupakan fluida kerja hasil dispersi nanopartikel berukuran nanometer ke dalam fluida dasar berupa air. Keberadaan nanopartikel ini secara signifikan mengubah sifat termofisika fluida, terutama konduktivitas termal dan karakteristik perpindahan panas konveksi. Air sebagai fluida dasar memiliki keunggulan berupa kapasitas panas jenis yang tinggi, ketersediaan melimpah, serta sifat yang relatif ramah lingkungan. Namun, keterbatasan utama air terletak pada konduktivitas termalnya yang relatif rendah, sehingga kurang optimal dalam aplikasi sistem pendinginan mesin dengan beban panas tinggi. Penambahan nanopartikel ke dalam air bertujuan untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan meningkatkan kemampuan fluida dalam menyerap dan mentransfer panas.

Nanopartikel yang umum digunakan dalam nanofluida berbasis air antara lain titanium dioksida (TiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), dan silikon dioksida (SiO_2). Partikel-partikel ini dipilih karena memiliki stabilitas kimia yang baik, ukuran partikel yang sangat kecil, serta konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan fluida dasar. Penelitian numerik yang dilakukan oleh Kristiawan et al. (2022) menunjukkan bahwa peningkatan fraksi volume nanopartikel TiO_2 dalam air mampu meningkatkan koefisien perpindahan panas hingga lebih dari 14% dibandingkan dengan air murni pada kondisi aliran tertentu. Temuan ini mengindikasikan bahwa semakin besar jumlah nanopartikel yang terdispersi secara merata, semakin besar pula peningkatan kemampuan perpindahan panas yang dihasilkan.

Selain fraksi volume, karakteristik nanofluida juga dipengaruhi oleh ukuran dan distribusi nanopartikel. Nanopartikel berukuran lebih kecil cenderung memiliki luas permukaan yang lebih besar, sehingga interaksi antara partikel dan fluida menjadi lebih intens. Kondisi ini mendorong terjadinya mekanisme perpindahan panas tambahan, seperti peningkatan mikrokonveksi dan pergerakan Brownian, yang berkontribusi pada peningkatan konduktivitas termal fluida. Dengan demikian, sifat termal nanofluida tidak hanya ditentukan oleh jenis material nanopartikel, tetapi juga oleh karakteristik fisik dan distribusinya dalam fluida dasar.

Meskipun peningkatan konsentrasi nanopartikel umumnya berkorelasi positif dengan peningkatan koefisien perpindahan panas, terdapat batasan tertentu yang perlu diperhatikan. Konsentrasi nanopartikel yang terlalu tinggi dapat meningkatkan viskositas fluida secara signifikan, sehingga menyebabkan kenaikan hambatan aliran dan kebutuhan daya pompa yang lebih besar. Oleh karena itu, karakteristik nanofluida berbasis air harus dioptimalkan melalui pemilihan jenis nanopartikel, ukuran partikel, serta konsentrasi yang tepat agar peningkatan kinerja termal tidak diimbangi oleh penurunan efisiensi hidrolik sistem pendinginan mesin.

Efisiensi Sistem Pendingin Mesin dengan Nanofluida

Efisiensi sistem pendingin mesin sangat ditentukan oleh kemampuan fluida pendingin dalam menyerap dan membuang panas dari komponen mesin secara cepat dan merata. Pada sistem pendingin konvensional, air digunakan sebagai fluida kerja utama karena memiliki kapasitas panas jenis yang tinggi. Namun, keterbatasan konduktivitas termal air menyebabkan proses pelepasan panas di dalam radiator atau penukar panas tidak berlangsung secara optimal, terutama pada kondisi operasi mesin dengan beban dan temperatur tinggi. Kondisi ini mendorong pemanfaatan nanofluida sebagai alternatif fluida pendingin yang memiliki performa termal lebih unggul.

Penggunaan nanofluida dalam radiator atau penukar panas terbukti mampu meningkatkan efisiensi perpindahan panas dibandingkan fluida konvensional. Nanofluida bekerja dengan meningkatkan konduktivitas termal fluida serta memperbaiki karakteristik aliran di dalam saluran pendingin. Penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Wicaksono et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan nanofluida Al_2O_3 /air pada pipa radiator mampu meningkatkan koefisien perpindahan panas hingga 5,7% dibandingkan dengan air murni pada konsentrasi nanopartikel tertentu. Peningkatan ini berdampak langsung pada kemampuan sistem pendingin dalam menurunkan temperatur fluida kerja secara lebih efektif.

Efisiensi termal sistem pendingin juga dipengaruhi oleh interaksi antara nanofluida dan permukaan perpindahan panas. Keberadaan nanopartikel dalam fluida dapat meningkatkan turbulensi mikro di dekat dinding pipa atau sirip radiator, sehingga mempercepat proses konveksi panas. Selain itu, peningkatan koefisien perpindahan panas memungkinkan pelepasan energi panas yang lebih besar pada luas permukaan penukar panas yang sama. Dengan demikian, penggunaan nanofluida berpotensi meningkatkan efisiensi pendinginan tanpa memerlukan modifikasi desain radiator secara signifikan.

Dari perspektif kinerja mesin, peningkatan efisiensi sistem pendingin memberikan dampak positif terhadap stabilitas temperatur operasi. Temperatur mesin yang lebih terkendali dapat mencegah terjadinya overheating, menjaga kualitas pelumas, serta mengurangi risiko deformasi termal pada komponen mesin. Selain itu, sistem pendingin yang lebih efisien memungkinkan mesin beroperasi pada kondisi optimal dalam waktu yang lebih lama, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi energi dan umur pakai mesin secara keseluruhan.

Dampak Konsentrasi Nanopartikel pada Performa Termal

Konsentrasi nanopartikel merupakan salah satu parameter paling krusial dalam menentukan performa termal nanofluida pada sistem pendinginan mesin. Variasi konsentrasi nanopartikel secara langsung mempengaruhi sifat termofisika fluida, seperti konduktivitas termal, viskositas, dan karakteristik aliran, yang pada akhirnya berdampak pada efektivitas perpindahan panas. Peningkatan konsentrasi nanopartikel umumnya diikuti oleh peningkatan konduktivitas termal fluida karena jumlah partikel penghantar panas yang terdispersi dalam fluida dasar semakin besar.

Penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Saputra dan Surono (2024) menunjukkan bahwa penggunaan nanofluida SiO_2 /Water pada sistem radiator mampu menghasilkan penurunan temperatur fluida yang lebih signifikan dibandingkan penggunaan air konvensional. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa penambahan nanopartikel SiO_2 dalam konsentrasi tertentu dapat meningkatkan kemampuan fluida dalam menyerap dan melepaskan panas. Peningkatan performa termal ini berkaitan dengan meningkatnya interaksi antara nanopartikel dan fluida dasar, serta bertambahnya luas permukaan efektif yang terlibat dalam proses perpindahan panas.

Namun demikian, peningkatan konsentrasi nanopartikel tidak selalu menghasilkan peningkatan performa yang bersifat linear. Pada konsentrasi yang terlalu tinggi, nanofluida cenderung mengalami peningkatan viskositas yang signifikan. Kenaikan viskositas ini dapat menyebabkan meningkatnya hambatan aliran di dalam saluran pendingin, sehingga membutuhkan daya pompa yang lebih besar untuk mempertahankan laju aliran yang sama. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan efisiensi

keseluruhan sistem pendinginan mesin, meskipun secara termal terjadi peningkatan kemampuan perpindahan panas.

Selain aspek viskositas, konsentrasi nanopartikel yang tinggi juga dapat mempengaruhi stabilitas suspensi nanofluida. Nanopartikel yang tidak terdispersi secara merata berpotensi mengalami aglomerasi dan sedimentasi, terutama pada penggunaan jangka panjang. Aglomerasi partikel dapat mengurangi luas permukaan aktif dan menurunkan efektivitas perpindahan panas, serta berisiko menyebabkan penyumbatan pada saluran pendingin yang sempit. Oleh karena itu, kestabilan nanofluida menjadi faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam penentuan konsentrasi optimal.

Tantangan dan Aplikasi Nyata Nanofluida di Sistem Pendingin Mesin

Meskipun nanofluida berbasis air menunjukkan potensi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi perpindahan panas pada sistem pendinginan mesin, penerapannya secara nyata masih menghadapi berbagai tantangan teknis dan ekonomis. Salah satu tantangan utama adalah kestabilan suspensi nanopartikel dalam fluida dasar. Nanopartikel cenderung mengalami aglomerasi dan sedimentasi seiring waktu, terutama pada kondisi operasi dengan temperatur tinggi dan aliran yang berfluktuasi. Ketidakstabilan ini dapat menurunkan efektivitas perpindahan panas serta berpotensi menyebabkan penyumbatan pada saluran pendingin yang memiliki dimensi kecil. Oleh karena itu, pengembangan metode preparasi nanofluida yang mampu mempertahankan stabilitas jangka panjang menjadi aspek penting dalam implementasi teknologi ini (Pratama et al., 2025).

Selain stabilitas, aspek biaya juga menjadi kendala dalam adopsi nanofluida pada skala industri dan otomotif. Proses produksi nanopartikel membutuhkan teknologi dan material khusus yang relatif mahal, sehingga meningkatkan biaya total fluida pendingin dibandingkan coolant konvensional. Di samping itu, kebutuhan akan peralatan tambahan untuk proses pencampuran dan pemeliharaan kualitas nanofluida juga menambah kompleksitas sistem. Oleh karena itu, analisis kelayakan ekonomi atau cost-benefit analysis menjadi langkah penting sebelum nanofluida dapat diterapkan secara luas dalam sistem pendinginan mesin.

Tantangan lain yang perlu diperhatikan adalah kompatibilitas nanofluida dengan material komponen sistem pendingin, seperti pipa, radiator, pompa, dan seal. Paparan nanopartikel dalam jangka panjang berpotensi mempengaruhi sifat permukaan material, termasuk risiko korosi atau erosi mikro. Meskipun beberapa penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel oksida relatif aman dan tidak bersifat korosif, kajian jangka panjang tetap diperlukan untuk memastikan bahwa penggunaan nanofluida tidak mempercepat degradasi komponen mesin.

Di sisi lain, aplikasi nyata nanofluida dalam sistem pendinginan mesin mulai menunjukkan hasil yang menjanjikan, khususnya pada sistem dengan kebutuhan pendinginan tinggi, seperti mesin kendaraan performa tinggi, generator industri, dan sistem penukar panas kompak. Penggunaan nanofluida memungkinkan peningkatan kinerja pendinginan tanpa harus melakukan perubahan desain besar pada sistem yang sudah ada. Hal ini memberikan keuntungan praktis karena teknologi nanofluida dapat diintegrasikan sebagai pengganti fluida pendingin konvensional dengan modifikasi minimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan nanofluida pada sistem pendingin mesin memiliki potensi yang signifikan dalam meningkatkan performa perpindahan panas dibandingkan dengan fluida konvensional seperti air. Penambahan nanopartikel ke dalam fluida dasar terbukti mampu meningkatkan konduktivitas termal, sehingga efisiensi pendinginan mesin menjadi lebih optimal dan temperatur kerja dapat diturunkan secara lebih efektif.

Selain itu, variasi jenis dan konsentrasi nanopartikel memainkan peran penting dalam menentukan kinerja termal sistem pendingin. Konsentrasi nanopartikel yang tepat dapat meningkatkan

koefisien perpindahan panas secara signifikan, namun peningkatan konsentrasi yang berlebihan berpotensi menimbulkan permasalahan seperti kenaikan viskositas fluida, penurunan kestabilan suspensi, serta peningkatan hambatan aliran. Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara peningkatan performa termal dan karakteristik aliran fluida agar sistem pendingin tetap bekerja secara efisien dan aman.

Di sisi lain, penerapan nanofluida dalam sistem pendingin mesin masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain kestabilan jangka panjang nanopartikel, biaya produksi yang relatif tinggi, serta isu kompatibilitas dengan material komponen mesin. Tantangan tersebut menunjukkan bahwa meskipun nanofluida memiliki prospek yang menjanjikan, implementasinya dalam skala industri masih memerlukan penelitian lanjutan, khususnya terkait dampak jangka panjang terhadap keandalan mesin dan analisis biaya-manfaat.

Dengan demikian, nanofluida dapat dipandang sebagai solusi inovatif yang potensial untuk meningkatkan efisiensi sistem pendingin mesin di masa depan. Namun, pengembangan lebih lanjut melalui penelitian eksperimental, pengujian jangka panjang, dan kajian teknis-ekonomis sangat diperlukan agar teknologi ini dapat diaplikasikan secara luas dan berkelanjutan dalam dunia industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. (2023). *Efek Zat additive Nanopartikel Al₂O₃ pada Bahan Bakar Biodiesel B30 Terhadap Opasitas Emisi Gas Buang dan Performa Mesin Diesel= Effects of Additive Al₂O₃ Nanoparticles in B30 Biodiesel Fuel on Exhaust Emission Opacity and Diesel Engine Performance* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Anggono, I. A. D. (2024). Optimasi Aliran Nanofluida dalam Microchannel untuk Aplikasi Pendinginan Baterai yang Efisien.
- Fiantika, F. R., Wasil, M., Jumiyati, S. R. I., Honesti, L., Wahyuni, S. R. I., Mouw, E., ... & Ambarwati, K. (2022). Metodologi penelitian kualitatif. *Padang: PT. Global Eksekutif Teknologi*.
- Kristiawan, B., Wijayanta, A. T., Juwana, W. E., & Wulandari, S. (2022). Analisa numerik peningkatan transfer kalor aliran turbulen fluida nano TiO₂/air pada circular minichannel. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 217-229.
- Nazar, R. (2016). Karakteristik Perpindahan Panas Konveksi Alamiah Aliran Nanofluida Al₂O₃-Air Di Dalam Pipa Anulus Vertikal. *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega*, 18(1), 21-28.
- Nurhidayati, P., Syarif, D. G., & Aliah, H. (2018). Pengaruh Konsentrasi Polietilen Glikol (Peg) Terhadap Karakteristik Nano Fluida Air-Alumina. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 17(2), 77.
- Pratama, A., Al Aziz, S. H., & Akbar, M. R. (2025). Analisis Termal Sistem Pendingin Mesin untuk Optimalisasi Kinerja dan Efisiensi Energi. *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10(2).
- Saputra, E., & Surono, A. (2024). Peningkatan Perpindahan Panas pada Pipa Radiator menggunakan SiO₂/Water Nanofluida. *Creative Research in Engineering (CERIE)*, 4(2).
- Sukri, S., Syamsuddin, U., Musthofa, I., Artika, K. D., & Merpatih, M. (2025). Pengaruh Temperatur Water Coolant Dan Air Biasa Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Mesin Bensin Daihatsu Taruna Efi 1.6. *Elemen: Jurnal Teknik Mesin*, 12(1), 60-67.
- Wicaksono, Y. A., Sudarno, S., & Akhmad, N. S. (2020). Simulasi CFD Pengaruh Konsentrasi Nanofluida Al₂O₃/Air Terhadap Performa Perpindahan Panas Pipa Radiator. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 13(2), 54-58.