

IMPLEMENTASI NANOFLUID SILIKA-ETYLENA GLYCOOL ($\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$) PADA SYSTEM PENDINGIN MESIN MOBIL

Arif Surono^{1*}, Onery Andy Saputra¹, Ataula Zalifuna Ramadhan¹

¹D4 Teknologi Rekayasa Otomotif, Politeknik Indonusa Surakarta

*arifsurono@poltekindonusa.ac.id, onery@poltekindonusa.ac.id,

*Email: a22012@poltekindonusa.ac.id

Abstrak

Perkembangan nanoteknologi telah banyak dikembangkan untuk meningkatkan system pendingin radiator kendaraan. Eksperimen nanofluida dari air, $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ hasilnya dibandingkan dengan 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 dengan nano silika $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$. Penelitian diawali melalui pengujian bahan silika secara morfologi menggunakan SEM untuk mengetahui struktur mikro. Selanjutnya mencampur nano partikel silika $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ 0,5 gram dengan air, di proses menggunakan magnetic stirer selama 8 jam dan di endapkan selama 24 jam. Setelah terpisah dengan endapan, nanofluida tersebut di uji kinerja menggunakan rangkaian alat uji yang terdiri dari radiator, flowmeter, pompa air, instalasi pipa, heater dan tangki reservoir. Pengambilan data dilakukan pada suhu masuk dan keluar untuk mengetahui penurunan suhu. Variasi kecepatan aliran fluida sebesar 1.8, 3, dan 6 LPM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan suhu terbaik antara media air murni dan penambahan nano partikel $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ dengan variasi laju aliran fluida yaitu pada media penambahan nano partikel $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ dengan rata – rata penurunan suhu sebesar 0,292 °C. Sedangkan untuk media air murni rata – rata penurunan suhu sebesar 0.208 °C. Dari hasil pengujian yang dilakukan penambahan nano partikel $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ mampu membuang panas ke lingkungan lebih baik di bandingkan dengan air murni.

Kata kunci: Nanofluids, SiO_2 , $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$, perpindahan panas, radiator

PENDAHULUAN

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi performa nanofluida dalam aplikasi pendinginan. Beberapa studi sebelumnya melaporkan bahwa penambahan partikel nano ke dalam fluida dasar mampu meningkatkan konduktivitas termal dan efisiensi perpindahan panas. Penelitian ini relevan karena menunjukkan performa nanofluida dalam aplikasi pendinginan (Said et al., 2019)(Peyghambarzadeh et al., 2011).

Penelitian oleh (Tang et al., 2017) menunjukkan bahwa nanofluida berbasis oksida logam seperti SiO_2 memiliki konduktivitas termal yang tinggi dibandingkan dengan fluida konvensional. Penelitian ini relevan karena menunjukkan potensi SiO_2 sebagai bahan dasar untuk meningkatkan efisiensi pendinginan. Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk mereduksi panas pada mesin adalah dengan meningkatkan performa kinerja radiator perpindahan panas melalui radiator dapat ditingkatkan dengan memaksimalkan panas luas perpindahan dan meningkatkan koefisien perpindahan panas (Li

et al., 2021)(Makau Kimulu et al., 2018). Metode yang banyak diteliti beberapa tahun terakhir adalah menambahkan partikel padat dalam ukuran nanometer kedalam cairan pendingin radiator (Elsaid, 2019)(Alazwari & Safaei, 2021). Penggunaan nanofluida memiliki potensi untuk meningkatkan pendinginan mesin hal ini dikarenakan keberadaan partikel nano pada cairan menciptakan penyerapan energi yang lebih baik daripada air murni(Koçak Soylu et al., 2019)(Kumar Rai et al., 2020). Silikon dioksida (SiO_2) adalah salah satu bahan yang menjanjikan untuk meningkatkan perpindahan panas karena stabilitas fisik dan kimia yang sangat baik(Tang et al., 2017), harga partikel nano SiO_2 cukup murah dan tersedia dipasaran (Senthilkumar et al., 2020).

Penelitian yang telah dilakukan (Devireddy et al., 2016) penggunaan nanofluida dari konsentrasi volume 0,1%, 0,3% dan 0,5% nano SiO_2 yang diambil untuk melakukan eksperimen. Ukuran partikel nano digunakan untuk pengujian sekitar 50-100 nm. Cairan inlet suhu dan kecepatan yang bervariasi untuk mentransfer panas menggunakan air berbasis

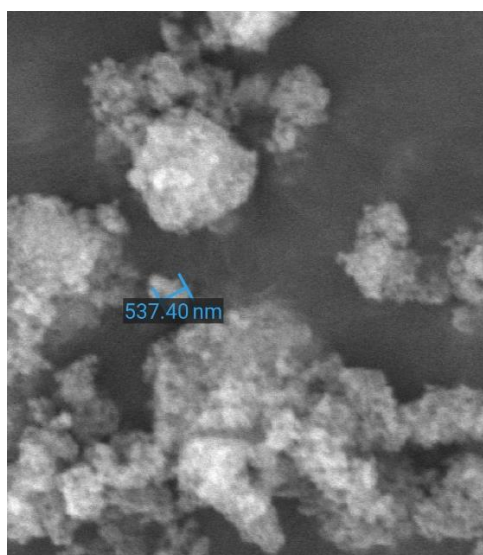
cairan nano silika (SiO₂). Dari hasil beberapa penelitian jelas bahwa Nanofluid bisa meningkatkan kecepatan transfer panas dibandingkan dengan air murni. Sebagai perbandingan juga dilakukan antara dua Nanofluids Al₂O₃ & CuO. CuO menunjukkan sedikit peningkatan kecepatan transfer panas dibandingkan Al₂O₃. Selain itu, penulis telah mengevaluasi unjuk kerja radiator dengan berbagai metode pendinginan untuk mengetahui efektivitasnya.

Penelitian ini ditargetkan mampu meningkatkan perpindahan panas nanopartikel SiO₂ dan C₂H₆O₂ pada tingkat konsentrasi volume nanofluida yang berbeda dengan laju aliran yang berbeda. Selain itu manfaat baru dari riset ini adalah terciptanya sebuah produk unggulan bahan cairan pendingin radiator yang efektif dan efisien serta ramah lingkungan.

METODE

a. Persiapan bahan nanofluida SiO₂

Nanofluida pada penelitian ini disiapkan dengan menggunakan nanopartikel SiO₂-C₂H₆O₂ dengan perbandingan 0,5%) dicampur dengan air. Nanopartikel SiO₂ diperoleh dari nano center Serpong Indonesia dengan diameter partikel rata-rata 20 nm. Morfologi permukaan partikel dan struktur mikro dipelajari dengan Scanning Electron Mikroskop (SEM) yang disajikan pada gambar.1



Gambar 1. SEM morphology of SiO₂.

Jumlah nanopartikel yang dibutuhkan bisa diketahui dengan persentase konsentrasi volumetrik pada persamaan (1) dan juga

berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh (Abbasion Arani & Amani, 2012).

$$\text{Volume concentration, } \varphi = \left[\frac{\frac{W_{\text{Particle}}}{\rho_{\text{Particle}}}}{\frac{W_{\text{Particle}}}{\rho_{\text{Particle}}} + \frac{W_{\text{Fluid}}}{\rho_{\text{Fluid}}}} \right] \times 100 \quad (1)$$

Nomenclature yang digunakan dalam penelitian ini mencakup berbagai simbol dan satuan yang berkaitan dengan parameter fisik dan termal. Simbol *A* merepresentasikan luas area dalam satuan meter persegi (m²), sedangkan *C_p* adalah panas jenis dengan satuan joule per kilogram kelvin (J/kg·K). *D_h* menunjukkan diameter hidrolis dalam meter (m), yang dihitung sebagai (4*A*/*P*), di mana *P* adalah keliling tabung dalam meter (m). Faktor gesekan dilambangkan dengan *f*, sementara *h* mengacu pada koefisien perpindahan panas dalam satuan watt per meter persegi kelvin (W/m²·K). Konduktivitas termal diberi simbol *k* dengan satuan watt per meter kelvin (W/m·K), dan laju aliran massa dinyatakan sebagai *m* dalam kilogram per detik (kg/s). Bilangan Nusselt, *Nu*, didefinisikan sebagai (*h* × *D*)/*k* dan menggambarkan rasio perpindahan panas konvektif terhadap konduktif. Faktor bentuk empiris dilambangkan dengan *n*. Selain itu, bilangan Prandtl, *Pr*, didefinisikan sebagai *μ* × *C_p*/*k*, di mana *μ* adalah viskositas dalam kilogram per meter detik (kg/m·s).

Terakhir, laju perpindahan panas dilambangkan dengan *Q* dalam satuan watt (W). Reynolds number, dilambangkan dengan *Re*, digunakan untuk menggambarkan karakteristik aliran fluida. Simbol *S* merepresentasikan luas penampang tabung dalam meter persegi (m²), sedangkan *T* menunjukkan suhu dalam kelvin (K). Simbol *ρ* digunakan untuk menunjukkan densitas dengan satuan kilogram per meter kubik (kg/m³). Viskositas dilambangkan dengan *μ* dan diukur dalam kilogram per meter detik (kg/m·s). Simbol *φ* merepresentasikan fraksi volume, yang digunakan untuk menunjukkan proporsi komponen dalam campuran. Beberapa subskrip digunakan untuk membedakan kondisi dan jenis parameter yang diukur. Subskrip *b* merujuk pada kondisi bulk, sedangkan *exp.* menunjukkan data hasil eksperimen. Subskrip *nf* digunakan untuk nanofluida, *out* menunjukkan keluaran, *p* merujuk pada partikel, dan *w* mengacu pada dinding (wall).

Sampel nanofluida disiapkan dengan menimbang 100 g air dan dicampur dengan

partikel nano $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$. Proses pembuatannya dimasukkan ke dalam alat pencampur ultrasonifikator secara terus menerus selama 8 jam untuk mencapai homogenitas. Nanofluida disiapkan dengan mendispersikan nanopartikel di cairan dasar yaitu air sumur. Ikatan thermo-fisika nanofluida diperkirakan berdasarkan campuran padat-cair. Tabel 1 menyajikan sifat termo-fisik SiO_2 , cairan dasar (campuran air SiO_2) dan udara pada 30° Persamaan C. Pak dan Cho (Bock Choon Pak, 2013) digunakan untuk estimasi densitas, viskositas, panas spesifik dan konduktivitas termal untuk persamaan disajikan pada rumus (2).

$$\begin{aligned}\rho_{nf} &= \phi\rho_p + (1-\phi)\rho_{bf} \\ C_{pnf} &= (1-\phi)\left(\frac{\rho_{bf}}{\rho_{nf}}\right)C_{pbf} + \phi\left(\frac{\rho_p}{\rho_{nf}}\right)C_{pp} \\ k_{nf} &= \frac{k_p + (n-1)k_{bf} - \phi(n-1)(k_{bf} - k_p)}{k_p + (n-1)k_{bf} + \phi(n-1)(k_{bf} - k_p)} \\ \mu_{nf} &= \mu_{bf}(1 + 2.5\phi)\end{aligned}\quad (2)$$

b. Prosedur eksperimen

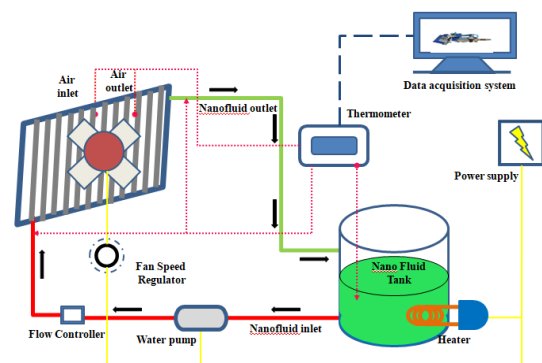
Alat uji eksperimental dipersiapkan dengan merangkai alat uji system pendingin kendaraan kecil yang komponennya terdiri dari tangki cadangan pendingin, pemanas elektrik, pompa air tahan panas, radiator, dan kipas udara. Peralatan pendukung lainnya yaitu satu set termokopel, anemometer, dan indikator suhu untuk mencatat suhu dan laju aliran fluida. Skema tampilan alat uji yang digunakan disajikan pada Gambar 2.

Tabel 1. Sifat-sifat fluida dasar dan nanopartikel SiO_2 (Senthilkumar et al., 2020).

Property	Water	SiO_2	Nano Fluid
Viscosity	100%	0.1%	0.15%
	0.889cst	0.504	0.546 cst
Thermal	0.608	0.5	0.622
Conductivity	w/m K	w/m K	w/m K
Density	1 g/cc	1.08	1.084
		g/cc	g/cc
Specific	4.185	5.56	6.50 J/gC
heat of	J/gC	J/gC	
fluid (C_p)			

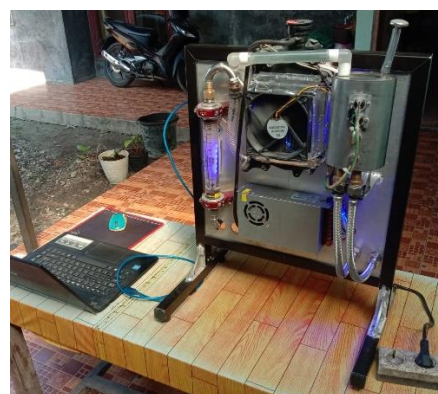
Untuk tampilan depan dan tampak belakang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4. Pendingin dalam tangki dipanaskan hingga suhu

yang diinginkan dan pompa dihidupkan agar cairan pendingin mengalir melalui radiator yang berbahan aluminium, Konsentrasi Nanofluida sebesar 0.5 gram $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ dan 100 gram air. Kecepatan cairan di atur melalui katup pengatur dan bisa amati melalui skala yang berada di anemometer, Laju Aliran Fluida (1.8, 3, dan 6 Lpm): Variasi ini dirancang untuk meniru kondisi operasi sistem pendingin mobil pada kecepatan rendah hingga tinggi. Laju aliran yang lebih tinggi diharapkan meningkatkan perpindahan panas akibat turbulensi yang lebih besar. selanjutnya kipas dihidupkan untuk menyerap panas dari cairan yang dibuang ke lingkungan. Suhu diukur pada saluran masuk dan keluar radiator serta dinding radiator.



Gambar 2. Skema alat uji prestasi sistem pendingin

Berikut adalah alat uji ekperimental terlihat pada gambar 3 dan 4



Gambar 3. Tampak depan alat uji sistem pendingin



Gambar 4. Tampak belakang alat uji system pendingin

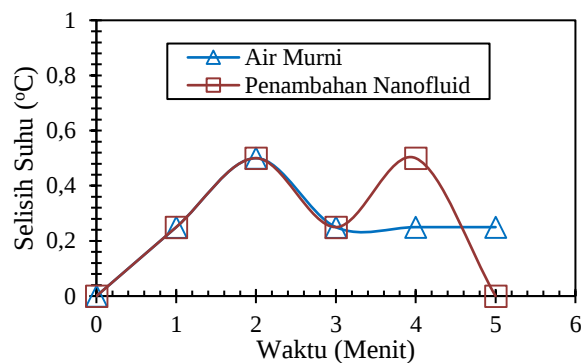
HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Pengujian dengan Laju aliran fluida 1.8 LPM

Grafik pada gambar 5 menunjukkan perbandingan selisih suhu ($^{\circ}\text{C}$) antara pendinginan menggunakan air murni dan penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ nilai diambil dari pengurangan suhu fluida masuk dan fluida keluar pada saat pendinginan terhadap waktu (menit) dengan laju aliran fluida 1.8 LPM. Pada analisa selisih suhu air murni memiliki selisih suhu tertinggi yaitu 0.5°C terjadi pada menit ke 2, sedangkan untuk penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ juga mempunyai nilai selisih tertinggi yakni 0.5°C terjadi pada menit ke 2 dan ke 4. Dilihat dari rata-rata penurunan suhu kedua media mempunyai nilai rata-rata yang sama yaitu sebesar 0.25°C .

Meskipun rata-rata penurunan suhu terlihat sama, penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ memiliki performa yang lebih variatif dengan puncak yang lebih baik pada menit ke-4. Ditinjau dari efektivitas pendinginan pada menit ke-2, kedua metode memiliki efektivitas yang sama (0.5°C). Namun, pada menit ke-4, penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ lebih unggul dengan nilai 0.5°C , sedangkan air murni tetap di 0.25°C .

Dapat di simpulkan pada laju aliran fluida 1.8 LPM dengan media pendinginan air murni dan media pendinginan penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ yang mana Penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ menunjukkan performa pendinginan yang lebih baik dalam beberapa titik waktu dibandingkan dengan air murni, penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ memiliki variasi yang lebih besar, yang menunjukkan potensi lebih baik dalam mengatasi fluktuasi suhu.



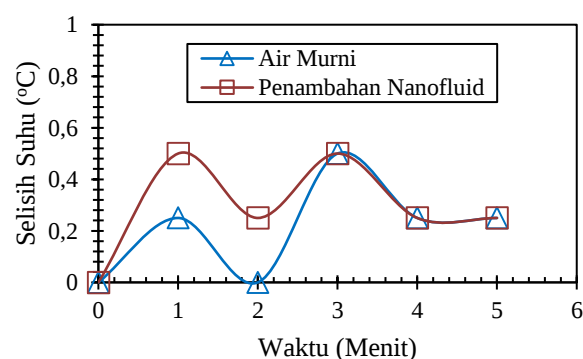
Gambar 5. Grafik Selisih Suhu Terhadap Waktu Dengan Laju Aliran Fluida 1.8 LPM

b. Pengujian dengan Laju aliran fluida 3 LPM

Gambar 6 merupakan grafik perbandingan selisih suhu ($^{\circ}\text{C}$) antara pendinginan menggunakan air murni dan penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ nilai diambil dari pengurangan suhu fluida masuk dan fluida keluar pada saat pendinginan terhadap waktu (menit) dengan laju aliran fluida 3 LPM.

Pada analisa selisih suhu air murni memiliki selisih suhu tertinggi yaitu 0.5°C terjadi pada menit ke 3, sedangkan untuk penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ juga mempunyai nilai selisih tertinggi yakni 0.5°C terjadi pada menit ke 1 dan ke 3. Dilihat dari rata-rata penurunan suhu kedua media mempunyai nilai rata-rata yang berbeda yaitu untuk media air murni 0.208°C sedangkan.

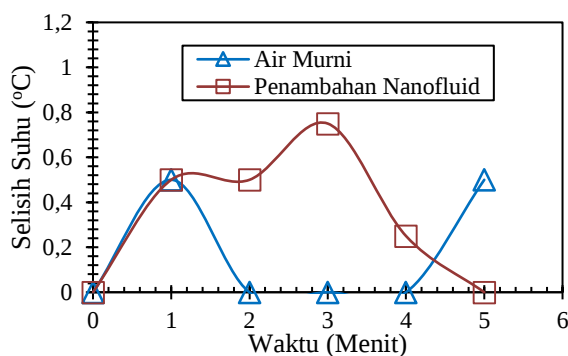
Penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ mempunyai nilai rata-rata penurunan suhu 0.292°C . Secara keseluruhan, penurunan rata-rata penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ menunjukkan penurunan suhu yang lebih baik, yang berarti penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ memberikan hasil yang lebih efektif dibandingkan dengan air murni pada laju aliran fluida 3 LPM



Gambar 6. Grafik Selisih Suhu Terhadap Waktu Dengan Laju Aliran Fluida 3 LPM

c. Pengujian dengan Laju aliran fluida 3 LPM

Grafik 7 menunjukkan perbandingan selisih suhu ($^{\circ}\text{C}$) antara pendinginan menggunakan air murni dan penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ nilai diambil dari pengurangan suhu fluida masuk dan fluida keluar pada saat pendinginan terhadap waktu (menit) dengan laju aliran fluida 6 lpm. Pada analisa selisih suhu air murni memiliki selisih suhu tertinggi yaitu 0.5°C terjadi pada menit ke 1 dan ke 5, sedangkan untuk penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ mempunyai nilai selisih tertinggi yakni 0.75°C terjadi pada menit ke 3. Dilihat dari rata-rata penurunan suhu kedua media mempunyai nilai rata-rata yang berbeda yaitu untuk media air murni 0.167°C sedangkan. Penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ mempunyai nilai rata-rata penurunan suhu 0.333°C , hal ini menunjukkan bahwa penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ mempunyai performa pendinginan yang lebih baik dalam beberapa titik waktu dibandingkan dengan air murni dengan laju aliran fluida 6 LPM.



Gambar 7. Grafik Selisih Suhu Terhadap Waktu Dengan Laju Aliran Fluida 6 LPM

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ pada fluida dasar meningkatkan konduktivitas termal dan densitas fluida, yang pada gilirannya memperbaiki efisiensi perpindahan panas pada radiator. Hal ini sesuai temuan sebelumnya bahwa nanofluida dapat meningkatkan efisiensi alat penukar panas melalui peningkatan sifat fisiknya. Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa laju aliran nanofluida yang optimal dapat meningkatkan efektivitas penukar panas dalam aplikasi industri. Analisis terhadap laju aliran menunjukkan bahwa aliran dengan

kecepatan 6 LPM memberikan koefisien perpindahan panas terbaik pada media penambahan nanofluida $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ yang dapat menjadi acuan bagi penelitian lebih lanjut dalam merancang sistem pendingin dengan nanofluida untuk berbagai aplikasi teknis. Dengan mengimplementasikan nanopartikel dalam sistem pendinginan, peralatan termal dapat berfungsi lebih baik pada berbagai kondisi operasional. Pemahaman tentang pengaruh laju aliran terhadap perpindahan panas juga dapat membantu dalam mendesain sistem yang lebih hemat energi dan lebih kecil volumenya.

Murti (2012) menyatakan bahwa suhu radiator akan meningkat seiring waktu dan mencapai suhu puncak sebelum menurun, yang konsisten dengan temuan penelitian ini. Namun, penelitian ini mengembangkan analisis dengan menambahkan variasi kecepatan aliran dan konsentrasi nanofluida yang lebih detail, menunjukkan hubungan yang lebih mendalam antara kecepatan aliran, suhu, dan efektivitas radiator. (Heris et al., 2006) mengamati peningkatan konduktivitas termal pada nanofluida yang juga ditemukan dalam penelitian ini. Namun, penelitian ini memberikan inovasi dengan mengukur koefisien perpindahan panas pada berbagai laju aliran (1.8, 3 dan 6 LPM) dan mengidentifikasi laju aliran optimal untuk meningkatkan efektivitas sistem pendinginan. Penelitian ini lebih rinci dalam menggambarkan hubungan antara laju aliran dan efektivitas perpindahan panas dalam sistem penukar panas.

PENUTUP

Kesimpulan

Pengujian nanofluida berbahan dasar air dengan $\text{SiO}_2\text{-C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ menunjukkan peningkatan signifikan dalam perpindahan panas pada radiator kendaraan. Konsentrasi nanopartikel 0.5 gram dan variasi laju aliran fluida yang berbeda (1.8, 3, dan 6 lpm) mempengaruhi efisiensi penyerapan kalor. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel meningkatkan koefisien perpindahan panas dibandingkan media air murni. Efek ini disebabkan oleh kenaikan konduktivitas termal meskipun terjadi sedikit peningkatan viskositas. Variasi suhu fluida masuk memiliki pengaruh kecil, sedangkan laju aliran yang lebih tinggi memperbesar perpindahan panas. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami

mekanisme perpindahan panas nanofluida secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasian Arani, A. A., & Amani, J. (2012). Experimental study on the effect of TiO₂-water nanofluid on heat transfer and pressure drop. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 42, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2012.04.017>
- Alazwari, M. A., & Safaei, M. R. (2021). Non-isothermal hydrodynamic characteristics of a nanofluid in a fin-attached rotating tube bundle. *Mathematics*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/math9101153>
- Bock Choon Pak, Y. I. C. (2013). Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids With Submicron Metallic Oxide. *Experimental Heat Transfer : A Journal of , Thermal Energy Transport , Storage , and Conversion, January 2013*, 37–41.
- Devireddy, S., Mekala, C. S. R., & Veeredhi, V. R. (2016). Improving the cooling performance of automobile radiator with ethylene glycol water based TiO₂ nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 78(November 2017), 121–126. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.09.002>
- Elsaid, A. M. (2019). Experimental study on the heat transfer performance and friction factor characteristics of Co₃O₄ and Al₂O₃ based H₂O/(CH₂OH)₂ nanofluids in a vehicle engine radiator. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 108, 104263. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2019.05.009>
- Heris, S. Z., Etemad, S. G., & Esfahany, M. N. (2006). Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33(4), 529–535. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2006.01.005>
- Jung, J. Y., Oh, H. S., & Kwak, H. Y. (2006). Forced convective heat transfer of nanofluids in microchannels. *American Society of Mechanical Engineers, Heat Transfer Division, (Publication) HTD*, 1–6. <https://doi.org/10.1115/IMECE2006-13851>
- Koçak Soylu, S., Atmaca, İ., Asiltürk, M., & Doğan, A. (2019). Improving heat transfer performance of an automobile radiator using Cu and Ag doped TiO₂ based nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113743>
- Kumar Rai, P., Kumar, A., & Yadav, A. (2020). Experimental Investigation of Heat Transfer Augmentation in Automobile Radiators using Magnesium Oxide/Distilled Water-Ethylene Glycol based Nanofluid. *Materials Today: Proceedings*, 24, 1525–1532. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.472>
- Li, X., Wang, H., & Luo, B. (2021). The thermophysical properties and enhanced heat transfer performance of SiC-MWCNTs hybrid nanofluids for car radiator system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 612, 125968. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125968>
- Makau Kimulu, A., Nduku Mutuku, W., & Muthama Mutua, N. (2018). Car Antifreeze and Coolant: Comparing Water and Ethylene Glycol as Nano Fluid Base Fluid. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 4(6), 17–37. <https://doi.org/10.31695/ijasre.2018.32748>
- Murti, M. R. (2012). Laju Pembuangan Panas Pada Radiator Dengan Fluida Campuran 80% Air Dan 20% Rc Pada Rpm Konstan. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 3(1).
- Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., Hoseini, S. M., & Seifi Jamnani, M. (2011). Experimental study of heat transfer enhancement using water/ethylene glycol based nanofluids as a new coolant for car radiators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(9), 1283–1290. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.07.001>
- Said, Z., El Haj Assad, M., Hachicha, A. A., Bellos, E., Abdelkareem, M. A., Alazaizeh, D. Z., & Yousef, B. A. A. (2019). Enhancing the performance of automotive radiators using nanofluids. *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews*, 112(May), 183–194.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.052>
- Senthilkumar, G., Pavan Kumar, P., & Sai Gowtham, R. (2020). Performance of radiator by using SiO₂ nano fluids. *International Journal of Ambient Energy*, 41(9), 1038–1040.
<https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1501746>
- Tang, C., Li, X., Yin, F., & Hao, J. (2017). The performance improvement of aramid insulation paper by nano-SiO₂ modification. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24(4), 2400–2409.
<https://doi.org/10.1109/TDEI.2017.006560>