

STUDI EKSPERIMENTAL PERPINDAHAN PANAS DAN PENURUNAN TEKANAN DARI HIBRIDA NANOFLUIDA DI PENDINGIN RADIATOR MOBIL

Ery Diniardi¹, Hasan Basri², Anwar Ilmar Ramadhan^{3,*}, Deni Almanda⁴, Alvika Meta Sari⁵

^{1,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, Indonesia

²Jurusan Teknik Otomotif dan Alat Berat, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, Indonesia

⁴Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, Indonesia

⁵Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, Indonesia

*Email: anwar.ilmar@umj.ac.id

Diterima: 30 Mei 2022

Direvisi: 20 Juni 2022

Disetujui: 22 Juli 2022

ABSTRAK

Penggunaan cairan pendingin nanopartikel di radiator mobil meningkatkan laju perpindahan panas dan memungkinkan ukuran radiator keseluruhan yang lebih kecil. Karakteristik perpindahan nanofluida hibrida dengan variasi komposisi nanopartikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (40:60, 60:40, 80:20) berbasis air/EG untuk konsentrasi volume 1.0%, diselidiki secara eksperimental. Dengan mendispersikan nanofluida hibrida dalam campuran air/etilena glikol (60:40), variasi komposisi nanopartikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (40:60, 60:40, 80:20) untuk konsentrasi volume 1.0%. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan laju aliran cairan pendingin antara 2-12 LPM untuk suhu kerja fluida 70 °C, sedangkan kecepatan aliran udara tetap konstan pada rata-rata 4 m/s, untuk memahami pengaruh aliran cairan pendingin kecepatan pada perpindahan panas. Kinerja termal nanofluida hibrida dalam campuran air/EG (60:40) diselidiki untuk variasi komposisi nanopartikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (40:60, 60:40, 80:20) untuk konsentrasi volume 1.0% dan suhu kerja 70 °C. Koefisien perpindahan panas diperoleh sebesar 32,1% peningkatan maksimum terjadi pada nanofluida $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan komposisi (40:60), sedangkan peningkatan 29,2% terjadi pada hibrida nanofluida (60:40), untuk hibrida nanofluida (80:20) mengalami kenaikan sebesar 31,1%.

Kata kunci: Hibrida nanofluida, komposit, nanopartikel, perpindahan panas

ABSTRACT

The use of nanoparticle coolants in car radiators increases the rate of heat transfer and allows for a smaller overall radiator size. The transfer characteristics of hybrid nanofluids with various compositions of $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ (40:60, 60:40, 80:20) based water/EG nanoparticles for a volume concentration of 1.0% were investigated experimentally. By dispersing the hybrid nanofluids in a mixture of water/ethylene glycol (60:40), the composition of the $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ nanoparticles (40:60, 60:40, 80:20) was varied for a volume concentration of 1.0%. Experiments were carried out using a coolant flow rate between 2-12 LPM for a working fluid temperature of 70 °C, while the air flow velocity remained constant at an average of 4 m/s, to understand the effect of coolant flow velocity on heat transfer. The thermal performance of hybrid nanofluids in a water/EG mixture (60:40) was investigated for variations in the composition of $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ nanoparticles (40:60, 60:40, 80:20) for a volume concentration of 1.0% and a working temperature of 70 °C. The heat transfer coefficient obtained is 32.1%, the maximum increase occurs in the $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ nanofluid with the composition

(40:60), while the 29.2% increase occurs in the nanofluid hybrid (60:40), for the nanofluid hybrid (80:20) it is an increase of 31.1%.

Keywords: Hybrid nanofluids, composites, nanoparticles, heat transfer.

PENDAHULUAN

Di sebagian besar program teknik, pendingin konvensional banyak digunakan untuk menguras panas. Pendingin biasa datang dalam berbagai keadaan, terutama padat, cair, dan gas, tergantung sepenuhnya pada aplikasi dan kemungkinan mode perpindahan panas. Namun, seiring kemajuan teknologi, kecanggihan pendingin baru, terutama pendingin nano (pendingin dengan nanopartikel terdispersi), menemukan aplikasi dalam berbagai aplikasi teknik [1-7].

Aplikasi nanofluid baru menggunakannya sebagai pengganti pendinginan konvensional pada radiator mobil, komponen penting dari mesin mobil. Radiator berfungsi sebagai penukar panas untuk pendinginan mesin mobil konvensional dengan menggunakan air sebagai media pertukarannya. Kinerja termal mesin kendaraan di bawah pengaruh nanofluid telah dipelajari oleh banyak peneliti, dan aplikasi utama nanofluid adalah sebagai pendingin dan pelumas pada radiator mobil dalam upaya meningkatkan efisiensi penghilangan panas [8-10]. Hasil menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas dapat ditingkatkan lebih dari 50% dibandingkan dengan pendinginan konvensional tetapi dibatasi oleh penurunan tekanan fluida. Namun, para ahli dapat menyimpulkan bahwa kinerja optimal dapat dicapai pada fraksi volume partikel nano rendah kurang dari 1% ($u < 1\%$) [11].

Heris dkk. [12] dan Peyghambarzadeh et al. [13] telah secara eksperimental menyelidiki kinerja oksida logam dengan EG-air sebagai pendingin di radiator kendaraan. Mereka menemukan bahwa peningkatan perpindahan panas berubah menjadi pertumbuhan yang diamati selama kinerja keseluruhan cairan dasar. Demikian pula dengan Naraki et al. [14] menggunakan nanofluida CuO/air dalam radiator mobil. Di bawah kondisi aliran laminar mereka menyelidiki kinerja nanofluida dengan konsentrasi 0,15-0,4%. Koefisien perpindahan panas keseluruhan dengan perubahan nanofluida ditentukan 6-8% lebih banyak daripada air.

Leong dkk. [15] mempelajari kinerja keseluruhan etilen glikol terutama tembaga berbasis nanofluida sebagai pendingin di radiator kendaraan. Mereka mencatat bahwa dengan menambahkan 2% partikel tembaga di EG 3,8% peningkatan perpindahan panas dapat diperoleh dari etilena glikol di bawah situasi aliran turbulen pendinginan. Ibrahim dkk. [16] melakukan studi perpindahan panas eksperimental di radiator mobil dengan air nanofluida SiO₂. Mereka menemukan bahwa rentang Nusselt akan meningkat ketika suhu saluran masuk didinginkan, Reynolds dan fraksi volume meningkat.

Mengenai bentuk dan pengukuran model tabung, Park dan Pak [17] mempresentasikan studi komputasi aliran laminar dalam tabung datar dengan berbagai bentuk dan ukuran menggunakan campuran etilen glikol dan air. Mereka menerapkan perhitungan mereka dalam variasi rentang Reynolds dari 10 hingga 200, yang mencakup aliran fluida pada laju aliran di radiator dari 18 hingga 75 l/menit untuk mesin dengan transfer volume 1800 cc. Vajja dkk. [18] melakukan studi numerik untuk menguji kinerja termal nanopartikel Al₂O₃ dan CuO dalam campuran etilena glikol dan air di bawah kondisi aliran laminar menggunakan radiator tabung datar mobil. Hasilnya menunjukkan peningkatan besar-besaran dari koefisien perpindahan panas konveksi di samping tabung datar untuk nanofluida di atas fluida dasar. Koefisien perpindahan panas nanofluida Al₂O₃ dengan konsentrasi volume 10% lebih besar dari fluida dasar dengan rata-rata sekitar 91%. Selain itu, faktor gesekan lokal dan rata-rata dan koefisien perpindahan panas konveksi meningkat dengan konsentrasi volume partikel nano.

Leong dkk. [15], menyelidiki secara analitis kinerja termal nanofluida Cu / EG dalam radiator mobil. Mereka memanfaatkan catatan dari literatur dan korelasi empiris untuk memodelkan sifat termal. Koefisien perpindahan panas global untuk nanofluida adalah 3,8% untuk nanofluida lebih tinggi daripada fluida dasar, untuk konsentrasi 2% dan berbagai Reynolds 6000 untuk sisi udara

dan 5000 untuk aspek pendingin. Peningkatan ini harus menawarkan pengurangan 18,7% dari area depan radiator, dengan penalti 12,1% dalam energi pemompaan.

Namburu dkk. [19] dianalisis secara numerik aliran turbulen dan perpindahan panas dengan beberapa jenis nanofluida. Mereka mempelajari tembaga (CuO), alumina (Al_2O_3) dan silikon (SiO_2) dalam etilen glikol dan air, yang mengalir melalui tabung melingkar di bawah fluks panas konstan. Hasil menemukan bahwa nanofluida yang mengandung nanosurfer kecil dengan kepadatan lebih rendah menghasilkan viskositas dan angka Nusselt yang lebih tinggi. Bilangan Nusselt juga diperbesar pada fraksi volume partikel yang lebih tinggi. Ditemukan bahwa pada fluks panas konstan (50 W/cm²) dengan bilangan Reynolds konstan (20.000), koefisien perpindahan panas nanofluida 6% CuO telah meningkat 1,35 kali fluida dasar. Pada fraksi volume partikel yang sama, nanofluida CuO menghasilkan koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi daripada jenis nanofluida yang berbeda.

Devireddy dkk. [20] melakukan studi perpindahan panas konvensional paksa dalam radiator mobil dengan etilena glikol berbasis air dan nanofluida TiO_2 . Nanofluid dibuat dengan mengambil 40:60 (EG:W) campuran sebagai cairan dasar dan mendispersikan nanopartikel TiO_2 dalam 0,1%, 0,3% dan 0,5% berdasarkan konsentrasi volume. Mereka mengamati peningkatan 37% dalam laju perpindahan panas pada 0,5% TiO_2 bila dibandingkan dengan cairan dasar. Nambesani dkk. [21] mempelajari karakteristik perpindahan panas Al_2O_3 /air-etilena glikol pendinginan di radiator mobil. Peningkatan perpindahan panas sekitar 37% diperoleh dengan kawat nano Al_2O_3 0,1%. Mereka juga bereksperimen dengan campuran air/propilen glikol sebagai cairan dasar. Peningkatan 9% dalam konduktansi panas keseluruhan diperoleh dengan menambahkan 0,2% nanopartikel alumina ke dalam cairan pendingin berbasis propilen glikol.

Lai dkk. [22] mempelajari perilaku aliran nanofluida (Al_2O_3 -air; 20 nm) dalam tabung baja tahan karat berukuran milimeter, mengalami fluks panas dinding konstan dan Reynolds rendah ($Re < 270$). Peningkatan jumlah Nusselt maksimum nanofluida 8% pada konsentrasi 1 vol.% tercatat. Jung dkk. [23]

melakukan percobaan perpindahan panas konvektif untuk nanofluida (Al_2O_3 -air) di microchannel persegi panjang di bawah kondisi aliran laminar. Koefisien perpindahan panas konvektif meningkat lebih dari 32% menjadi 1,8 vol.% nanopartikel dalam cairan dasar. Jumlah Nusselt meningkat dengan meningkatnya jumlah Reynolds dalam rezim aliran laminar ($5 < Re < 300$) dan korelasi perpindahan panas konvektif baru untuk nanofluida di saluran mikro juga diusulkan.

Sharma dkk. [24] menerapkan 12,5 vol% Al_2O_3 dalam air dalam geometri tabung horizontal dan menyimpulkan bahwa pada 3500 dan 6000 hingga 41% promosi Pe dalam koefisien perpindahan panas dibandingkan dengan air murni dapat terjadi. Ho dkk. [25], melakukan eksperimen untuk pendinginan dalam tabung horizontal dalam aliran laminar air Al_2O_3 pada konsentrasi 1 dan 2 vol% dan menyimpulkan peningkatan yang menarik pada koefisien perpindahan panas sebesar 51%. Nguyen dkk. [26] melakukan percobaan mereka pada pemanas radiator dan pada 6,8 vol% Al_2O_3 dalam air diperoleh peningkatan 40% dalam koefisien perpindahan panas. Ulasan lain tentang perpindahan panas nanofluida juga telah dipublikasikan dalam literatur [27-30].

Pada penelitian ini, karakteristik perpindahan panas radiator menggunakan nanofluida hibrida dengan variasi komposisi nanopartikel TiO_2 - SiO_2 (40:60, 60:40, 80:20) berbasis air/EG untuk konsentrasi volume 1.0% sebagai pendingin dianalisis secara eksperimental. Karakteristik perpindahan panas untuk sisi pendingin dan perilaku tekanan nanofluida dibandingkan dengan campuran fluida pendingin dasar air/EG (60:40).

METODE PENELITIAN

Preparasi hibrida nanofluida

Metode dua langkah digunakan untuk preparasi nanofluida hibrida. Nanofluida hibrida dibuat dengan mencampurkan kedua nanofluida (TiO_2 dan SiO_2) bersama-sama, melalui proses pencampuran dan sonikasi oleh Ramadhan et al. [16, 49]. Pembuatan nanofluida awalnya dimulai dengan perhitungan volume yang dibutuhkan sesuai dengan konsentrasi. Dalam penelitian ini, nanofluida hibrida disiapkan pada komposisi

campuran TiO₂-SiO₂ (40:60, 60:40, 80:20) untuk konsentrasi volume 1.0%. Nanofluida tunggal TiO₂ dan SiO₂ disuplai dalam suspensi air dengan konsentrasi berat masing-masing 40, 25% untuk TiO₂ dan SiO₂. Semua nanopartikel tunggal diperoleh dari US Research Nanomaterials, Inc. Ukuran nanopartikel untuk TiO₂ dan SiO₂ adalah 50 dan 22 nm dengan kemurnian 99% dan 99,99%. Persamaan. (1) [30-32] digunakan untuk mengkonversi dari konsentrasi berat ke konsentrasi volume. Pengenceran dari konsentrasi volume yang lebih tinggi ke konsentrasi volume yang lebih rendah menggunakan Persamaan. (2) [31] dengan menambahkan fluida dasar (ΔV).

$$\phi = \frac{\omega \rho_w}{\frac{\omega}{100} \rho_w + \left(1 - \frac{\omega}{100}\right) \rho_p} \quad (1)$$

$$\Delta V = (V_2 - V_1) = V_1 \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} - 1 \right) \quad (2)$$

Semua nanofluida tunggal dicampur bersama dengan perbandingan komposisi nanopartikel dari TiO₂-SiO₂ (40:60, 60:40, 80:20) untuk membentuk nanofluida hibrida. Volume total 100 mL disiapkan untuk setiap konsentrasi nanofluida hibrida. Solusi gabungan dari dua nanofluida tunggal TiO₂ dan SiO₂ dicampur bersama menggunakan pengaduk magnet selama 120 menit. Kemudian larutan tersebut mengalami proses sonikasi menggunakan ultrasonic bath untuk meningkatkan kestabilan.

Sifat fisik termo-fluida nano

Kepadatan fluida (ρ_{nf}) dan kapasitas panas spesifik ($C_{p,nf}$) dari nanofluida hibrida diperoleh dengan hubungan [32].

$$\rho_{nf} = (1 - \phi) \rho_{bf} + \phi (R \rho)_{Al_2O_3} + \phi (R \rho)_{TiO_2} + \phi (R \rho)_{SiO_2} \quad (3)$$

$$C_{p,nf} = \frac{(1 - \phi) \rho_{bf} C_{p,bf} + \phi (R \rho C)_{Al_2O_3} + \phi (R \rho C)_{TiO_2} + \phi (R \rho C)_{SiO_2}}{\rho_{nf}} \quad (4)$$

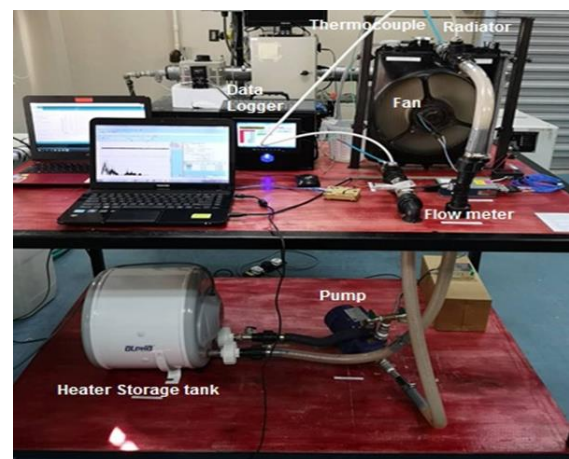
Tabel 1 menyajikan sifat termofisika nanofluida hibrida pada suhu 70 °C untuk digunakan dalam pengaturan radiator otomotif.

Tabel 1. Sifat fisis termofluida hibrida nanofluida pada suhu 70 °C [40]

ϕ (%)	ρ_{nf} (kg/m ³)	μ_{nf} (Ns/m ²)	C_{nf} (J/kg.K)	k_{nf} (W/m.K)
0.05	1034.59	0.003313	3631.12	0.465
0.1	1035.82	0.003586	3626.25	0.471
0.2	1038.27	0.003475	3616.55	0.473
0.3	1040.71	0.003712	3606.89	0.481

Pengujian menggunakan radiator otomotif setup

Kinerja perpindahan panas pendingin nanofluid diukur dengan penggunaan eksperimental dalam pengaturan radiator otomotif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Ini terdiri dari radiator mobil, tangki penyimpanan pemanas, pompa sentrifugal, fan blower, katup kontrol aliran dan termokopel tipe-K untuk mengukur suhu fluida saluran masuk dan keluar. Pemanas listrik 3,3 kW digunakan untuk memanaskan cairan pendingin di tangki reservoir. Pendingin didistribusikan menggunakan pompa sentrifugal 1.0 HP. Katup kontrol di pompa digunakan untuk memvariasikan laju aliran cairan pendingin ke radiator antara 2-12 LPM. Dua termokopel tipe-K ditempatkan di saluran masuk dan keluar radiator untuk mengukur suhu cairan pendingin. Termokopel juga dipasang di kedua sisi permukaan dinding radiator untuk mengukur suhu udara dan tabung radiator. Spesifikasi radiator seperti terlihat pada Tabel 2.



Gambar 1. Alat uji radiator otomotif [40]

Prosedur pengujian di alat uji radiator otomotif mobil

Perpindahan panas eksperimental dilakukan dalam percobaan radiator persiapan W: EG (60:40) dan nanofluida hibrida dengan perbandingan komposisi nanopartikel dari TiO₂-SiO₂ (40:60, 60:40, 80:20) untuk konsentrasi volume 1,0%. Pendingin di tangki pengumpul dengan volume 17 L dipanaskan hingga suhu yang diinginkan dan disirkulasikan melalui radiator menggunakan pompa. Suhu saluran masuk cairan pendingin ke radiator dijaga konstan pada suhu operasi nominal pada 70 °C. Laju aliran pendinginan bervariasi antara 2 hingga 12 LPM. Laju aliran udara ke radiator dijaga konstan pada rata-rata 4 m/s. Suhu outlet pendingin dicatat menggunakan termokopel tipe-K. Selanjutnya, termokopel tipe K tetap berada di dinding radiator di kedua sisi untuk merekam suhu udara dan suhu dinding tabung.

Analisis data eksperimental

Parameter yang diperlukan untuk perhitungan sisi nanofluida adalah karakteristik perpindahan panas untuk sisi pendingin dan sisi udara. Persamaan matematika yang digunakan seperti gambar di bawah ini.

Koefisien perpindahan panas dapat dinyatakan sebagai persamaan (5),

$$h_{nf} = \frac{Nu_{nf} k_{nf}}{D_{h,nf}} \quad (5)$$

dimana k_{nf} diperoleh dari Eastman, dkk [41]. Bilangan Nusselt (Nu) untuk nanofluida dinyatakan sebagai Persamaan. (6) oleh Hamid, dkk [42]:

$$Nu_{nf} = 0.0247 Re^{0.8} Pr^{0.4} \left(1 + \frac{\phi}{100}\right)^{6.29} \quad (6)$$

Dimana, ekspresi Bilangan Reynolds (Re) untuk nanofluida diberikan oleh Persamaan (7),

$$Re_{nf} = \frac{G_{nf} D_{h,nf}}{\mu_{nf}} \quad (7)$$

Kecepatan massa inti pendingin dinyatakan sebagai Persamaan (8).

$$G_{nf} = \frac{W_{nf}}{A_{fr} \sigma_{nf}} \quad (8)$$

Laju kapasitas panas, C_{nf} dapat dinyatakan sebagai Persamaan (9).

$$C_{nf} = W_{nf} C_{p,nf} \quad (9)$$

Penurunan tekanan, P_{nf} dapat dinyatakan sebagai Persamaan (10),

$$\Delta P_{nf} = \frac{G_{nf}^2 \times f_{nf} \times H}{2 \times \rho_{nf} \times \left(\frac{D_{h,nf}}{4}\right)} \quad (10)$$

Dimana korelasi faktor gesekan nanofluida diberikan Persamaan (11) oleh Hamid dkk. [42],

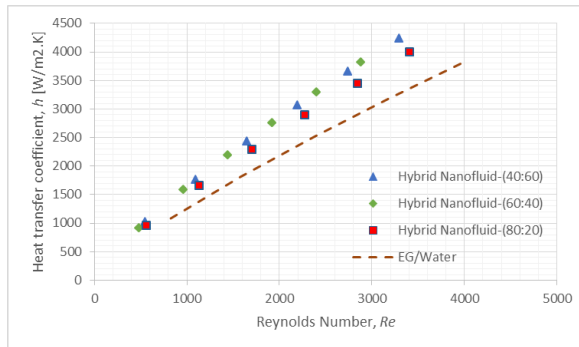
$$f_{nf} = 0.3164 \times (Re_{nf})^{-0.25} \left(\frac{\rho_{nf}}{\rho_{bf}}\right)^{0.797} \left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}}\right)^{0.108} \quad (11)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

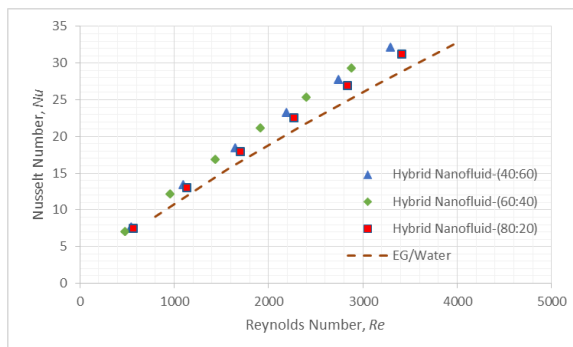
Kinerja perpindahan panas dari nanofluida hibrida

Gambar 2 dan 3 menggambarkan koefisien perpindahan panas dan bilangan Nusselt nanofluida TiO₂-SiO₂ dengan perbandingan komposisi nanopartikel (60:40, 40:60, 80:20) pada 70 °C. Dapat diamati bahwa data eksperimen untuk nanofluida TiO₂-SiO₂ sesuai dengan tren data yang diberikan oleh Dittus dan Boelter [48] dan fluida dasar (EG/Water). Bilangan Reynolds dipengaruhi oleh kenaikan koefisien perpindahan panas dan bilangan Nusselt sebesar 32,1% peningkatan maksimum terjadi pada nanofluida TiO₂-SiO₂ dengan komposisi (40:60), sedangkan peningkatan 29,2% terjadi pada hibrida nanofluida (60:40), untuk hibrida nanofluida (80:20) mengalami kenaikan sebesar 31,1%.

Namun, semua konsentrasi lebih tinggi dari cairan dasar yaitu EG/Water. Peningkatan suhu, komposisi nanopartikel dari hibrida nanofluida dan bilangan Reynolds meningkatkan perpindahan panas dan bilangan Nusselt. Pada 70 °C kisaran bilangan Reynolds lebih tinggi hingga 5000. Hal ini terjadi karena penurunan viskositas karena suhu yang lebih tinggi. Semakin tinggi sifat termal akan meningkatkan koefisien perpindahan panas.



Gambar 2. Koefisien perpindahan panas nanofluida hibrida pada suhu 70 °C

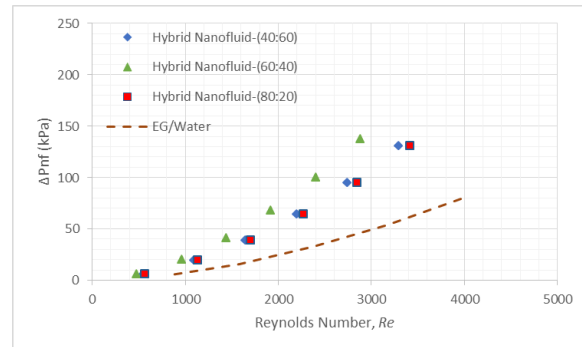


Gambar 3. Bilangan Nusselt (*Nu*) nanofluida hibrida pada suhu 70 °C

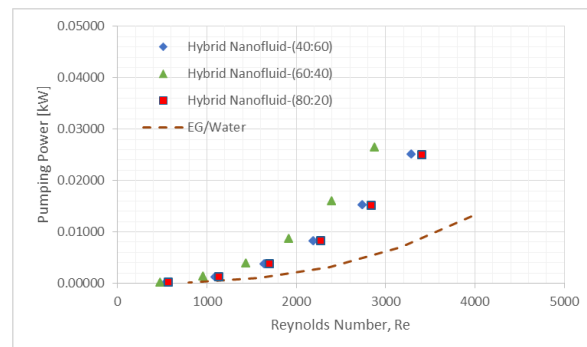
Penurunan tekanan dan daya pemompaan nanofluida hibrida

Gambar 4 dan 5 menunjukkan penurunan tekanan dan daya pemompaan dari nanofluida TiO₂-SiO₂ pada suhu kerja 70 °C. Penurunan tekanan dan daya pemompaan dari nanofluida hibrida meningkat dengan perubahan perbandingan komposisi nanopartikel dari 60:40, 40:60, 80:20. Hal ini karena pada perbandingan komposisi nanopartikel yang lebih tinggi, viskositas nanofluida juga akan meningkat. Oleh karena itu akan meningkatkan tekanan dan daya dalam sistem. Penurunan tekanan tertinggi

diamati pada perbandingan komposisi nanopartikel 60:40 dengan 137,71 kPa. Sedangkan untuk daya pemompaan, tertinggi juga terjadi pada komposisi nanofluida hibrida (60:40) dengan daya 0,026 kW. Penurunan tekanan dan daya pemompaan terendah dapat diamati pada perbandingan komposisi nanofluida 80:20 dengan 130,47 kPa dan 0,024 kW. Namun, semua hibrida nanofluida berada di atas cairan dasar (EG/Water).



Gambar 4. Penurunan tekanan dari nanofluida TiO₂-SiO₂ pada suhu kerja 70 °C



Gambar 5. Daya pemompaan dari nanofluida TiO₂-SiO₂ pada suhu kerja 70 °C

KESIMPULAN

Dalam riset ini, kinerja perpindahan panas dari nanofluida TiO₂-SiO₂ dengan menggunakan perbandingan komposisi nanopartikel keduanya yaitu 60:40, 40:60 dan 80:20, ke dalam campuran EG/Water telah dikaji untuk konsentrasi volume 1.0% dan suhu kerja 70 °C. Koefisien perpindahan panas nanofluida TiO₂-SiO₂ meningkat dengan meningkatnya perbandingan komposisi nanopartikel keduanya dan suhu. Kenaikan koefisien perpindahan panas dan bilangan Nusselt sebesar 32,1% peningkatan maksimum

terjadi pada nanofluida $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan komposisi (40:60), sedangkan peningkatan 29,2% terjadi pada hibrida nanofluida (60:40), untuk hibrida nanofluida (80:20) mengalami kenaikan sebesar 31,1%. Penurunan tekanan dan daya pemompaan memiliki pola yang sama dimana peningkatan konsentrasi volume, penurunan tekanan dan daya pemompaan akan meningkat karena perbandingan komposisi nanopartikel keduanya. Korelasi ini berlaku untuk campuran air/EG (60:40) dan nanofluida $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ dengan perbandingan komposisi nanopartikel dari 60:40, 40:60, 80:20 dengan konsentrasi volume 1.0% pada suhu kerja 70 °C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Muhammadiyah Jakarta, Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi (LLDIKTI) Wilayah III dan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendukung dan memberikan hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) tahun 2022 dengan Nomor Kontrak: 069/E5/PG.02.00.PT/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.U.S. Choi, J.A. Eastman, Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, Argonne National Lab., IL (United States), 1995.
- [2] M.A. Fikri, F.F. Asri, W.M. Faizal, H.K. Adli, R. Mamat, W.H. Azmi, A.I. Ramadhan, T. Yusaf, Effects of heat transfer based water for three square multilayer absorber solar collector, in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 2020, pp. 012078.
- [3] A.I. Ramadhan, W.H. Azmi, R. Mamat, K.A. Hamid, Experimental and numerical study of heat transfer and friction factor of plain tube with hybrid nanofluids, Case Studies in Thermal Engineering, 22(12) (2020) 1-9.
- [4] K. Kamajaya, E. Umar, The empirical correlations for natural convection heat transfer Al_2O_3 and ZrO_2 nanofluid in vertical sub-channel, in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 2015, pp. 012053.
- [5] M.K. Abdolbaqi, C.S.N. Azwadi, R. Mamat, W.H. Azmi, G. Najafi, Nanofluids heat transfer enhancement through straight channel under turbulent flow, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 11(1) (2015) 2294–2305.
- [6] N.F.D. Razak, M.S.M. Sani, W.H. Azmi, Heat transfer augmentation in heat exchanger by using nanofluids and vibration excitation-A review, International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 17(1) (2020) 7719-7733.
- [7] M.K. Abdolbaqi, R. Mamat, N.A.C. Sidik, W.H. Azmi, P. Selvakumar, Experimental investigation and development of new correlations for heat transfer enhancement and friction factor of BioGlycol/water based TiO_2 nanofluids in flat tubes, International Journal of Heat and Mass Transfer, 108 (2017) 1026-1035.
- [8] A.I. Ramadhan, E. Diniardi, E. Dermawan, Numerical study of effect parameter fluid flow nanofluid Al_2O_3 -water on heat transfer in corrugated tube, in: AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, 2016, pp. 050003.
- [9] A.I. Ramadhan, W.H. Azmi, R. Mamat, Experimental investigation of thermo-physical properties of tri-hybrid nanoparticles in water-ethylene glycol mixture, Walailak Journal of Science and Technology, 18(8) (2021) 9335.
- [10] N.A. Usri, W.H. Azmi, R. Mamat, K.A. Hamid, Forced convection heat transfer using water-ethylene glycol (60: 40) based nanofluids in automotive cooling system,

- International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 11(1) (2015) 2747–2755.
- [11] N.A.C. Sidik, M.N.A.W.M. Yazid, R. Mamat, Recent advancement of nanofluids in engine cooling system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75 (2017) 137-144.
- [12] S.Z. Heris, M. Shokrgozar, S. Poorpharhang, M. Shanbedi, S.H. Noie, Experimental study of heat transfer of a car radiator with CuO/ethylene glycol-water as a coolant, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 35(5) (2014) 677-684.
- [13] S.M. Peyghambarzadeh, S.H. Hashemabadi, S.M. Hoseini, M.S. Jamnani, 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) (2011) 1283-1290.
- [14] M. Naraki, S. Peyghambarzadeh, S. Hashemabadi, Y. Vermahmoudi, Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator, *International Journal of Thermal Sciences*, 66 (2013) 82-90.
- [15] K.Y. Leong, R. Saidur, S.N. Kazi, A.H. Mamun, Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator), *Applied Thermal Engineering*, 30(17-18) (2010) 2685-2692.
- [16] M. Ebrahimi, M. Farhadi, K. Sedighi, S. Akbarzade, Experimental investigation of force convection heat transfer in a car radiator filled with SiO₂-water nanofluid, *International Journal of Engineering Transactions B: Applications*, 27(2) (2014) 333-340.
- [17] K.W. Park, H.Y. Pak, Flow and heat transfer characteristics in flat tubes of a radiator, *Numerical Heat Transfer: Part A: Applications*, 41(1) (2002) 19-40.
- [18] R.S. Vajjha, D.K. Das, P.K. Namburu, Numerical study of fluid dynamic and heat transfer performance of Al₂O₃ and CuO nanofluids in the flat tubes of a radiator, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 31(4) (2010) 613-621.
- [19] P.K. Namburu, D.K. Das, K.M. Tanguturi, R.S. Vajjha, Numerical study of turbulent flow and heat transfer characteristics of nanofluids considering variable properties, *International Journal of Thermal Sciences*, 48(2) (2009) 290-302.
- [20] S. Devireddy, C.S.R. Mekala, V.R. Veeredhi, Improving the cooling performance of automobile radiator with ethylene glycol water based TiO₂ nanofluids, *International communications in heat and mass transfer*, 78 (2016) 121-126.
- [21] K.P. Nambeesan, R. Parthiban, K.R. Kumar, U.R. Athul, M. Vivek, S. Thirumalini, Experimental study of heat transfer enhancement in automobile radiator using Al₂O₃/water-ethylene glycol nanofluid coolants, *International Journal of Automotive & Mechanical Engineering*, 12 (2015).
- [22] W.Y. Lai, B. Ducelescu, P.E. Phelan, R.S. Prasher, Convective heat transfer with nanofluids in a single 1.02-mm tube, in: *ASME 2006 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers*, 2006, pp. 337-342.
- [23] J.Y. Jung, H.S. Oh, H.Y. Kwak, Forced convective heat transfer of nanofluids in microchannels, in: *ASME 2006 International Mechanical Engineering*

- Congress and Exposition, American Society of Mechanical Engineers, 2006, pp. 327-332.
- [24] K.V. Sharma, L.S. Sundar, P.K. Sarma, Estimation of heat transfer coefficient and friction factor in the transition flow with low volume concentration of Al₂O₃ nanofluid flowing in a circular tube and with twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(5) (2009) 503-507.
- [25] C.J. Ho, L.C. Wei, Z.W. Li, An experimental investigation of forced convective cooling performance of a microchannel heat sink with Al₂O₃/water nanofluid, *Applied Thermal Engineering*, 30(2-3) (2010) 96-103.
- [26] C.T. Nguyen, G. Roy, C. Gauthier, N. Galanis, Heat transfer enhancement using Al₂O₃-water nanofluid for an electronic liquid cooling system, *Applied Thermal Engineering*, 27(8-9) (2007) 1501-1506.
- [27] L. Godson, B. Raja, D.M. Lal, S. Wongwises, Enhancement of heat transfer using nanofluids—an overview, *Renewable and sustainable energy reviews*, 14(2) (2010) 629-641.
- [28] S. Kakaç, A. Pramuanjaroenkij, Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(13-14) (2009) 3187-3196.
- [29] X.-Q. Wang, A.S. Mujumdar, A review on nanofluids-part II: experiments and applications, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25(4) (2008) 631-648.
- [30] W.H. Azmi, K.A. Hamid, N.A. Usri, R. Mamat, M.S. Mohamad, Heat transfer and friction factor of water and ethylene glycol mixture based TiO₂ and Al₂O₃ nanofluids under turbulent flow, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76 (2016) 24-32.
- [31] K.A. Hamid, W.H. Azmi, R. Mamat, K.V. Sharma, Experimental investigation on heat transfer performance of TiO₂ nanofluids in water-ethylene glycol mixture, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 73 (2016) 16-24.
- [32] A.I. Ramadhan, W.H. Azmi, R. Mamat, K.A. Hamid, S. Norsakinah, Investigation on stability of tri-hybrid nanofluids in water-ethylene glycol mixture, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2019, pp. 012068.
- [33] A.E. Bergles, The implications and challenges of enhanced heat transfer for the chemical process industries, *Chemical Engineering Research and Design*, 79(4) (2001) 437-444.
- [34] T.-M. Jeng, S.-C. Tzeng, C.-H. Lin, Heat transfer enhancement of Taylor-Couette-Poiseuille flow in an annulus by mounting longitudinal ribs on the rotating inner cylinder, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50(1-2) (2007) 381-390.
- [35] M.K. Jensen, A. Vlakancic, Technical Note Experimental investigation of turbulent heat transfer and fluid flow in internally finned tubes, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42(7) (1999) 1343-1351.
- [36] K.A. Hamid, W.H. Azmi, M.F. Nabil, R. Mamat, K.V. Sharma, Experimental investigation of thermal conductivity and dynamic viscosity on nanoparticle mixture ratios of TiO₂-SiO₂ nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 116 (2018) 1143-1152.
- [37] W. H. Azmi, K.A. Hamid, A.I. Ramadhan, & A. I. M. Shaiful., Thermal hydraulic performance for hybrid

- composition ratio of TiO₂–SiO₂ nanofluids in a tube with wire coil inserts. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25 (2021) 100899.
- [38] Y.-T. Yang, H.-W. Tang, B.-Y. Zeng, C.-H. Wu, Numerical simulation and optimization of turbulent nanofluids in a three-dimensional rectangular rib-grooved channel, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 66 (2015) 71-79.
- [39] C. Tso, S. Fu, C.Y. Chao, A semi-analytical model for the thermal conductivity of nanofluids and determination of the nanolayer thickness, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 70 (2014) 202-214.
- [40] A.I. Ramadhan, W.H. Azmi, R. Mamat, Heat transfer characteristics of car radiator using tri-hybrid nanocoolant, in: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 2020, pp. 012054.
- [41] J.A. Eastman, S.U.S. Choi, S. Li, W. Yu, L.J. Thompson, Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Applied physics letters*, 78(6) (2001) 718-720.
- [42] K.A. Hamid, W.H. Azmi, M.F. Nabil, R. Mamat, Experimental investigation of nanoparticle mixture ratios on TiO₂–SiO₂ nanofluids heat transfer performance under turbulent flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118 (2018) 617-627.
- [43] J. Dong, J. Chen, Z. Chen, W. Zhang, Y. Zhou, Heat transfer and pressure drop correlations for the multi-louvered fin compact heat exchangers, *Energy Conversion and Management*, 48(5) (2007) 1506-1515.
- [44] J. Sarkar, S. Bhattacharyya, M.R. Gopal, Transcritical CO₂ heat pump dryer: Part 1. Mathematical model and simulation, *Drying technology*, 24(12) (2006) 1583-1591.
- [45] ASHRAE, *Fundamental-Handbook-American society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, (2009).
- [46] S. Suresh, K.P. Venkitaraj, P. Selvakumar, M. Chandrasekar, Synthesis of Al₂O₃–Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 388(1-3) (2011) 41-48.
- [47] M.H. Esfe, A. Alirezaie, M. Rejvani, An applicable study on the thermal conductivity of SWCNT-MgO hybrid nanofluid and price-performance analysis for energy management, *Applied Thermal Engineering*, 111 (2017) 1202-1210.
- [48] F.W. Dittus, L.M.K. Boelter, Heat transfer in automobile radiators of the tubular type, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 12(1) (1985) 3-22.
- [49] A.I. Ramadhan, W.H. Azmi, The effect of nanoparticles composition ratio on dynamic viscosity of Al₂O₃-TiO₂-SiO₂ nanofluids, *Materials Today: Proceedings*, (2021).
- [50] Fikri, M. A., W. M. Faizal, H. K. Adli, Z. Bo, X. X. Jiang, and A. I. Ramadhan, Experimental Determination of Water, Water/Ethylene Glycol and TiO₂-SiO₂ Nanofluids mixture with Water/Ethylene Glycol to Three Square Multilayer Absorber Collector on Solar Water Heating System: A Comparative Investigation, In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1062, no. 1, p. 012019. IOP Publishing, 2021.

- [51] A.I. Ramadhan, W. H. Azmi, R. Mamat, Stability and Thermal Conductivity of Tri-hybrid Nanofluids for High Concentration in Water-ethylene Glycol (60:40), *Nanoscience & Nanotechnology-Asia* 2021; 11(4) : [e270421184600](https://doi.org/10.2174/2210681210999200806153039).
<https://doi.org/10.2174/2210681210999200806153039>
- [52] Fikri, M. A., W. M. Faizal, H. K. Adli, Z. Bo, X. X. Jiang, and A. I. Ramadhan, Investigation on stability of TiO₂-SiO₂ nanofluids with ratio (70: 30) in W/EG mixture (60: 40), In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1062, no. 1, p. 012020. IOP

