

Simulasi CFD Pengaruh Konsentrasi Nanofluida Al_2O_3 /Air Terhadap Performa Perpindahan Panas Pipa Radiator

Yoga Arob Wicaksono^{1)*}, Sudarno¹⁾, Nanang Suffiadi Akhmad¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Ponorogo
Jl. Budi Utomo No. 10, Ponorogo, Jawa Timur, Indonesia

Naskah diterima 27/07/2020; direvisi 09/11/2020; disetujui 14/11/2020
doi: <https://doi.org/10.24843/JEM.2020.v13.i02.p02>

Abstrak

Nanofluida adalah teknik yang populer sebagai solusi untuk meningkatkan performa perpindahan panas pada radiator mobil. Penelitian ini mempelajari performa perpindahan panas nanofluida Al_2O_3 /air yang melewati pipa silinder menggunakan metode simulasi CFD. Pada penelitian ini mempelajari pengaruh konsentrasi nanofluida antara 0,1, 0,5, 1 dan 1,5% terhadap performa perpindahan panas. Reynolds divariasikan antara 9000-23000 dan temperatur lingkungan konstan Hasil penelitian menunjukkan bahwa nanofluida Al_2O_3 /air dengan konsentrasi 1,5% meningkatkan perpindahan panas.

Kata kunci: Nanofluida, perpindahan panas, radiator, Simulasi CFD

Abstract

The performance of heat transfer on a car radiator can be improved by using nanofluids as working fluids. In this study analyzes the of heat transfer performance of Al_2O_3 /water nanofluids that pass through cylindrical pipes in 3D using the CFD simulation method for single phase approach. This research studied the effect of nanofluid concentration 0.1, 0.5, 1 and 1.5% on the heat transfer coefficient. The Reynolds number is varied between 9000 to 23000 and the ambient temperature is constant. The results showed that 1.5% Al_2O_3 /water nanofluid increasing heat transfer coefficient up to 5.7% compared to base fluid.

Keywords: CFD simulations, heat transfer, nanofluid, radiator

1. Pendahuluan

Teknologi *heat exchanger* diaplikasikan pada berbagai bidang teknologi seperti industri manufaktur, lingkungan teknik, pengondisian udara, refrigerasi, pembangkitan tenaga dan aplikasi ruang angkasa [1]. Salah satu industri yang menerapkan teknologi *heat exchanger* adalah otomotif. Mobil merupakan salah satu contoh produk industri otomotif yang membutuhkan teknologi sistem pendingin fluida. *Heat exchanger* pada mobil pada umumnya disebut dengan radiator. Komponen ini dibutuhkan mesin pembakaran dalam untuk menjaga suhu operasi mesin supaya tetap stabil. Radiator merupakan salah satu tipe *heat exchanger* model aliran *cross-flow*. Model aliran *cross-flow* merupakan model yang paling sesuai digunakan untuk pendingin mesin pembakaran dalam. Radiator mobil dapat bekerja maksimal dengan memanfaatkan aliran udara dari laju kendaraan dan bantuan extra fan. Teknologi radiator selalu dikembangkan untuk meningkatkan performa sistem pendinginan. Selain itu, radiator juga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar pada mesin. Peningkatan performa sistem pendingin dapat dilakukan dengan dua strategi, yang pertama dengan membuat berbagai variasi geometri radiator. Strategi kedua, yaitu dengan meningkatkan konduktivitas termal dari fluida kerja pada radiator.

Fluida konvensional seperti air dan etilen glikol memiliki performa perpindahan panas yang buruk, sehingga karakteristik termalnya perlu ditingkatkan. Langkah inovatif adalah dengan cara melarutkan partikel berukuran nano yang memiliki konduktivitas termal tinggi kedalam fluida dasar dengan konduktivitas termal rendah [2]. Campuran fluida ini

dikenal dengan nama nanofluida. Istilah nanofluida pertama kali dikenalkan oleh Choi dan Eastman pada tahun 1995. Hasil pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa nanofluida memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluida konvensional. Pada sebagian besar aplikasi pendinginan dan pemanasan, nanofluida bisa digunakan untuk pengganti fluida dasar [3]. Setelah ditemukan, nanofluida telah banyak diteliti dan diaplikasikan di berbagai produk teknologi, salah satunya adalah radiator mobil [4]. Dengan metode eksperimen dan numerik, aplikasi nanofluida meningkatkan efisiensi perpindahan panas radiator mobil sebesar 6-45% [5][6][7][8][9]. Nanofluida dianggap sebagai fluida perpindahan panas masa depan karena memiliki kemampuan untuk meningkatkan kinerja perpindahan panas dibandingkan dengan nanofluida murni [10]. Peningkatan konsentrasi nanopartikel, kecepatan fluida, dan kecepatan nanofluida meningkatkan koefisien perpindahan panas pada radiator mobil secara keseluruhan [7]. Penelitian ini mempelajari perpindahan panas pada pipa radiator mobil menggunakan nanofluida Al_2O_3 /air dengan metode CFD. Metode CFD dipilih dengan alasan biaya yang lebih murah dan hasil data yang akurat [11].

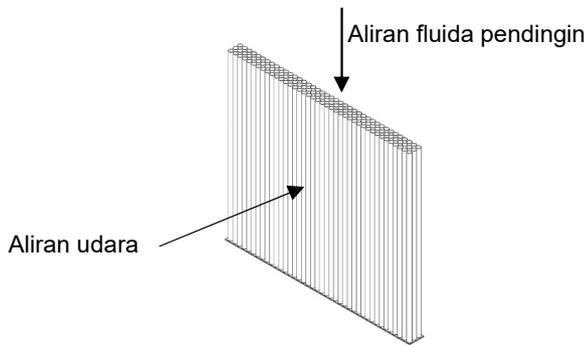
2. Metode Penelitian

2.1. Geometri Pipa Radiator

Gambar 1 dibawah ini adalah geometri dari radiator mobil, termasuk pipa silinder vertikal dengan fin rata untuk menghilangkan panas dari fluida ke udara bebas. Tipe penukar kalor ini masih diproduksi hingga

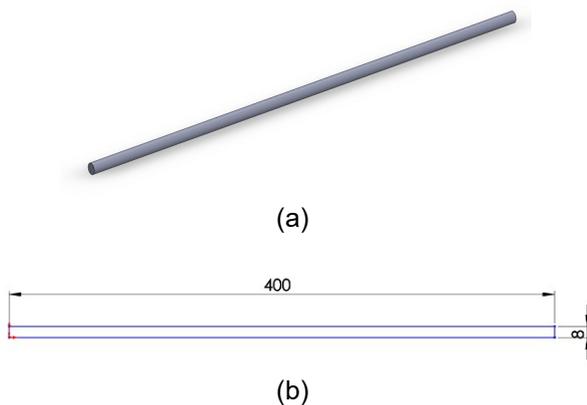
*Korespondensi: Tel./Fax.: 082264652224/-
E-mail: yoga_arob@umpo.ac.id

sekarang karena lebih mudah dibentuk dan harganya murah. Karakteristik geometri dari pipa yang digunakan sebagai pekar kalor ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Skema aliran fluida pada radiator

Model yang diteliti pada penelitian ini adalah sebuah pipa silinder dengan dimensi diameter 0,08m dan panjang 0,4m. *Heat flux* konstan diterapkan pada dinding pipa. Simulasi dilakukan pada kondisi 3D untuk menghasilkan data yang mendekati kondisi nyata.



Gambar 2. (a) Pipa radiator (b) Geometri pipa radiator

2.2 Sintesis Nanofluida

Dengan menggunakan referensi rumus dari Brinkman, maka dapat dihitung viskositas, konduktivitas thermal dan kapasitas panas dari nanofluida dengan pengaruh temperatur lewat substitusi viskositas fluida dasar pada temperatur tertentu [12]. Berikut ini adalah tabel properti termofisik air murni pada temperatur 300K.

Tabel 1. Properti termofisik air murni pada temperatur 300K

Properti termofisik	Air
Density, (ρ)	998,21 m ³ /kg
Specific heat, (C_p)	4182 j/kg.k
Thermal conductivity, (k)	0,6024 w/m.k
Dynamic viscosity, (μ)	0,001003 pa.s

Properti termofisik dari nanopartikel Al₂O₃ pada temperatur 300K disajikan dalam Tabel 2 [13].

Tabel 2. Properti termofisik Al₂O₃ pada temperatur 300K

Properti termofisik	Air
Density, (ρ)	998,21 m ³ /kg
Specific heat, (C_p)	4182 j/kg.k
Thermal conductivity, (k)	0,6024 w/m.k
Dynamic viscosity, (μ)	0,001003 pa.s

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan sintesis nanofluida Al₂O₃/air.

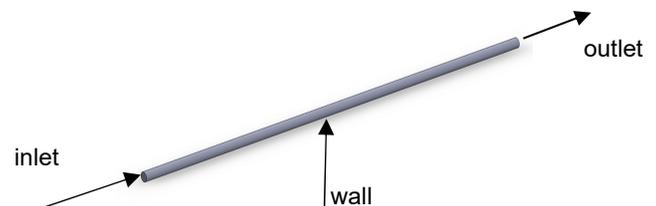
Tabel 3. Perhitungan sintesis Al₂O₃/air

Properti termofisik	Volume fraksi (%)				
	0	0.1	0.5	1	1.5
Density, (ρ) m ³ /kg	997	1002.003	1022.01	1047.03	1072.04
Specific heat, (C_p) j/kg.k	4170	4263.5	4216.7	4263.5	4310.5
Thermal conductivity, (k) w/m.k	0.60	0.60	0.61	0.62	0.63
Dynamic viscosity, (μ) pa.s	0.001003	0.001028	0.001018	0.001028	0.001041

Nilai referensi dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Nilai referensi

Lokasi	Inlet	Outlet	Wall
Velocity	Lihat tabel 3.4	-	-
Medium intensity	5%	-	-
Static temperature	300K	-	-
Relative pressure	-	1 Pa	-
Heat flux	-	-	1000 w/m ² k
Option	-	-	No slip wall

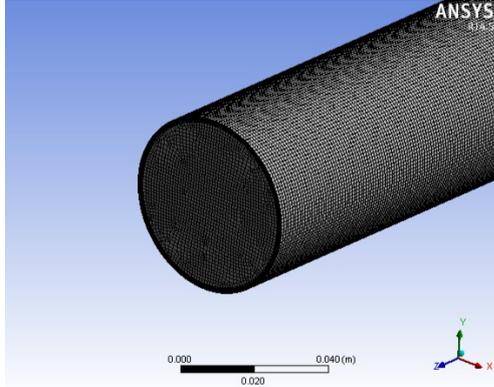


Gambar 3. *Boundary condition* dari domain komputasi

Persamaan atur diselesaikan dengan metode *Finite Volume Method* (FVM) pada komputer 3,4 GHz Quad Core dan RAM 4 GB. Software yang digunakan adalah ANSYS-Fluent 14.5. Metode *first-order upwind* digunakan untuk mendeskripsikan pernyataan konveksi dari konservasi massa. Grid model *staggered* diterapkan untuk simulasi dimana komponen kecepatan dihitung pada *control volume* dan variabel aliran diperoleh pada node pusat dari *control volume*. Untuk semua simulasi yang dilakukan dalam penelitian ini, solusi konvergensi pada proses iterasi untuk residual kontinuitas, momentum dan persamaan konservasi energi dipertimbangkan kurang dari 10⁻⁶ dan 10⁻⁹.

2.4 Meshing

Metode meshing yang dipakai adalah *multizone* dengan tipe mesh *hexa*. Pada wilayah dekat dinding (*wall*) diberi *inflation* dengan jumlah layer maksimal 20. Pemilihan *meshing* yang tepat menghemat waktu dan validitas simulasi. Variasi *meshing* yang digunakan adalah jumlah elemen, sejumlah 3 variasi. Jumlah elemen yang disimulasikan dipilih hasil yang paling valid dan hemat waktu untuk simulasi CFD.



Gambar 4. Layout mesh yang digunakan dalam penelitian ini

2.4.1 Processing

a. Persamaan Atur

Persamaan atur diasumsikan dalam kondisi *steady state*. Fluida didalam pipa diasumsikan inkompresibel dan bersifat Newtonian. Densitas air diasumsikan konstan dibawah tekanan. Temperatur lingkungan dan kecepatan udara pada penukar kalor diasumsikan konstan. Kecepatan fluida dan temperatur pada bagian inlet diatur seragam. Deposisi partikel diabaikan karena ukuran dan konsentrasi nanopartikel sangat rendah sehingga diasumsikan larutan homogen. Berdasarkan kondisi tersebut, persamaan konservasi disederhanakan sebagai berikut. Persamaan kontinuitas dan momentum masing-masing sebagai berikut:

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (1)$$

$$\rho_{nf}(\nabla \cdot V)V = -\nabla P + (\mu_{nf} + \mu^t)\nabla^2 V \quad (2)$$

Model $k-\varepsilon$ standar digunakan untuk menghitung viskositas turbulensi:

$$\mu^t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

Persamaan konservasi energi adalah sebagai berikut:

$$\rho_{nf}C_{p,nf}(V \cdot \nabla)T = k_{nf}\nabla^2 T \quad (4)$$

b. Model Fasa Tunggal

Berdasarkan penelitian terdahulu menyarankan bahwa pada konsentrasi nanopartikel fluida volume rendah dapat diasumsikan nanofluida tersebut berada pada fase tunggal [9]. Model ini menganggap bahwa nanofluida sebagai fluida yang homogen yang berpengaruh kuat pada sifat fisiknya. Untuk mendapatkan hasil yang benar sangat penting menggunakan korelasi yang tepat untuk sifat nanofluida yang benar dengan menyelesaikan persamaan diferensial meliputi konservasi massa, momentum dan energi.

Koefisien perpindahan panas dan angka Nusselt dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$h_{nf}(CFD) = \frac{c_{p,nf} \rho_{nf} V_t A_t (T_{in} - T_{out})}{A_p (T_b - T_w)} \quad (5)$$

$$Nu_{nf}(CFD) = \frac{h_{nf}(CFD) D_h}{k_{nf}} \quad (6)$$

Dimana T_b adalah temperatur keseluruhan dari fluida mulai dari rata-rata temperatur inlet dan outlet pipa.

T_w adalah temperatur dinding pipa sirkuler dan A_t adalah area melintang dari pipa sirkuler.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Studi independensi mesh

Untuk mencapai hasil simulasi yang akurat dibutuhkan verifikasi independensi mesh dan jumlah sel minimal. Jumlah sel dibuat dalam 3 variasi mesh untuk mendiskretisasi domain komputasi. Tabel dibawah ini adalah hasil Nusselt number yang dihasilkan dari 3 variasi mesh. Tabel dibawah ini menunjukkan validasi Reynolds number 9350 pada 3 variasi mesh.

Tabel 5. Tabel validasi mesh

Variasi	Jumlah sel	Re kalkulasi	Nusselt number	Waktu komputasi, (menit)
1	5.345.398	9339	72.10	40
2	6.453.564	9344	72.20	65
3	7.213.432	9355	70.15	121

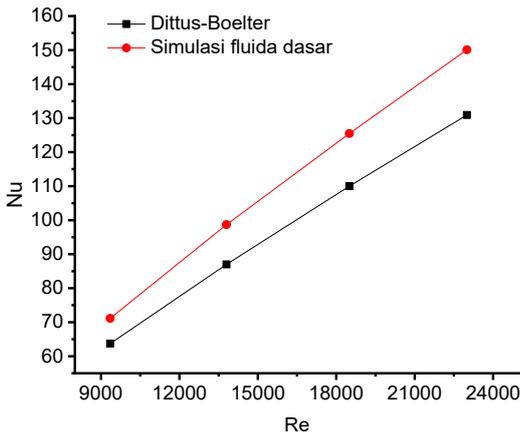
Pada tabel diatas, variasi mesh 1 menghasilkan selisih data Re number hasil kalkulasi sebesar 0,29%. Sedangkan variasi mesh 2 dan 3, selisih Re number hasil kalkulasi sebesar 0,3% dan 0,05%. Dengan demikian, semua simulasi menggunakan variasi mesh 3, walaupun waktu komputasi lebih lama, namun menghasilkan data yang lebih akurat.

3.2. Prosedur validasi komputasi

Simulasi dengan model fasa tunggal dilakukan dengan menggunakan air murni dalam kondisi turbulen pada temperatur 300K. Hasil simulasi untuk air murni dibandingkan dengan persamaan Dittus-Boelter sebagai berikut:

$$Nu = 0.0236 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (7)$$

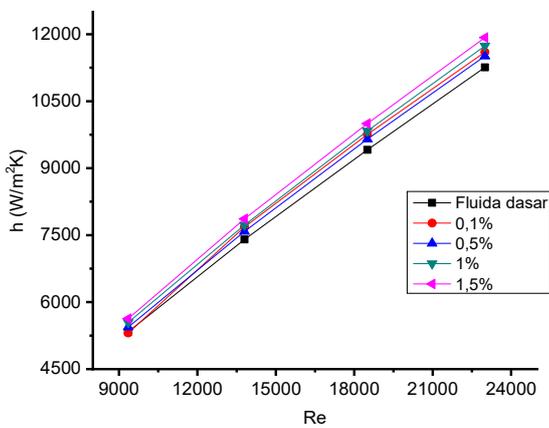
Dimana Nu adalah Nusselt number, Re adalah Reynolds number dan Pr adalah Prandl number. Validasi simulasi menggunakan fluida dasar, yaitu air sebagai fluida kerja. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil prediksi yang sesuai dengan prediksi empiris dari persamaan Dittus-Boelter. Hasil simulasi menunjukkan ketidaksesuaian rata-rata sebesar 3,33% dengan persamaan Dittus-Boelter.



Gambar 5. Validasi dengan persamaan Dittus-Boelter

3.3 Koefisien perpindahan panas rata-rata

Gambar 6 dibawah ini memperlihatkan pengaruh bilangan Reynolds terhadap koefisien perpindahan panas rata-rata di seluruh bagian pipa radiator. Grafik koefisien perpindahan panas meningkat seiring dengan peningkatan bilangan Reynolds. Konsentrasi nanofluida juga berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas rata-rata. Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi nanofluida maka koefisien perpindahan panasnya juga semakin meningkat. Koefisien perpindahan panas tertinggi diperoleh pada nanofluida 1,5% dengan rata-rata persentase peningkatan sebesar 5,7% dibanding fluida dasar.

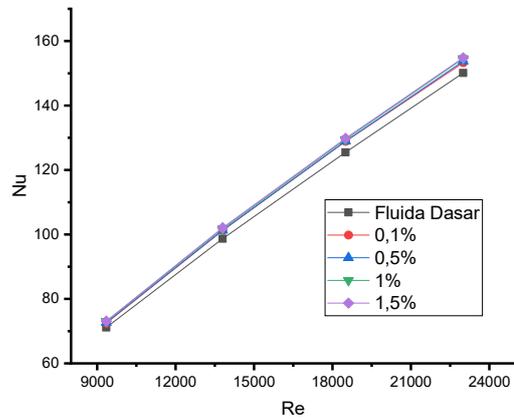


Gambar 6. Koefisien perpindahan panas rata-rata dan Nusselt number

3.4 Pengaruh Konsentrasi Nanopartikel Terhadap Nusselt Number

Nusselt number adalah parameter penting yang menunjukkan performa perpindahan panas dalam bentuk non-dimensional [14]. Grafik dibawah ini menunjukkan hubungan antara bilangan Reynolds dan Nusselt number. Pada grafik terlihat bahwa semakin tinggi bilangan Reynolds maka Nusselt number akan semakin meningkat. Sedangkan konsentrasi nanofluida juga berpengaruh terhadap Nusselt number. Semakin tinggi konsentrasi maka Nusselt number semakin meningkat. Nanofluida 1,5%

mendapatkan nilai Nusselt number paling tinggi dibandingkan variasi lainnya. Dibandingkan dengan fluida dasar, nanofluida 1,5% meningkatkan Nusselt number rata-rata 22,9%. Struktur aliran dipengaruhi oleh kehadiran nanopartikel dalam fluida dasar, oleh karena itu gerakan kacau, dispersi dan fluktuasi nanopartikel terutama di dekat dinding tabung menghasilkan peningkatan nilai tukar energi antara dinding tabung dan fluida [15].

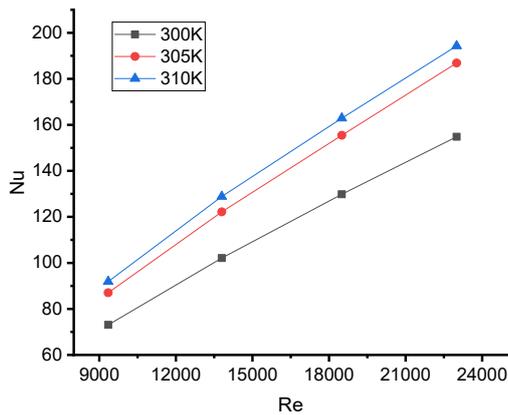


Gambar 7. Pengaruh variasi konsentrasi terhadap Nusselt number

Grafik pada Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa peningkatan Nusselt number terus meningkat seiring dengan peningkatan Reynolds number. Hal ini jelas membuktikan bahwa peningkatan nanopartikel pada air merubah sifat-sifat thermal-fisik fluida seperti, peningkatan densitas, konduktivitas termal, viskositas dan penurunan panas spesifik menghasilkan peningkatan perpindahan panas pada nanofluida [9]. Berdasarkan penelitian Togun, peningkatan nanopartikel Al₂O₃ cenderung meningkatkan koefisien perpindahan panas karena transfer panas nanopartikel dalam fluida dasar yang meningkatkan perpindahan panas konveksi [16]. Gerak Brownian didalam nanopartikel adalah faktor penting dalam peningkatan perpindahan panas nanofluida. Gerakan acak nanopartikel pada fluida mengurangi ketebalan lapis batas dan meningkatkan perpindahan panas antara dinding dan fluida [7].

3.5 Pengaruh Temperatur Inlet Terhadap Nusselt Number

Gambar 8 memperlihatkan pengaruh temperatur inlet terhadap Nusselt number pada nanofluida 1.5%. Tren grafik menunjukkan bahwa peningkatan temperatur inlet ikut menaikkan Nusselt number. Pada temperatur 310K Nusselt number meningkat rata-rata 20,4% dibandingkan pada temperatur 300K.



Gambar 8. Pengaruh variasi temperatur inlet terhadap Nusselt number

4. Simpulan

Pengaruh nanofluida $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{air}$ pada pipa radiator tipe sirkuler telah diteliti secara numerik. Berdasarkan analisa data dan grafik maka dapat disimpulkan bahwa nanofluida $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{air}$ terbukti memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan fluida dasar. Konsentrasi Nanofluida $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{air}$ 1,5% memiliki sifat termal paling baik diantara variasi yang lainnya. Koefisien perpindahan panas keseluruhan saat menggunakan nanofluida $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{air}$ meningkat rata-rata 22,9% dibandingkan dengan fluida dasar. Hasil simulasi pada penelitian ini membuktikan bahwa nanofluida berpotensi untuk digunakan sebagai fluida kerja pada komponen radiator mobil. Pada masa yang akan datang akan diteliti pengaruh konsentrasi nanofluida terhadap penurunan tekanan.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai dengan dana hibah dari LPPM Universitas Muhammadiyah Ponorogo berdasarkan surat perjanjian kontrak penelitian No. 82/VI.4/PN/2020

Daftar Pustaka

- [1] F. V. Hanson, "Heat exchangers selection, design and construction," *Fuel Processing Technology*, vol. 23, no. 1, pp. 87–88, 1989.
- [2] S. T. J. Zainal S., Tan C., Sian C.J., "ANSYS simulation for Ag / HEG Hybrid Nanofluid in Turbulent Circular Pipe," *J. Adv. Res. Appl. Mech.*, vol. 23, no. 1, pp. 20–35, 2016.
- [3] O. Mahian *et al.*, "Recent advances in modeling and simulation of nanofluid flows-Part I: Fundamental and theory," *Phys. Rep.*, 2018.
- [4] S. U. S. Choi, "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles," *Am. Soc. Mech. Eng. Fluids Eng. Div. FED*, vol. 231, no. March, pp. 99–105, 1995.
- [5] S. M. Peyghambarzadeh, S. H. Hashemabadi, M. S. Jamnani, and S. M. Hoseini, "Improving the cooling performance of automobile radiator with $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ nanofluid," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 31, no. 10, pp. 1833–1838, 2011.
- [6] M. Naraki, S. M. Peyghambarzadeh, S. H.

Hashemabadi, and Y. Vermahmoudi, "Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 66, pp. 82–90, 2013.

- [7] S. M. Peyghambarzadeh, S. H. Hashemabadi, M. Naraki, and Y. Vermahmoudi, "Experimental study of overall heat transfer coefficient in the application of dilute nanofluids in the car radiator," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 52, no. 1, pp. 8–16, 2013.
- [8] M. Akbari, N. Galanis, and A. Behzadmehr, "Comparative analysis of single and two-phase transfer models for CFD studies of nanofluid heat transfer," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 50, no. 8, pp. 1343–1354, 2011.
- [9] V. Delavari and S. H. Hashemabadi, "CFD simulation of heat transfer enhancement of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ethylene glycol}$ nanofluids in a car radiator," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 73, no. 1, pp. 378–388, 2014.
- [10] X. Wang and A. S. Mujumdar, "A REVIEW ON NANOFLUIDS - PART I: THEORETICAL AND NUMERICAL INVESTIGATIONS," vol. 25, no. 04, pp. 613–630, 2008.
- [11] O. Mahian *et al.*, "Recent advances in modeling and simulation of nanofluid flows-part II: Applications," *Phys. Rep.*, 2018.
- [12] H. C. Brinkman, "The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions," vol. 571, pp. 1–2, 1952.
- [13] F. P. D. P. D. Theodore L. Bergman, Adrienne S. Levine, Incropera, *Intoduction To Heat Transfer*, Edition, S. 2011.
- [14] M. Ataei and F. S. Moghanlou, "Heat transfer and flow characteristics of hybrid $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 - \text{water}$ nanofluid in a minichannel heat sink," 2020.
- [15] Z. Said *et al.*, "Enhancing the performance of automotive radiators using nanofluids," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 112, no. May, pp. 183–194, 2019.
- [16] H. Togun, H. I. Abu-mulaweh, S. N. Kazi, and A. Badarudin, "Numerical simulation of heat transfer and separation $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{nanofluid}$ flow in concentric annular pipe ☆," vol. 71, pp. 108–117, 2016.