

STUDI NUMERIK KINERJA PENDINGIN COOLANT HYBRID-NANOFLUID Al_2O_3 - TiO_2 PADA RADIATOR

Najmul Hidayat ¹⁾ ✉, Sudarmadji ¹⁾.

¹⁾ Politeknik Negeri Malang
Jalan Soekarno Hatta No. 9, Malang
najmul91@gmail.com
sudarmadji@polinema.ac.id

Abstract

Coolant in automotive engine cooling systems generally uses coolant with a minimum ethylene glycol mixture of 30 percent. Currently, the use of nanoparticles can be mixed in basic coolant between fluid and nanoparticles that have better thermal physical properties than pure coolant. The purpose of this study was to compare the results of CFD to tests on the effect of concentration, discharge and inlet temperature of Hybrid Nanofluid Al_2O_3 TiO_2 to temperature distribution, pressure and radiator performance. The method used in this research is CFD simulation. The data taken in this study is the rate of heat transfer in the cooling fluid of pure radiator coolant and radiator coolant plus Al_2O_3 TiO_2 hybrid nanoparticles (hybrid nanofluid radiator coolant) with a mass percentage of nanoparticle hybrid mixture of 0.25, 0.30, 0.35 percent. Variations in the amount of fluid flow with a liter/ minute discharge (LPM) of 20, 24, 28, and using variations in the amount of radiator fluid inlet temperature (T_{in}), namely 70, 80, 90 Celsius which will be simulated by ANSYS FLUENT software.

Keywords: Hybrid - Nanofluid, Speed Displacement Heat, Radiator, Temperature, CFD.

1. PENDAHULUAN

Pada sistem penukar panas (*heat exchanger*), fluida berperan penting dalam menentukan performa dari perpindahan panas dari sumber panas ke lingkungan. Pada setiap mesin termal dimana manajemen termal sangat penting komponen heat exchanger menjadi sangat vital terutama untuk menjaga mesin terus dapat bekerja dengan optimal terutama untuk mencegah mesin terhindar dari kegagalan operasi. Pada industri otomotif *heat exchanger* menjadi bagian integral sistem pendinginan mesin, sistem pengkondisi udara kabin (air conditioning) dan *intercooler* sistem *turbocharger*. *Heat exchanger* pada mesin mobil biasa disebut radiator, mentransfer kalor yang dihasilkan dari rugi-rugi panas pada mesin hasil dari proses pembakaran pada ruang bakar ke lingkungan melalui media fluida yang disirkulasi oleh pompa

Mesin pembakaran internal otomotif modern menghasilkan sejumlah besar panas. Panas ini tercipta ketika campuran bensin dan udara dinyalakan di ruang bakar. Ledakan ini menyebabkan piston dipaksa turun di dalam mesin, mengungkit batang penghubung, dan memutar poros engkol, menciptakan tenaga. Temperatur logam di sekitar ruang bakar dapat melebihi 1000 °F. Untuk mencegah panas berlebih pada oli mesin, dinding silinder, piston,

Corresponding Author:

✉ Najmul Hidayat

Received on: 2023-02-07

Revised on: 2024-01-26

Accepted on: 2024-01-27

katup, dan komponen lainnya oleh suhu ekstrem ini, perlu membuang panas secara efektif. Telah dinyatakan bahwa kendaraan berukuran rata-rata khas dapat menghasilkan panas yang cukup untuk menjaga rumah 5 kamar nyaman hangat selama cuaca 0 °C [13].

Pada sistem pendingin mesin otomotif umumnya memakai *coolant* dengan campuran *ethylene glycol* minimum 30 %. Nanofluida pertamakali dicetuskan untuk menyebutkan campuran antara fluida dan nanopartikel yang mempunyai sifat fisik termal lebih baik dari cairan pendingin murni atau cairan pendingin dengan partikel tersuspensi konvensional [1].

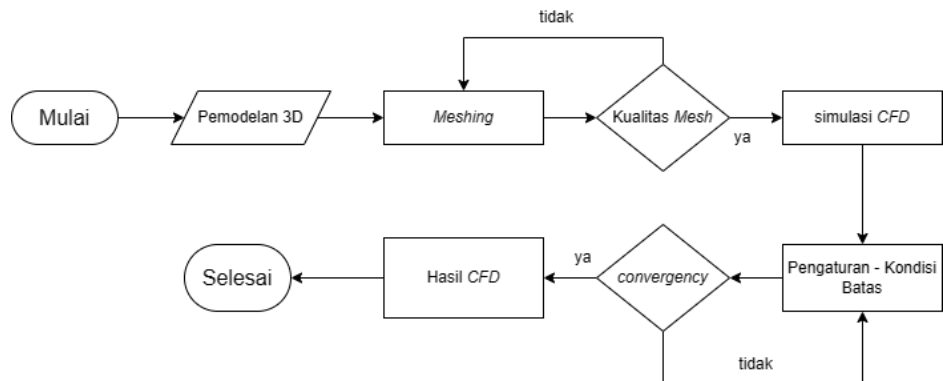
Simulasi telah digunakan untuk analisa perpindahan panas radiator. Sebagian besar simulasi fluida dipakai untuk menyelidiki performa dari radiator. *Software* ANSYS Fluent telah digunakan untuk menganalisa radiator dengan nanofluida Al_2O_3 . Dari penelitian tersebut penambahan nanofluida Al_2O_3 meningkatkan perpindahan panas dari radiator [2]. Analisa numerik pada jenis nanofluida yang sama dengan menggunakan *Software* STARCCM+ telah dilakukan. Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini menunjukkan hasil yang sama dengan penelitian [3].

Tujuan utama dari *Paper* ini adalah untuk mengembangkan korelasi baru untuk sifat termofisika nanofluida dan kemudian menerapkannya dalam pemodelan numerik untuk menentukan perpindahan panas dan kerugian perpindahan panas pada radiator mobil dengan *coolant hybrid* nanofluida. Hasil dari CFD divalidasi dengan hasil pengujian secara kualitatif maupun kuantitatif. *Software* yang dipakai untuk melakukan simulasi adalah ANSYS *Fluent* 19.

2. METODE DAN BAHAN

2.1. Diagram Alir

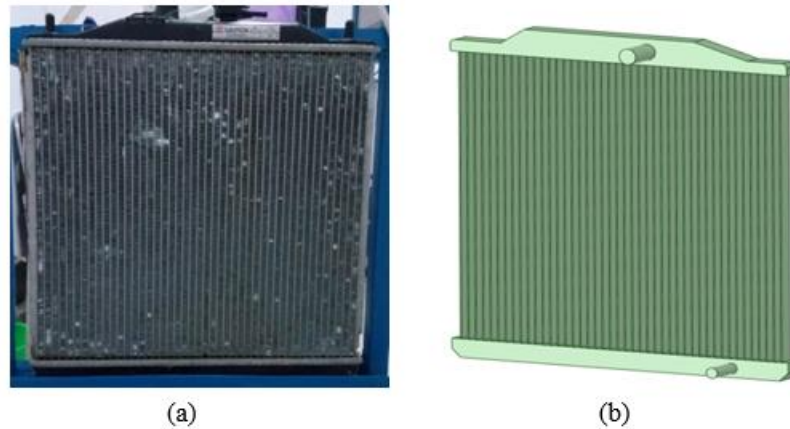
Diagram aliran proses dibawah menunjukkan prosedur yang dilakukan untuk melaksanakan simulasi CFD dari awal proses sampai akhir proses simulasi. Tata urutan langkah pengerjaan dilakukan sesuai urutan pada diagram alir pada Gambar 1. Pertama kali yang dilakukan pada proses simulasi adalah pembuatan model 3d dari radiator. Setelah model kemudian pembuatan *mesh* simulasi. Mesh simulasi harus memenuhi syarat kualitas agar hasil simulasi akurat. *Setup* simulasi dilakukan untuk menyesuaikan kondisi batas simulasi sesuai dengan kondisi eksperimen aktual seperti *massflow*, *temperature inlet*, material fluida dan lain-lain. Tahap terakhir simulasi adalah *post-processing* yaitu pengolahan data hasil simulasi seperti penyajian kontur *temperature*, tekanan, kecepatan dan lain-lain. Nilai-nilai ini akan dibanding dengan hasil eksperimen.



Gambar 1. Diagram alir prosen simulasi CFD *software* ANSYS *Fluet*

2.2. Pemodelan Geometri

Model geometri 3-dimensi dari radiator mobil yang akan diinvestigasi pada pemodelan ini ditunjukkan pada Gambar 2. Radiator yang dipakai sebagai *heat exchanger* pada penelitian ini adalah radiator mobil dengan material aluminium. Tipe aliran radiator yaitu aliran silang dengan menggunakan fin pada sisi udara untuk menaikkan nilai koefisien konveksi. Konstruksi radiator terdiri dari *manifold inlet*, *manifold outlet*, *single row flat tube* dan *corrugated fin*.



Gambar 2. (a) Radiator Jenis *Down Flow Type*, (b) Model 3d domain radiator

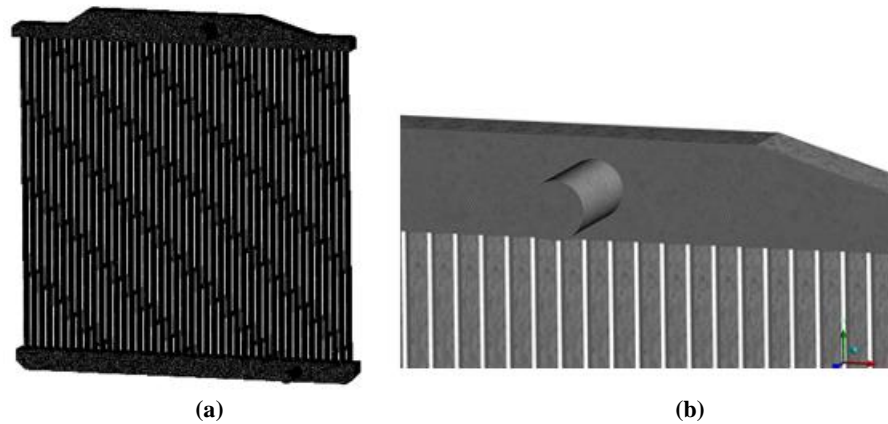
Tabel 1. Ukuran *tube radiator*

No	Nama Bagian	Ukuran/Jumlah
1	Jumlah <i>tube</i>	44
2	Jumlah kolom sirip	47
3	Jumlah sirip/kolom	332
4	Lebar <i>tube</i> (Lt)	21,01 mm
5	Tebal <i>tube</i> (Tbt)	1,7 mm
6	Tebal dinding <i>tube</i> (Tdt)	0,3 mm
7	Tinggi <i>tube</i> (Tgt)	420,6 mm
8	Lebar sirip	7,95 mm
9	Tebal sirip	0,1 mm

2.3. Pembuatan Mesh

Mesh dengan kualitas yang baik sangat penting saat simulasi CFD. Akurasi hasil simulasi, konvergensi perhitungan serta lama simulasi ditentukan oleh kualitas *mesh*. Pembuatan mesh dilakukan dengan menggunakan metode otomatis (*automatic method*) yang terdapat pada ANSYS. Ukuran mesh diatur konstan sebesar 0.001 m diseluruh area domain simulasi. Jumlah total elemen *mesh* 7.7 juta. Keseluruhan simulasi menggunakan jumlah mesh yang sama. Setelah mesh dibuat, kondisi batas simulasi seperti *inlet*, *outlet* dan dinding ditentukan untuk dipakai saat pengaturan pada ANSYS Fluent. Hasil pembuatan *mesh* ditunjukkan pada Gambar 3.

Beberapa parameter *mesh* yang dipakai menentukan kualitas dari mesh diantaranya adalah *skewness* dan *orthogonality*. Maksimum *skewness* dari mesh yang telah dibuat adalah 0.8485 dan minimum *orthogonality* adalah 0.1515. Nilai maksimum *skewness* 0.8485 dikategorikan berkualitas cukup baik. Pada *ANSYS User's Guide*, nilai minimum *orthogonality* bervariasi antara 0 sampai 1. Semakin mendekati angka 0, artinya kualitas mesh semakin jelek. Nilai *orthogonality* sebaiknya diatas angka 0.01. Nilai *orthogonality* 0.1515 dari *mesh* yang telah dibangun, dapat dikatakan bahwa *mesh* berkualitas baik.



Gambar 3. (a) Hasil Mesh Radiator, (b) Hasil Zoom in Mesh Radiator

2.4. Pengaturan Simulasi

Setelah mesh selesai dibuat, proses selanjutnya adalah pengaturan pada simulasi CFD di *Fluent*. Model turbulensi yang dipakai pada simulasi adalah standard k-epsilon dengan *enhanced wall treatment*. Material fluida yang dipakai adalah *hybrid nanofluid Al₂O₃-TiO₂* dimana sifat-sifat termofisiknya dihitung menggunakan Persamaan (1-3) :^[4]

1. Massa Jenis *Hybrid-Nanofluid*

$$\rho_{nf} = \varphi \times \left(\frac{\rho_{p1} + \rho_{p2}}{2} \right) + (1 - \varphi)\rho_b \quad (1)$$

2. Viskositas *Nanofluid Hybrid-Nanofluid*

$$\mu_{nf} = \mu_f(1 + 7,3 \times \varphi + 123 \times \varphi^2) \quad (2)$$

3. Kalor Spesifik *Hybrid-Nanofluid*

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho C_p)_b + \varphi \left(\frac{(\rho C_p)_{p1} + (\rho C_p)_{p2}}{2} \right) \quad (3)$$

Kondisi batas pada inlet adalah kecepatan aksial seragam dan temperatur pada inlet masuk radiator sesuai debit masuk seperti hasil pengujian. Pada *outlet* menggunakan kondisi batas tekanan statik tekanan *relative* atmosfer. Pada dinding *tube* yang merupakan area perpindahan panas antara cairan pendingin, memakai kondisi batas panas total yang dilepas ke lingkungan yang didapat dari hasil eksperimen.

2.5. Alat dan Bahan

Perpindahan panas pada radiator mobil dengan menggunakan cairan pendingin nanofluida menggunakan analisa numerik CFD dengan perangkat lunak *ANSYS FLUENT* versi 19. Hasil dari simulasi CFD akan dibandingkan dengan hasil pengukuran pengujian perpindahan panas radiator dengan nanofluida yang telah dilaksanakan sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan temperatur masuk cairan pendingin, konsentrasi massa campuran partikel nano, laju aliran cairan pendingin. *Hybrid* Nanopartikel yang digunakan $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ (Aluminium Oksida dan Titanium Dioksida) pada cairan dasar *ethylene glycol* dengan variasi konsentrasi massa sebesar 0,25%, 0,30%, dan 0,35%. Laju cairan pendingin pada variasi 20 LPM, 22 LPM, 24 LPM, 26 LPM, dan 28 LPM. Temperatur cairan pendingin divariasikan pada 70°C, 80°C dan 90°C.

Geometri radiator dimodelkan menggunakan perangkat lunak *SPACECLAIM Ansys* untuk mendapat model 3D dari radiator yang akan digunakan pada analisa CFD. 3D model yang dibangun kemudian di meshing dengan ukuran mesh tertentu dengan tetap menjaga kualitas mesh. Kondisi batas dan model matematis dari karakteristik aliran dipilih saat proses setup pre-processing. Analisa numerik diselesaikan menggunakan *software ANSYS Fluent* hingga konvergensi perhitungan tercapai. Prosedur ini dilakukan untuk tiap-tiap simulasi pada variasi parameter seperti disebutkan sebelumnya.

2.6. Nanofluida

a. Aluminium Oksida

Aluminium oksida seperti Gambar 4 adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al_2O_3 . Nama mineralnya adalah alumina, dan dalam bidang pertambangan, keramik dan teknik material senyawa ini lebih banyak disebut dengan nama alumina. Secara alami, aluminium oksida terdapat dalam bentuk kristal *corundum*. Batu mulia rubi dan *sapphire* tersusun atas *corundum* dengan warna-warna khas yang disebabkan kadar ketidakh murnian dalam struktur *corundum*.



Gambar 4. Aluminium Oksida

b. Titanium Dioksida

Titanium dioksida seperti Gambar 5 merupakan jenis material semikonduktor yang tidak terdapat di alam secara alami, namun diekstrak dari *leucocene* dan bijih *ilmenite*. Untuk mendapatkan fase *rutile*, *ilmenite* FeTiO_3 direduksi oleh grafit/karbon di dalam hidrogen pada suhu 510°C.

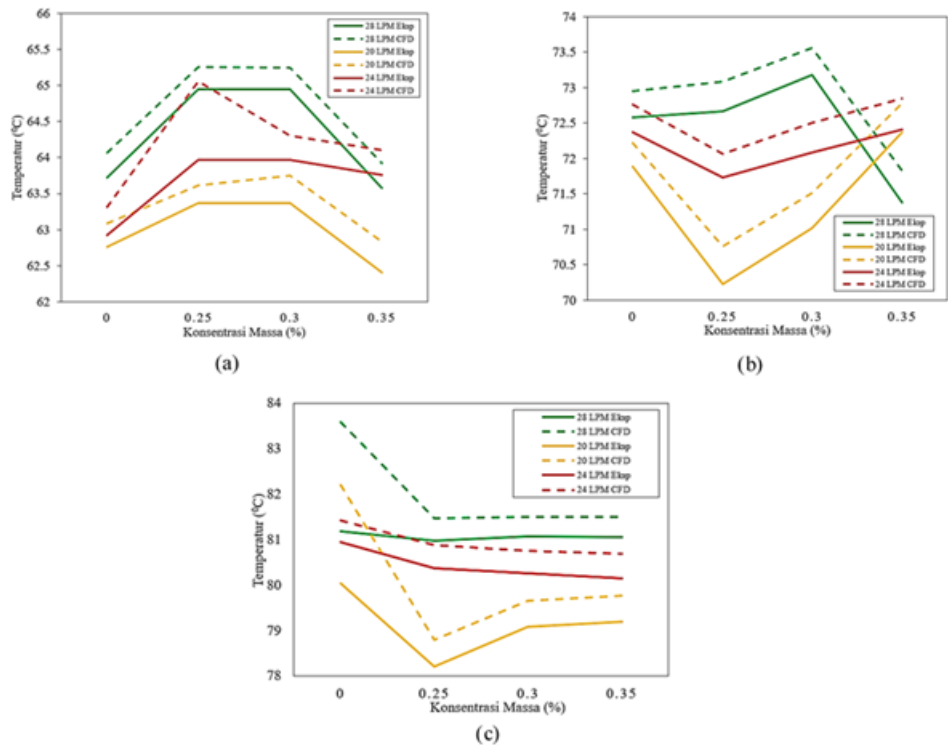


Gambar 5. Titanium Dioksida

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Hasil Pengujian

Dari simulasi CFD dapat diketahui nilai temperatur *outlet* dari masing-masing parameter. Nilai temperatur *outlet* hasil simulasi dan eksperimen ditunjukkan pada Gambar 6, sehingga keduanya dapat dibandingkan. Dari grafik kita dapat membandingkan secara kualitatif nilai temperatur *outlet* hasil simulasi dan eksperimen, dimana pola kecenderungan grafik hasil simulasi mirip dengan pola dari grafik hasil eksperimen. Pada temperatur inlet 70°C, 80°C, dan 90°C penurunan terendah pada konsentrasi massa 0,25 % pada debit 20 LPM pada Tin 80°C.



Gambar 6. Grafik Perbandingan *T_{out}* Hasil CFD vs Eksp pada Tin (a) 70°C (b) 80°C (c) 90°C

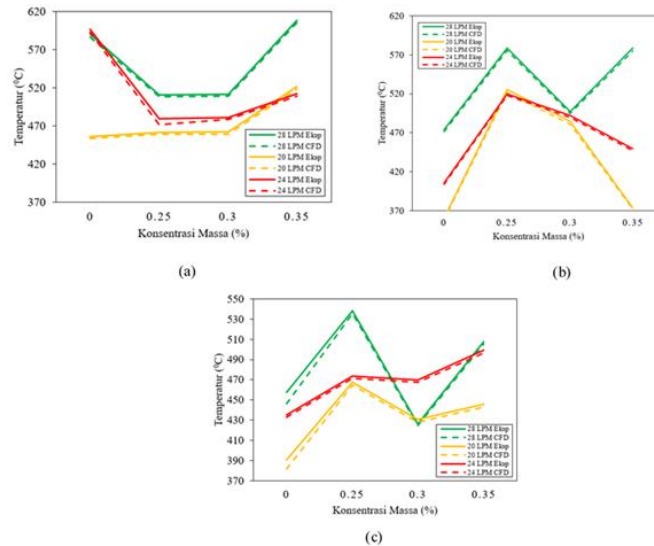
Nilai error temperatur outlet hasil simulasi dan eksperimen ditunjukkan pada (Tabel 2). Nilai *error* maksimum adalah 2.7 % pada debit 20 lpm dan Tin 90°C pada *coolant* tanpa *hybrid*-

nanofluida, sedangkan nilai error paling kecil yaitu 0,3 % pada debit 20 lpm. Tin 70oC pada konsentrasi *hybrid*-nanofluida 0,25 %.

Tabel 2. Tabel *Error Tout* CFD vs *Tout* Eksp pada Tin 70,80,90 °C

No	Konsentrasi (%)	Debit (Lpm)	Error CFD Vs Eksp (%)		
			T _{in} 70 (°C)	T _{in} 80 (°C)	T _{in} 90 (°C)
1	0	20	0,528999	0,474402	2,705236
2		24	0,629371	0,537516	0,586854
3		28	0,547709	0,509782	2,962917
4	0,25	20	0,378728	0,754663	0,750639
5		24	1,691418	0,467029	0,648333
6		28	0,466513	0,569699	0,602692
7	0,3	20	0,604387	0,698395	0,71826
8		24	0,525246	0,593785	0,618069
9		28	0,461894	0,519268	0,518071
10	0,35	20	0,677776	0,567915	0,715999
11		24	0,537955	0,602127	0,677564
12		28	0,542623	0,63183	0,55768

Berdasarkan Gambar 7 diperoleh nilai U hasil eksperimen pada debit 20 Lpm dan temperatur *inlet* 70°C sebesar hasil 455,74 W/m².°C untuk radiator *coolant* tanpa penambahan hibrid-nanofluida (RC murni,0%) , pada konsentrasi 0,25 % mengalami peningkatan sebesar 460,95 W/m².°C, pada konsentrasi 0,30 % terjadi peningkatan yaitu 462,09 W/m².°C, dan pada konsentrasi 0,35% terjadi peningkatan yaitu 521,72 W/m².°C. Hasil dari CFD pada konsentrasi RC murni (0%) adalah 453,19 W/m².°C, pada konsentrasi 0,25 % mengalami peningkatan adalah 459,11 W/m².°C, pada konsentrasi 0,30 % terjadi peningkatan yaitu 459,16 W/m².°C, dan pada konsentrasi 0,35% terjadi peningkatan yaitu 518,08 W/m².°C. Jika dibandingkan hasil dari eksperimen dan CFD, pola perubahan U terhadap konsentrasi hibrid nanofluida memiliki trend yang relatif sama dengan maksimum *error* sebesar -0.69 % (Tabel 3.)

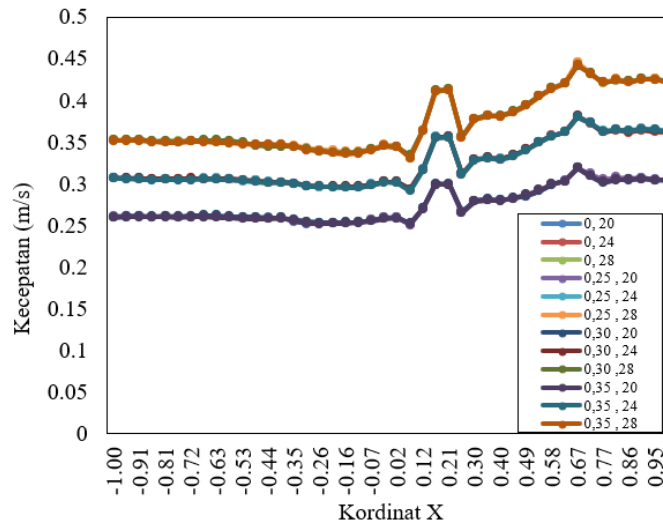


Gambar 7. Grafik 2. Perbandingan U Hasil CFD vs Eksp pada Tin (a) 70°C (b) 80°C (c) 90°C

Tabel 3. Error Utot CFD vc Tout Eksp pada pada Tin 70,80,90 °C

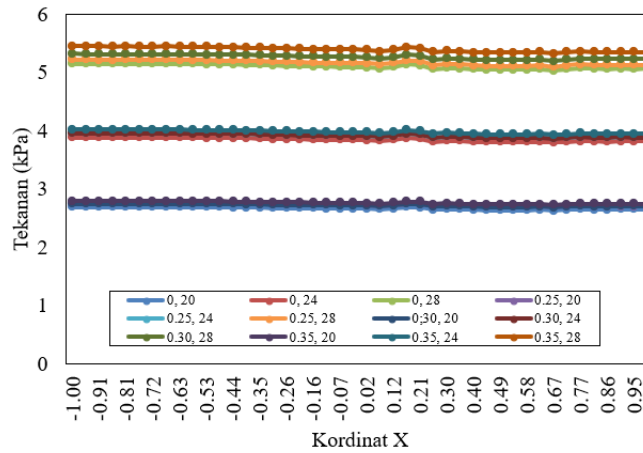
No	Konsentrasi (%)	Debit (Lpm)	Error CFD vs Eksp (%)		
			T _{in} 70 (°C)	T _{in} 80 (°C)	T _{in} 90 (°C)
1	0	20	-0,55992	-0,42553	-2,24116
2	0	24	-0,67978	-0,48219	-0,5057
3	0	28	-0,56563	-0,46291	-2,45062
4	0,25	20	-0,39918	-0,7095	-0,64556
5	0,25	24	-1,68457	-0,43774	-0,55262
6	0,25	28	-0,47421	-0,53408	-0,52673
7	0,3	20	-0,63511	-0,64921	-0,61741
8	0,3	24	-0,53088	-0,54108	-0,53522
9	0,3	28	-0,46954	-0,47195	-0,44004
10	0,35	20	-0,69592	-0,52091	-0,61872
11	0,35	24	-0,5532	-0,53792	-0,58185
12	0,35	28	-0,55397	-0,57523	-0,48043

Gambar 8 menunjukkan distribusi temperatur pada bagian tengah radiator. Distribusi temperatur tidak merata atau konstan sepanjang lebar radiator. Ada bagian dimana temperatur fluida lebih tinggi dari bagian yang lain. Ini sebesar 87,99 °C pada konsentrasi massa 0 % dan debit 28 LPM kemungkinan disebabkan oleh posisi inlet radiator yang menyebabkan distribusi kecepatan fluida menjadi tidak konstan.



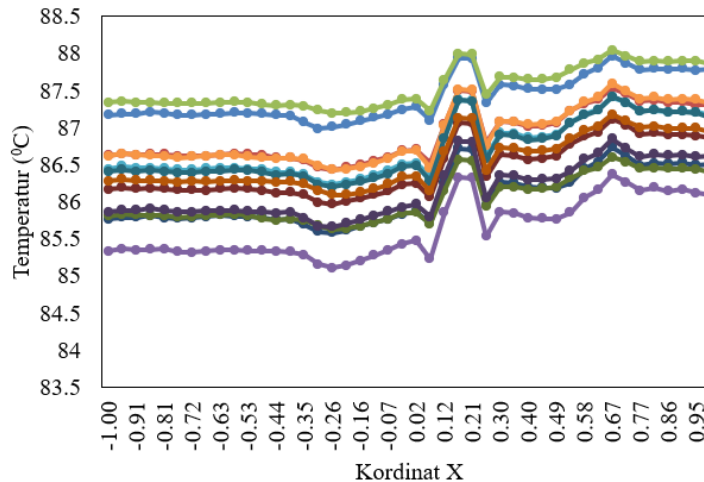
Gambar 8. Grafik distribusi aliran temperatur CFD pada Tin 90 °C

Gambar 9. Grafik menunjukkan distribusi tekanan pada bagian tengah radiator. Dari grafik terlihat bahwa distribusi temperatur relatif konstan sepanjang lebar radiator.



Gambar 9. Grafik distribusi aliran tekanan CFD pada Tin 90 °C

Gambar 10. Grafik menunjukkan distribusi kecepatan pada bagian tengah radiator. Dari grafik terlihat bahwa distribusi kecepatan tidak merata sepanjang lebar radiator. Ada bagian dimana temperatur fluida lebih tinggi yaitu 0,44 m/s pada konsentrasi massa 0,35 % dan debit 28 LPM. Ini kemungkinan disebabkan oleh posisi *inlet* radiator yang menyebabkan distribusi kecepatan fluida menjadi tidak konstan dimana distribusinya cenderung lebih tinggi dibagian sisi kanan radiator.



Gambar 10. Grafik distribusi aliran Kecepatan CFD pada Tin 90 °C

4. KESIMPULAN

Secara umum, hasil dari simulasi CFD baik dalam memprediksi temperatur outlet radiator maupun nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh radiator baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Secara kualitatif, pola nilai temperatur *outlet* maupun koefisien perpindahan panas menyeluruh memiliki kecenderungan yang sama dengan pola dari hasil pengujian jika diplot pada grafik dengan kondisi konsentrasi campuran *hybrid* nanofluida yang berbeda-beda.

Dari hasil simulasi menggunakan *software ANSYS FLUENT* di dapat peningkatan temperatur paling tinggi pada T *inlet* 90 oC sebesar 87,99 °C pada konsentrasi massa 0 % dan debit 28 LPM, untuk tekanan *inlet* air yang masuk ke radiator dengan proses CFD di dapat perbedaan tekanan paling tinggi pada T inlet 70 °C yaitu 5,93 kPa pada konsentrasi

0,35 % dan debit 28 lpm, dan pada kecepatan inlite air yang masuk ke radiator dengan proses CFD terlihat relatif sama pada setiap Tinlite 70,80, dan 90 °C yaitu sebesar 0,44 m/s pada konsentrasi massa 0,35 % dan debit 28 LPM.

Secara kuantitatif nilai *error* temperatur *outlet* hasil CFD maksimum adalah 2.9% dan minimum 0.4% jika dibandingkan dengan hasil pengujian. Untuk nilai *error* koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar dan terendah yaitu -2.45% dan -0.4%. Analisa CFD memprediksi nilai temperatur *outlet* lebih tinggi dari hasil pengujian, sebaliknya untuk nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh nilai dari CFD lebih rendah dari pengujian

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Choi, S. U. S., “*Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*”, *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition Proceedings*, pp. 99–105, Jan. 1995.
- [2] Anis. S., Kayunda. Y.C., Kusumastuti. A., Simajuntak. J.P, “*Simulation Study of Al₂O₃-H₂O Nanofluids as Radiator Coolant Using Computational Fluid Dynamics Method*”, *Institute of Physics Conference Series: Earth and Environmental Science*, Sept. 2021.
- [3] Angadi. V. M., Nagaraj. R., Hebbal. O.D, “*CFD Analysis of Heat Transfer Enhancement of a Car Radiator using Nanofluid as A Coolant*”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, v. 3 Issue 8, Aug. 2014.
- [4] H Masuda, A. Ebata, K Teramae, N Hishinuma, Y. Ebata, “*Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of γ -Al₂O₃, SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles)*”, *Japan Society of Thermophysical Properties*, v. 7, Issue 4, pp. 227-233, 1993.
- [5] Barakbah. A.R., “*Cluster Analysis, Soft Computation Research Group*”. *The Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya*, 2006.
- [6] Baraldi. A., dan Blonda. P., “*A Survey of Fuzzy Clustering Algorithms for Pattern Recognition*”. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, v.29, pp. 778 – 785, 1998.
- [7] Berry. M.J.A. dan Linoff. G.S., “*Mastering Data Mining, The Art and Science of Customer Relationship Management, Wiley Computer Publishing*” v.100, n. 5, pp. 245-246, Jul. 2000.
- [8] Ding, Yulong, Alias, Hajar, Wen, Dong-Sheng & Williams, Richard, (2006). “*Heat Transfer of Aqueous Suspensions of Carbon Nanotubes (CNT nanofluids). International Journal of Heat and Mass Transfer*”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 49, Issues 1–2, pp. 240-250, Jan. 2006.
- [9] Han, Zenghu, Yang, B, Kim, S & Zachariah, M., “*Application of hybrid sphere/carbon nanotube particles in nanofluids. Nanotechnology*”, *Institute of Physics science*, v. 18, n. 10, Jan. 2007.
- [10] Nine, Md J., Batmunkh, Munkhbayar, Kim, Jun-Hyo, Chung, Han-Shik & Jeong, Hyo-Min., “*Investigation of Al₂O₃-MWCNTs Hybrid Dispersion in Water and Their Thermal Characterization*”, *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, v. 12, n. 6, pp. 4553-9, Jun. 2012.
- [11] Xuan, Y. M., dan Q. Li. “*Heat transfer enhancement of nanofluids.*” *International Journal of Heat and Fluid*, v. 21, Issue 1, pp. 58-64, Feb. 2000.

- [12] Said. Z., Assad. M.E.H., Hachicha. A.A., Bellos. E., Abdelkareem. M. A., Alazaizah. D. Z., Yousef. B. A. A., "Enhancing the performance of automotive radiators using nanofluids.", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 112, pp. 183-194, Sep. 2019.
- [13] Permana. A., Fauzan. A., Christiand., "Aplikasi Nanofluida Pada Radiator", Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia.
- [14] Hamid. K., Azmi. W.H., Mamat. R., Usri. N.A., Najafi. G., "Effect of Titanium Oxide Nanofluid Concentration on Pressure Drop", *Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 10, n. 17, Sep. 2015.
- [15] Sudarmadji., "The New Correlations for Heat Transfer in The Cooling Process Of Al2O3-Water Nanofluids In Pipe", *Journal of Applied Engineering Science*, v. 13, n. 4, 2015.