

PROSES PERSIAPAN NANOFLUIDA HYBRID $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ PADA DOUBLE PIPE HEAT EXCHANGERS

Muchlas Hidayatulloh

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muchlas.18043@mhs.unesa.ac.id

I Made Arsana

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: madearsana@unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan dunia industri 4.0 memiliki peranan yang cukup signifikan. Salah satu contoh utama dalam industrial adalah pada proses perpindahan kalor. Dalam proses perpindahan kalor dipetakan menjadi beberapa kategori, seperti pada unit pendinginan yang berperan besar dalam industrial. Salah satu contoh media perpindahan kalor yang sering digunakan dalam rekayasa perkembangan industrial ialah penukar kalor tabung ganda. Pada umumnya, fluida kerja yang digunakan pada media penukar kalor berupa fluida konvensional (Air, Etylen Glicol, Minyak) yang memiliki karakter nilai konduktivitas termal dasar. *Nanofluida Hybrid* menjadi solusi utama dan menjadi terobosan baru dalam menangani permasalahan pada fluida kerja dengan karakteristik konduktivitas termal relatif tinggi. perlakuan awal yang dikerjakan dalam penggunaan *Nanofluida Hybrid* ialah perlakuan pada nanopartikel menggunakan Scanning Electron Microscopy (SEM) pada nanopartikel yang digunakan. Pada proses lanjutan terdapat perlakuan Persiapan Nanopartikel, perlakuan Dispersi / Pencampuran Nanopartikel dengan Fluida Dasar, perlakuan Sonifikasi *Nanofluida Hybrid*, dan Pengujian *Nanofluida Hybrid* dalam penukar kalor tabung ganda. penentuan kualitas dan skala optimasi pada *Nanofluida Hybrid* selain dipengaruhi oleh nilai konsentrasi volume juga pada temperatur kerja yang digunakan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perlakuan terhadap *Nanofluida Hybrid* $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ merupakan faktor utama dalam menentukan nilai laju perpindahan kalor dan nilai efektivitas pada penukar kalor tabung ganda.

Kata Kunci: Penukar Kalor Tabung Ganda, Nanofluida Hybrid, Fraksi Volume, SEM (Scanning Electron Microscopy), Al_2O_3 , TiO_2

Abstract

The development of industrial world 4.0 has a quite significant role. One of the main examples in industry is the heat transfer process. In the heat transfer process it is mapped into several categories, such as in cooling units which play a large role in industry. One example of a heat transfer medium that is often used in industrial development engineering is a double tube heat exchanger. In general, the working fluid used in heat exchange media is a conventional fluid (water, ethylene glycol, oil) which has basic thermal conductivity values. Hybrid nanofluids are the main solution and a new breakthrough in dealing with problems in working fluids with relatively high thermal conductivity characteristics. The initial treatment carried out in using Hybrid Nanofluids is treatment of the nanoparticles using Scanning Electron Microscopy (SEM) on the nanoparticles used. In the advanced process there is Nanoparticle Preparation treatment, Dispersion / Mixing Nanoparticles with Base Fluid treatment, Hybrid Nanofluid Sonification treatment, and Hybrid Nanofluid Testing in a double tube heat exchanger. Determining the quality and optimization scale of Hybrid Nanofluids is not only influenced by the volume concentration value but also the working temperature used. Thus, it can be concluded that the treatment of the $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ Hybrid Nanofluid is the main factor in determining the value of the heat transfer rate and the effectiveness value of the double tube heat exchanger.

Keywords: Double Pipe Heat Exchanger, Hybrid Nanofluid, Volume Fraction, SEM (Scanning Electron Microscopy), Al_2O_3 , TiO_2

PENDAHULUAN

Penukar panas tabung ganda adalah salah satu jenis penukar panas paling canggih yang digunakan dalam sistem mekanis. Double Pipe dikenal sebagai pertukaran pipa ganda karena salah satu cairan mengalir di pipa bagian dalam dan yang lainnya mengalir di sekitar pipa bagian dalam melalui ruang annular. Pipa ganda sangat nyaman digunakan dan dioperasikan pada rentang suhu yang luas dan tekanan tinggi. Aktivitas yang dilakukan dalam dalam beberapa dekade terakhir telah mengakibatkan munculnya inovasi pada fluida kerja dan

Nanofluida Hybrid $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ didefinisikan sebagai cairan potensial yang menawarkan kinerja perpindahan panas yang lebih baik dan sifat fisik termo dari cairan perpindahan panas konveksi (minyak, air dan etilen glikol). [1]

Aluminium Oxide (Al_2O_3) dikategorikan sebagai jenis senyawa kimia dari aluminium dengan perlakuan oksidasi. Keunggulan Al_2O_3 Sendiri antara lain memiliki properties panas, kimiawi, dan properties fisikal yang baik. Alumunium oksida sering digunakan pada industri khususnya fabrikasi, dan sangat terjangkau untuk dicari.[2]

Titanium Dioxide (TiO₂) Titanium dioksida adalah senyawa kimia dari titanium dengan perlakuan oksidasi. Keunggulan menggunakan TiO₂ adalah tergolong nanopartikel yang mempunyai sifat termal yang baik dan termasuk senyawa yang mudah larut dan tidak mudah mengendap dalam air. [3]

Penggunaan variasi pada fraksi Volume yang terdiri dari konsentrasi rendah (0,1%; 0,3%; 0,5%; dan 0,7%) dengan perbandingan fluida dasar dan campuran nanopartikel yang digunakan dengan tiga jenis perbandingan nanopartikel antara Al₂O₃ dan TiO₂ yaitu (50% Al₂O₃ : 50% TiO₂) didapati peningkatan fraksi volume dari konsentrasi rendah ke tinggi meningkatkan nilai konduktivitas termal dimana masing masing memiliki nilai konduktivitas termal 0,6 W/m °C, 0,64 W/m °C, 0,66 W/m °C, 0,71 W/m °C, 0,73 W/m °C, 0,74 W/m °C, 0,76 W/m °C dan 0,78 W/m °C jika dibandingkan dengan fluida dasar yang digunakan yakni air dengan konduktivitas termal 0,56 W/m °C dan massa partikel yang di dispersikan maka fraksi volume 0,5% memberikan peningkatan konduktivitas termal yang paling signifikan dibandingkan dengan fraksi volume yang lain. [4]

Berdasarkan penelitian sebelumnya pada kondisi fraksi volume 0,5% memiliki nilai konduktivitas termal tertinggi maka penulis memiliki ide dan gagasan dalam meningkatkan nilai Konduktivitas Termal menggunakan *Nanofluida Hybrid* (Al₂O₃ – TiO₂) dengan menggunakan variasi temperatur kerja dan konsentrasi volume dalam meningkatkan nilai Konduktivitas Termal *Nanofluida Hybrid* (Al₂O₃ – TiO₂) pada Double Pipe Heat Exchanger pada proses Persiapannya.

METODE

Metode yang digunakan adalah metode Eksperimen. Metode eksperimen yang dilakukan Persiapan Sebelum Dilakukannya Pengambilan data *Nanofluida Hybrid* Al₂O₃ – TiO₂ 1%, 3%, dan 5%. Kemudian dilakukan Perhitungan Massa untuk Fraksi Volume dengan sistematis dan Disajikan Dalam Bentuk Tabel dan Gambar. Penelitian Ini dilakukan dalam kondisi peralatan yang sudah disesuaikan.

Tempat dan Waktu Penelitian

- Tempat Penelitian
Penelitian ini dilakukan di Universitas Negeri Surabaya, Jurusan Teknik Mesin, Lab Perpindahan Panas A8.02.01, Fakultas Teknik.
- Waktu Penelitian
Penelitian dilaksanakan setelah Seminar Proposal disetujui dan telah dilakukan revisi.

Spesimen Penelitian

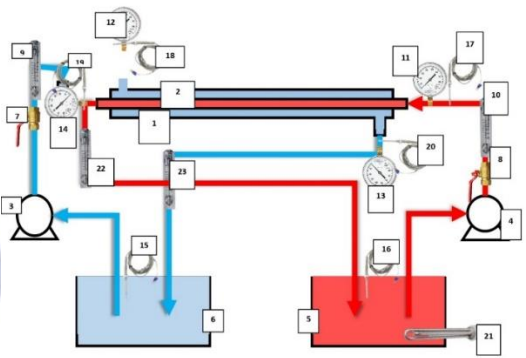
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Nanopartikel Al₂O₃ dan TiO₂ yang sudah terdispersi dan telah dilakukan Penimbangan dan Pencampuran menggunakan Ultrasonic Cleaner. Berikut Ini Spesifikasi Spesimen Tersebut :

- Al₂O₃**
Nanopartikel : Aluminium Oksida
Rumus Kimia : Al₂O₃

- Massa Molar : 101,96 g/mol
Densitas : 3,94 g/cm³
Titik didih : 2980 °C.
Titik lele : 2050 °C.
Kelarutan : Tidak Larut dengan air
Bau : Tidak Berbau

- TiO₂**
Nanopartikel : Titanium Dioksida
Rumus Kimia : TiO₂
Massa Molar : 79,866 g/mol
Densitas : 4,23 g/cm³
Titik didih : 2972 °C.
Titik lele : 1843 °C.
Kelarutan : Larut dengan air
Bau : Tidak Berbau

Alat Penelitian



Gambar 1. Skema Alat Uji DPHE

Tabel 1. Keterangan Skema alat Uji DPHE.

No	Ket	No	Ket
1	Outer pipe	13	Pressure gauge outlet fluida Panas
2	Inner pipe	14	Pressure gauge Outlet fluida Panas
3	Pompa air dingin	15	Thermometer Tandon fluida Dingin
4	Pompa air panas	16	Thermometer tandon fluida Panas
5	Tandon air panas	17	Thermocouple inlet fluida Panas
6	Tandon air dingin	18	Thermocouple inlet fluida Dingin
7	Valve fluida dingin	19	Thermocouple outlet fluida Panas
8	Valve fluida Panas	20	Thermocouple outlet fluida Panas
9	Flowmeter	21	Heating Element

	inlet fluida dingin		
10	Flowmeter inlet fluida Panas	22	Flowmeter outlet fluida panas
11	Pressure gauge inlet fluida panas	23	Flowmeter outlet fluida dingin
12	Pressure gauge inlet fluida dingin	24	Thermocouple permukaan luar outerpipes

Tabel 2 . Spesifikasi Alat Uji DPHE

No	Komponen	Klasifikasi Konstruksi	Dimensi
1	Fluida	Aliran	Counter flow
		Tipe perpindahan panas	Kontak tidak langsung
		Laluan fluida	Satu fasa
		Fluida dari sisi <i>outer pipe</i>	Air
		Fluida dari sisi <i>inner pipe</i>	Air
		Temperatur fluida dingin <i>inlet</i> di sisi <i>outer pipe</i>	30
		Temperatur fluida panas <i>inlet</i> di sisi <i>inner pipe</i>	80
2	Outer pipe	Jumlah laluan <i>Outer pipe</i>	1 laluan
		Diameter luar <i>Outer pipe</i>	76,2 mm
		Diameter dalam <i>Outer pipe</i>	72,2 mm
		Material <i>Outer pipe</i>	Stainless steel 304
3	Inner pipe	Jumlah laluan <i>Inner pipe</i>	1 laluan
		Diameter luar <i>Inner pipe</i>	25,4 mm
		Diameter dalam <i>Inner pipe</i>	23,4 mm
		Ketebalan <i>Inner pipe</i>	1 mm
		Panjang <i>Inner pipe</i>	1,1 mm
		Material <i>Inner pipe</i>	Tembaga (Cu)
4	DPHE polos	Panjang	1000 mm
		Material	Tembaga (Cu)
		Ketebalan	1 mm
		Diameter	24,4 mm

Berikut merupakan komponen – komponen utama dan pendukung dalam tahap *Preparation* dan *Mixing* ini, antara lain :

- Timbangan digital
Timbangan digital merupakan media yang digunakan sebagai penimbang takaran massa jenis nanopartikel yang akan digunakan.



Gambar 2. Timbangan Digital.

- Gelas Ukur
Gelas Ukur Merupakan salah satu perantara dalam sebuah laboratorium kimia yang memiliki fungsi untuk mengukur volume sebuah larutan / fluida.



Gambar 3. Gelas Ukur

- Ultrasonic Cleaner



Gambar 4. Ultrasonic Cleaner

Ultrasonicator cleaner merupakan alat yang digunakan dalam proses dispersi / *Mixing* nanopartikel dengan fluida dasar sampai menjadi *Nanofluida Hybrid*.

Tahapan Persiapan Nanofluida

Nanofluida dibuat dengan mendispersikan nanopartikel dalam cairan dasar. Dispersi yang baik merupakan prasyarat untuk penerapan nanofluida. Oleh karena itu surfaktan kadang kadang digunakan untuk meningkatkan stabilitas nanofluida. Selain itu, modifikasi permukaan partikel terdispersi dan penerapan gaya kuat pada kelompok nanopartikel terdispersi dapat meningkatkan stabilitas nanofluida. Ada dua metode dasar untuk menyiapkan nanofluida yaitu metode fisik satu langkah dan dua langkah. Proses kimia adalah teknologi baru lainnya dalam pembuatan nanofluida. Itu persentase konsentrasi volumetrik dihitung dari Persamaan :

$$\phi = \frac{V_p}{V_l} \times 100\%$$

$$V_p = \frac{W_p}{\rho_l}$$

$$W_p = V_p \times \rho_p$$

Dimana :

ϕ = fraksi volume

- V_p = volume partikel (cm^3)
 V_l = volume larutan fluida dasar (l)
 W_p = berat partikel (kg)
 ρ_l = massa jenis larutan fluida dasar (kg/m^3)
 ρ_p = massa jenis partikel nano (kg/m^3)

Metode Pembuatan *Nanofluida Hybrid*

• Metode Satu Langkah

Dalam metode ini, beberapa proses dihindari seperti pengeringan, penyimpanan, transportasi, dan dispersi nanopartikel. *Nanofluida* stabil dibuat dengan teknik Deposisi Uap Fisik (PVD) di mana penguapan langsung dan kondensasi nanopartikel dilakukan dalam fluida dasar. Nanopartikel murni dan seragam diproduksi dengan metode ini. Oleh karena itu akumulasi nanopartikel berkurang. Kelemahan utama metode satu langkah adalah sisa reaktan tertinggal dalam *nanofluida* dan biayanya juga tinggi. Zhu dkk. [5] menyiapkan metode satu langkah *nanofluida* Cu.

• Metode dua langkah

Ini adalah metode paling ekonomis untuk preparasi *nanofluida* skala besar. Dalam metode dua langkah, nanopartikel diperoleh dengan metode berbeda dan kemudian nanopartikel tersebut didispersikan ke dalam cairan dasar untuk menghasilkan *nanofluida* yang diinginkan. Proses produksi ini murah dan masif. Kelemahan utama metode dua langkah adalah agregasi nanopartikel. Karena ketidakstabilannya, surfaktan digunakan. Ini adalah metode komersial untuk menyiapkan *nanofluida*. Sebagian besar peneliti lebih memilih metode ini dalam persiapan *nanofluida* untuk penelitian. Zhu dkk. [6] menggunakan metode dua langkah untuk menyiapkan $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{nanofluida}$ air. Angka1 mendemonstrasikan metode dua langkah

Proses Pencampuran

Dalam tahapan awal sesuai dengan skema perlakuan awal pada nanopartikel di flowchart diatas, terlebih dahulu dilakukan perhitungan mengenai massa jenis dari nanopartikel yang akan digunakan, setelah itu di lakukan perhitungan pada volume *Nanofluida Hybrid* sebelum digunakan. Berikut merupakan hasil perhitungan massa jenis dan volume larutan yang telah dilakukan :

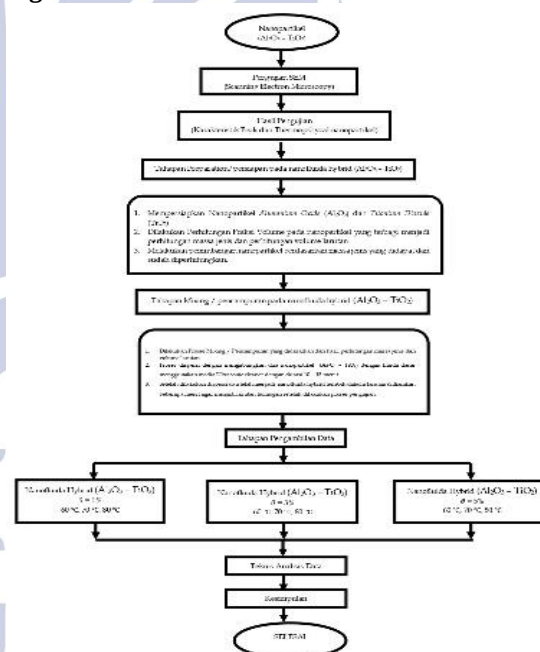
Setelah didapati hasil dari perhitungan diatas, dilakukan tahapan – tahapan dispersi pada nanopartikel sebelum menjadi *Nanofluida Hybrid* :

- Menimbang / menakar nanopartikel yang akan digunakan menggunakan timbangan digital, nanopartikel yang digunakan adalah Aluminium Oxide (Al_2O_3) Dan Titanium Dioxide (TiO_2).
- Nanopartikel Aluminium Oxide dan Titanium Dioxide dispakan untuk dikenai tahapan dispersi.
- Untuk metode pencampuran fraksi volume *Nanofluida Hybrid* yaitu dengan melakukan perbandingan volume fluida dasar yang digunakan dengan volume nanopartikel yang

digunakan. Misalnya untuk fraksi volume 1% = 1% volume nanopartikel (Al_2O_3) dan (TiO_2) dibagi 1% volume fluida dasar yang digunakan (1% dari 1 kg nanopartikel dan 1% volume fluida dasar x 100 %), sehingga hasilnya diuji seluruh *nanofluida*, dan untuk pencampuran fraksi volume 3% dan 5% dilakukan dengan perbandingan yang sama. Dalam penelitian ini, 0,5 L cairan dasar digunakan.

- Setelah tahapan diatas, nanopartikel (Al_2O_3) dan (TiO_2) dicampur pada fluida dasar berupa Air (H_2O) tahapan ini adalah sonifikasi. Menggunakan ultrasonic cleaner Mendasar pada perhitungan massa jenis dan volume larutan yang telah dilakukan, setelah itu dilakukan proses disperse nanopartikel $\pm 5 - 10$ menit.
- Langkah akhir adalah larutan didiamkan hingga menjadi larutan yang homogen selama ± 10 menit. Setelah itu *Nanofluida Hybrid* siap digunakan.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram Aliran.

Penelitian ini, penulis menggunakan metode analisis data secara deskriptif kualitatif, yaitu dengan mendeskripsikan data secara sistematis, faktual, dan akurat yang menjelaskan tentang hasil yang diketahui pada setiap tahapan-tahapan penelitian dan pengumpulan data.

Analisis yang digunakan pada studi eksperimental ini dilakukan dengan memakai data pada instrument yang terdapat pada objek yang diteliti, diperkirakan

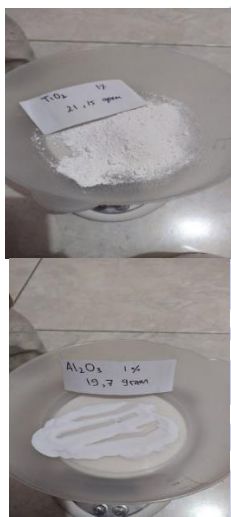
secara teoritis dan disajikan berupa table dan grafik sehingga hasil yang didapat mudah dimengerti.

Studi eksperimental ini digunakan sebagai indikasi informasi secara ilmiah berbagai keadaan / situasi yang terdapat pada objek yang diteliti ketika dilakukan studi eksperimental tentang data pengaruh temperatur dan Fraksi Volume Nanofluida Hybrid $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ terhadap Laju Perpindahan Panas Pada Double Pipe Heat Exchanger.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil dispersi *Nanofluida Hybrid* ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$) dengan fraksi volume 1%, 3%, dan 5% yang didasarkan pada perhitungan massa nanopartikel dengan fluida dasar. Berikut hasil penimbangan / penakaran nanopartikel pada fraksi volume 1% :



Gambar 6. Perhitungan massa Jenis Nanopartikel Aluminium oxide dan Titanium Dioxide Pada Fraksi Volume 1%.

Setelah dilakukan perhitungan massa jenis pada nanopartikel, maka selanjutnya dilakukan pencampuran volume *Nanofluida Hybrid* dan dilakukan proses dispersi :



Gambar 7. *Nanofluida Hybrid* ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$) Dalam Proses Dispersi Pada Fraksi Volume 1%.

Dari hasil pencampuran terlihat bahwa tingkat kekentalan *Nanofluida Hybrid* yang terdispersi menggunakan fraksi volume 1% terlihat putih pekat didominasi oleh struktur nanopartikel yang dominan dan sifat nanopartikel yang mudah larut menyebabkan kondisi hasil pencampuran pekat seperti terlihat pada Gambar 9.

Selanjutnya untuk hasil penimbangan / penakaran nanopartikel pada fraksi volume 3% :



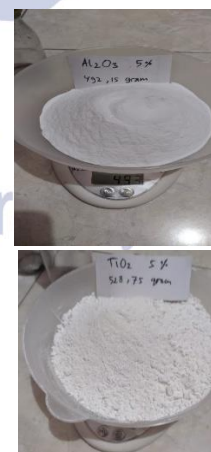
Gambar 8. Perhitungan massa Jenis Nanopartikel Aluminium oxide dan Titanium Dioxide Pada Fraksi Volume 3%.

Dari hasil pencampuran terlihat bahwa tingkat kekentalan *Nanofluida Hybrid* yang terdispersi menggunakan fraksi volume 3% terlihat lebih pekat karena didominasi oleh kombinasi air dan nanopartikel $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ yang sudah menjadi larutan homogen dan tidak presipitasi telah terjadi Setelah dilakukan perhitungan massa jenis pada nanopartikel, maka selanjutnya dilakukan pencampuran volume *Nanofluida Hybrid* dan dilakukan proses Dispersi



Gambar 9. *Nanofluida Hybrid* ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$) Dalam Proses Dispersi Pada Fraksi Volume 3%.

Selanjutnya untuk hasil penimbangan / penakaran nanopartikel pada fraksi volume 5% :



Gambar 10. Perhitungan massa Jenis Nanopartikel Aluminium oxide dan Titanium Dioxide Pada Fraksi Volume 3%.

Setelah dilakukan perhitungan massa jenis pada nanopartikel, maka selanjutnya dilakukan pencampuran

volume *Nanofluida Hybrid* dan dilakukan proses dispersi :



Gambar 11. *Nanofluida Hybrid* ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$)

Dalam Proses Dispersi Pada Fraksi Volume 5%.

Dari hasil pencampuran dapat diketahui bahwa tingkat kekentalan *Nanofluida Hybrid* yang terdispersi menggunakan fraksi volume 5% terlihat sangat pekat namun bila diamati dengan seksama dan disentuh dengan jari, kondisi larutan sangat lunak dan encer dan masih membekas Al_2O_3 . Karena Al_2O_3 tersusun dari lapisan keramik yang tidak mudah terlarut pada fluida dasar jadi proses dispersi dengan baik dan benar dan untuk menjadi larutan yang homogen dibutuhkan waktu yang lama.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan Hasil Tahapan *Preparation* dan *Mixing* Pada *Nanofluida Hybrid* ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$) diatas, diperoleh beberapa kesimpulan yang terjadi, antara lain:

- Larutan *Nanofluida Hybrid* dengan nilai fraksi volume yang lebih tinggi dapat mempengaruhi karakteristik fisik larutan. Yang disebabkan oleh domiasi nanopartikel ganda yang digunakan jadi, dengan semakin tinggi nilai fraksi volume maka viskositas *Nanofluida Hybrid* akan semakin pekat dan dengan proses dispersi yang baik dan benar, ketika *Nanofluida Hybrid* telah menjadi larutan yang homogen maka thermal physical akan meningkat dan memiliki pengaruh besar pada media penukar kalor yang digunakan.
- Seiring meningkatnya nilai viskositas *Nanofluida Hybrid* sebagai fluida kerja, maka akan lebih mudah untuk meningkatkan laju perpindahan panas karena peningkatan nilai konduktivitas termal dari *Nanofluida Hybrid* juga dapat mempengaruhi tingkat efektivitas pada media penukar kalor yang digunakan.

Saran

Berdasarkan dari hasil yang didapati, selain hasil berupa data yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar mudah dipahami, berikut ini merupakan saran yang diberikan penulis mengenai penelitian yang telah dilakukan berikut ini :

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait pendalaman materi dan korelasi secara teoritis dengan kondisi lapangan mengenai proses preparation dan mixing pada perlakuan nanopartikel sebelum menjadi *nanofluida hybrid* yang siap digunakan.
- Diharapkan ada perlakuan lanjutan yang membahas dan menjelaskan secara spesifik mengenai *Nanofluida Hybrid* yang lainnya. Didasari oleh karakteristik kimiawi selain $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$. Terdapat beberapa faktor

terkait pengaruh pada laju perpindahan kalor dan nilai efektivitas pada media yang digunakan dan juga pengembangan variasi nanopartikel yang unakan pada sebuah nanofluida hyrid perlu dilakukan dalam mendapatkan karakteristik termal yang sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- Agista, Diaz Rizky dan IM Arsana 2018. "Uji Eksperimental Pengaruh Temperatur Dan Fraksi Volume Terhadap Perpindahan Kalor Konveksi Nanofluida Air – Al_2O_3 Pada Shell And Tube Heat Exchanger Abstrak." Jurnal Teknik Mesin (JTM) 06: 2–6.
- Al, Dunia A, Reem M Aljowaie, Mohamed Ragab, and Y Samson. 2021. "Pathogens." Journal of Infection and Public Health"
- Gupta R dan Qayoum A (2020). Experimental study on thermal conductivity of mono and hybrid $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2$ nanofluids for concentrating solar collectors
- Septiadi W N, dkk. (2018). Konduktivitas Termal Efektif Hybrid Nanofluida $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiO}_2 - \text{Air}$ pada Konsentrasi Rendah dan Tinggi. Prossiding KITT Vol 1, 2018 hal. 227. ISSN: 2622-0164.
- Zhu HT, Lin YS, Yin YS (2004) Metode kimia satu langkah baru untuk pembuatan nanofluida tembaga. J Antarmuka Koloid Sains 277:100–103
- Zhu D, Li X, Wang N dkk (2009) Perilaku dispersi dan karakteristik konduktivitas termal nanofluida $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{H}_2\text{O}$. Aplikasi Curr Fisika 9:131–139
- Arsana, I. Made, Yopi Ramadhani Robi Putra, Handini Novita Sari, Ika Nurjannah, and Ruri Agung Wahyuono. 2020. "Optimized Hydraulic Diameter and Operating Condition of Tube Heat Exchanger for Food Industry – A Numerical Study." Journal of Mechanical Engineering Research and Developments 43 (6): 329– 38
- Fei Duan. 2009. "Thermal Property Measurement of $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Water}$ Nanofluid." Smart Nanoparticles Technology.
- Gowda, R., Sun, H., Wang, P., Charmchi, M., Gao, F., Gu, Z., Budhalall, B. Effect Of Particle Surface Charge, Species, Consentration, And Dispersion Method On The Thermal Conductivity Of Nanofluids Kailash, Ojha Pramod, Choudhary Bishwajeet Nk, Gajera Umang B, Prajapat Sumit, and Karangiya Gopal. 2015. "Design and Experimental Analysis of Pipe in Pipe Heat Exchanger" 5: 42–48.
- Ren, Guogang, Dawei Hu, Eileen W C Cheng, Miguel A Vargas-reus, Paul Reip, and Robert P Allaker. 2009. "International Journal of Antimicrobial Agents Characterisation of Copper Oxide Nanoparticles for Antimicrobial Applications" 33: 587–90.