



Analisis Simulasi Efek Perbedaan Fluida Kerja terhadap Aliran Sirkulasi Alam di Untai FASSIP-01 Mod.02

ZIKRILLAH I RAHMAN¹, DEDDY HARYANTO², GIARNO², G.B. HERU K²,
I GEDE PUTU AGUS SURYAWAN¹, I KETUT GEDE WIRAWAN¹,
SURIP WIDODO², MULYA JUARSA²

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana,

²Grup Riset Pengembangan Sistem Termo-Fluida Reaktor, Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir (PRTRKN) Organisasi Riset Tenaga Nuklir (BATAN),
Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN),
Email : zikrillahimadirahman@icloud.com

ABSTRAK

ANALISIS SIMULASI PERBEDAAN FLUIDA KERJA PADA FASSIP 01 MODIFIKASI 02 adalah simulasi yang menggunakan geometri untai uji FASSIP 01 Mod.02. alat uji ini merupakan loop tertutup berbentuk persegi panjang yang dapat bersirkulasi secara alami. Alat uji ini merupakan sistem pendingin teras reaktor yang bersifat pasif. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk membandingkan hasil simulasi pada untai uji dengan menggunakan fluida kerja nanofluida (Al_2O_3) dan air (H_2O). dalam penelitian ini digunakan permodelan CFD pada aplikasi ANSYS 2020 yang mensimulasikan kedua fluida kerja pada untai uji FASSIP 01 Mod.02 dengan memvariasikan suhu pada pemanas (heater) dan pendingin (cooler). Hasil simulasi menunjukkan bahwa CFD ANSYS 2020 mampu untuk memprediksi bahwa fluida kerja nanofluida dapat mendinginkan teras reaktor nuklir lebih cepat dibandingkan dengan fluida kerja air.

Kata kunci: FASSIP 01 Mod.02, sistem pasif, sirkulasi alami, Nanofluida, CFD

ABSTRACT

SIMULATION ANALYSIS OF FLUID DIFFERENCES IN FASSIP 01 MODIFICATION 02 is a simulation that uses from geometry of the FASSIP 01 Mod.02 experimental tool. FASSIP 01 Mod.02 is a passive reactor core cooling system rectangular closed loop that can circulate naturally. The purpose of this paper is to compare the simulation results on FASSIP 01 Mod.02 using two different working fluids, whis is by using nanofluid working fluid (Al_2O_3) and water (H_2O). in this study used CFD modeling in the ANSYS 2020 application which simulates the two working fluids on the FASSIP 01 Mod.02 experimetal tool by varying the temperature on the heater and cooler. The simulation results show that the CFD ANSYS 2020 is able to predict that the working fluid of nanofluid can cool the nuclear reactor core faster than the working fluid of water.

Keywords: FASSIP 01 mod.02, passive system, natural circulation, nanofluida, CFD

1. PENDAHULUAN

Salah satu kecelakaan reaktor nuklir yang terjadi adalah kecelakaan reaktor nuklir di Fukushima, dimana kecelakaan ini menyebabkan pemerintah Jepang mengharuskan warganya untuk di evakuasi sejauh 20 km (**Nuclear Energy Agency, 2021**). Kecelakaan reaktor ini disebabkan karena terendahnya sistem pendinginan aktif (genset diesel) oleh air laut dari bencana alam Tsunami. Beberapa peneliti melakukan penelitian untuk mencari alternatif untuk menggunakan sistem pendinginan tanpa memerlukan daya atau energi dari luar dan berdasarkan hukum – hukum alam yang berlaku (**Rizky et al., 2019**).

Untai FASSIP 01 Mod. 02 adalah alat uji pendingin teras reaktor nuklir yang bersifat *pasif system* dan dapat bersirkulasi tanpa menggunakan energi luar sirkulasi alami (*natural circulation*). Sistem ini menggunakan sistem perubahan densitas air akibat perubahan temperature dari tanki pemanas (*heater*) dan pendingin (*cooler*). Dalam penelitian ini telah dilakukan langkah awal untuk proses pembuatan untai uji FASSIP 01 Mod.02 dengan mensimulasikan untai uji tersebut dengan perbedaan fluida kerja yang digunakan, yaitu fluida Nanofluida non logam dengan partikel (Al_2O_3)– air dengan fluida dasar yaitu air (H_2O). Penelitian terbaru menemukan langkah inovatif dengan melarutkan partikel berukuran *nano* yang memiliki konduktivitas termal tinggi kedalam fluida dasar dengan konduktivitas rendah (**Zainal et al., 2016**). Campuran fluida ini dikenal dengan nama nanofluida. Istilah nanofluida pertama kali dikenalkan oleh (**Choi dan Eastman, 1995**) pada tahun 1995. Hasil pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa nanofluida memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan fluida konvensional (**Mahian et al., 2018**). Penemuan ini menjanjikan harapan yang besar bagi bidang perpindahan kalor (**Septiadi et al., 2015**). Nanopartikel yang digunakan dapat berupa partikel logam seperti Cu, Al, Fe, Au, Ag dan partikel non-logam seperti Al_2O_3 , CuO, Fe_3O_4 , TiO_2 , SiC, CNT (**Ramadhani et al., 2013**). Aplikasi lainnya yang memerlukan fluida dengan fluks panas kritis atau *critical heat flux (CHF)* tinggi adalah *Reactor Vessel Cooling System (RVCS)* pada reaktor nuklir dan proses perlakuan panas logam (**Nurhidayati et al., 2018**). Pada penelitian yang dilakukan oleh (**Syarif dan Prajitno, 2012**) memperlihatkan kenaikan konduktivitas termal sebesar 5% dengan nanofluida yang menggunakan partikel ZrO_2 berukuran 14 nm.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan program CFD ANSYS 2020 dengan tujuan untuk membandingkan hasil simulasi kedua fluida kerja (Al_2O_3 dan H_2O) yaitu, nilai laju aliran, *heat-flux* di pemanas dan pendingin, laju aliran massa, dan jenis aliran yang terbentuk dari kedua fluida tersebut.

2. TEORI

Untuk menentukan jenis aliran yang terbentuk dari aliran yang bersirkulasi alami, didapatkan dengan mencari nilai Bilangan Grashor (Gr) menggunakan persamaan (1) (**Franklin, 2013**) :

$$Gr = \frac{g \cdot L_c^3 \cdot \Delta T \cdot \beta}{\nu^2} \quad (\text{Incompressible Fluid}) \quad (1)$$

Untuk nilai β nanofluida didapatkan dengan persamaan berikut :

$$\rho_{nf} \cdot \beta_{nf} = (1 - \varphi) \cdot \rho_f \cdot \beta_f + \varphi \cdot \rho_p \cdot \beta_p \quad (2)$$

apabila nilai ($Gr < 4.10^8$) maka aliran berbentuk laminar, sedangkan untuk aliran turbulenta akan terjadi bila ($Gr > 4.10^8$).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan Program *Computational Fluid Dynamic (CFD) ANSYS- Fluent R.1* (versi *student license* Teknik Mesin Universitas Udayana). Alat uji yang disimulasikan adalah untai uji FASSIP 01 Mod.02 yang memiliki komponen utama *heater, cooler, dan loop*. Simulasi ini dilakukan sebagai dasar rancangan pembuatan alat uji FASSIP 01 Mod.02 dan melihat pengaruh perbedaan fluida kerja nanofluida (Al_2O_3) dan air dengan memvariasikan temperatur di *heater* dan *cooler* dalam aliran *natural circulation*.

3.1 Variable Penelitian

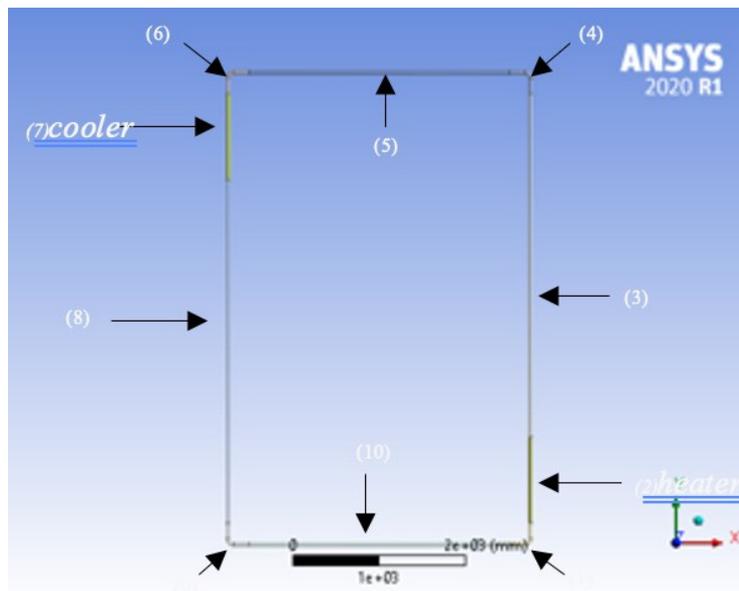
Variable penelitian dengan memvariasikan temperatur pemanas 50 °C, 60 °C, dan 70 °C dengan variasi temperature pendingin 5 °C, 10 °C, 15 °C, dan 20 °C untuk setiap 1 variasi temperatur pemanas.

3.2 Tahap Simulasi

Berikut adalah tahapan-tahapan simulasi yang dilakukan untuk mencapai hasil yang dijelaskan sebagai berikut :

3.2.1 Geometri Untai FASSIP 01 Mod.02

Pembuatan geometri dilakukan dalam program *ANSYS DesignModeller* dimana program ini terdapat dalam *WorkBench*. *ANSYS DesignModeller* merupakan salah satu aplikasi simulasi tiga dimensi yang memberikan solusi efisien untuk permodelan kompleks. Gambar pada ANSYS disederhanakan pada bagian pemanas dan pendingin.



Gambar 1. Geometri Untai Uji FASSIP 01 Mod.02 Pada ANSYS 2020 DesignModeller.

Geometri pada gambar diatas dibentuk dari beberapa bagian yang dijelaskan pada Tabel 1 :

No.	Nomer Gambar	Bagian	Nilai (mm)
1.	(1)	Elbow Kanan Bawah	90°
2.	(2)	<i>Heater</i>	820
3.	(3)	<i>Hot Leg</i>	400
4.	(4)	Elbow Kanan Atas	90°
5.	(5)	<i>Horizontal</i> Atas	300
6.	(6)	Elbow Kiri Atas	90°
7.	(7)	<i>Cooler</i>	820
8.	(8)	<i>Cold Leg</i>	400
9.	(9)	Elbow Kiri Bawah	90°
10.	(10)	<i>Horizontal</i> Bawah	300

Pipa yang digunakan adalah pipa *stainless steel* dengan diameter dalam 25,4 mm dan diameter luar 29,05 mm, sedangkan untuk *heater* dan *cooler* memiliki ketebalan 4 mm.

Tabel 2. Tabel Properties Nanofluida Al₂O₃ dengan volume fraksi 1,5% (Wicaksono et al., 2020)

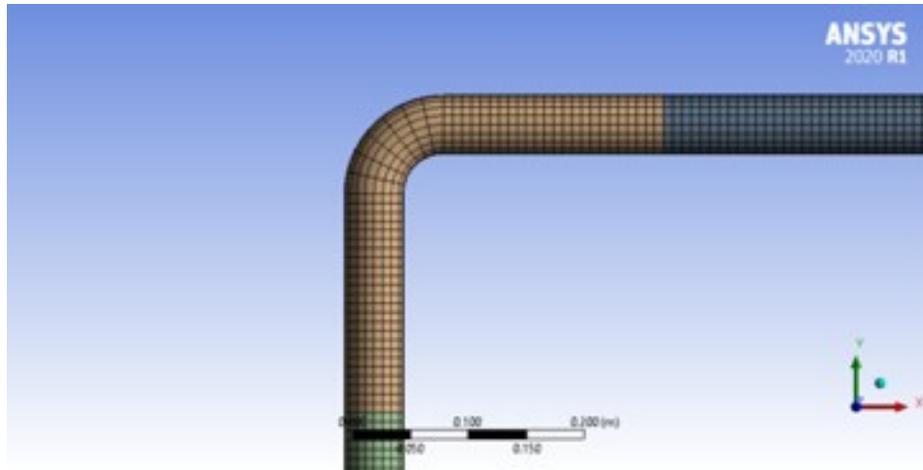
No.	Properti Termofisik	Nanofluida (Al ₂ O ₃)	Air (H ₂ O)
1.	<i>Density</i> (ρ), kg/m ³	1072,04	1000
2.	<i>Specific Heat</i> (Cp), J/kg.K	4310,5	4180
3.	<i>Thermal Conductivity</i> (k), W/m.K	0,63	0,6065
4.	<i>Dynamic Viscosity</i> (μ), pa.s	0,001041	0,00089

3.2.2 Data Fluida

Nanofluida yang digunakan dalam simulasi adalah Nanofluida Al₂O₃ – air. Volume fraksi nanofluida Al₂O₃ yang digunakan sebesar 1,5%. Tabel properties dari Nanofluida Al₂O₃ dengan volume fraksi 1,5% dan fluida air didapat dari penelitian (**Wicaksono et al., 2020**):

2.2.3 Meshing

CFD dijalankan oleh program *ANSYS Fluent* dimana mempunyai konsep *Finite Volume Method*. Meshing berfungsi sebagai pembagi *control volume* geometri menjadi elemen yang lebih kecil dan halus dengan tujuan mendapatkan hasil yang lebih konvergen pada Analisa. Berikut Informasi Mesh yang terdapat pada simulasi ini :



Gambar 2. Profile Meshing

3.2.4 Set-Up Simulasi

PARAMETER	KONDISI PENGATURAN
<i>General</i>	
Flow Type	Density Base
Time	Transient
Gravity	On
Gravitational Acceleration	Y = -9,81 m/s
<i>Models</i>	
Energy	On
<i>Materials</i>	
Fluid - Water Liquid	Incompressible Ideal Gas
Solid - Steel	Constant
<i>Cell Zone Conditions</i>	
Surface Body	Nanofluid / Water Liquid
<i>Boundary Condition</i>	
Cooler	5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C
Heater	50 °C, 60 °C, 70 °C
<i>Run Calculation</i>	
Time Step Size	0,1
Number of Time Steps	300
Max Iterations/Time Step	10
Reporting Interval	1
Profile Update Interval	1

Gambar 3. Set-Up Simulasi

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi

Berikut adalah hasil data yang didapatkan dari proses simulasi yang dilakukan, untuk fluida kerja nanofluida terdapat pada Tabel 3 dan untuk fluida kerja air terdapat pada Tabel 4:

Tabel 3. Hasil Simulasi Fluida Kerja Nanofluida

No.	TH(C)	TC(C)	Velocity(m/s)		Heat flux (Watt/m ²)		Mass flow rate(kg/s)	Suhu Hot leg (°C)		Suhu Cold leg (°C)	
			Keluar heater	Keluar cooler	Heater (+)	Cooler (-)		max	min	max	min
1.		5	5,27e-3	6,61e-3	311,5	710,65	1,98e-2	50	32	32	5

2.	50	10	4,92e-3	5,33e-3	299,89	493,1	1,71e-2	50	32	32	10
3.		15	4,59e-3	4,17e-3	293,71	323,38	1,45e-2	50	32	32	15
4.		20	4,28e-3	3,11e-3	279,1	179,63	1,21e-2	50	32	32	20
5.		60	5	7,63e-3	7,18e-3	622,12	737,64	2,39e-2	60	32	32
6.	10		7,26e-3	5,88e-3	604,26	515,31	2,11e-2	60	32	32	10
7.	15		6,87e-3	4,69e-3	586,48	332,85	1,83e-2	60	32	32	15
8.	20		6,56e-3	3,62e-3	571,77	191,39	1,61e-2	60	32	32	20
9.	70	5	1,02e-2	7,78e-3	1014,97	764,93	2,84e-2	70	32	32	5
10.		10	9,76e-3	6,45e-3	991,81	537,91	2,52e-2	70	32	32	10
11.		15	9,38e-3	5,25e-3	970	351,19	2,26e-2	70	32	32	15
12.		20	9,03e-3	4,16e-3	949	203,51	2,01e-2	70	32	32	20

Tabel 4. Hasil Simulasi Fluida Kerja Air

No.	TH(C)	TC(C)	Velocity(m/s)		Heat flux (Watt/m ²)		Mass flow rate(kg/s)	Suhu Hot leg(K)		Suhu Cold leg(K)	
			Keluar heater	Keluar cooler	Heater (+)	Cooler (-)		max	min	max	min
1.	50	5	5,06e-3	6,28e-3	275,3	630,63	1,77e-2	50	32	32	5
2.		10	4,72e-3	5,08e-3	263,38	438,14	1,52e-2	50	32	32	10
3.		15	4,41e-3	3,99e-3	256,14	282,1	1,3e-2	50	32	32	15
4.		20	4,12e-3	2,99e-3	247,47	160,81	1,1e-2	50	32	32	20
5.	60	5	7,29e-3	6,82e-3	547,78	654,25	2,13e-2	60	32	32	5
6.		10	6,93e-3	5,6e-3	532,34	457,46	1,88e-2	60	32	32	10
7.		15	6,6e-3	4,49e-3	517,66	296,82	1,65e-2	60	32	32	15
8.		20	6,29e-3	3,47e-3	503,92	170,88	1,44e-2	60	32	32	20
9.	70	5	9,69e-3	7,38e-3	893,43	678,12	2,5e-2	70	32	32	5
10.		10	9,31e-3	6,14e-3	873	477,1	2,25e-2	70	32	32	10
11.		15	8,95e-3	5e-3	853,78	311,88	2,01e-2	70	32	32	15
12.		20	8,62e-3	3,97e-3	835,6	181,25	1,8e-2	70	32	32	20

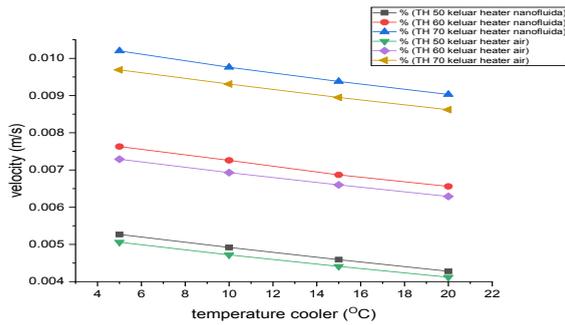
Dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), didapatkan nilai bilangan grashof untuk fluida nanofluida dan air pada Tabel 5:

Tabel 5. Nilai Bilangan Grashof (Gr)

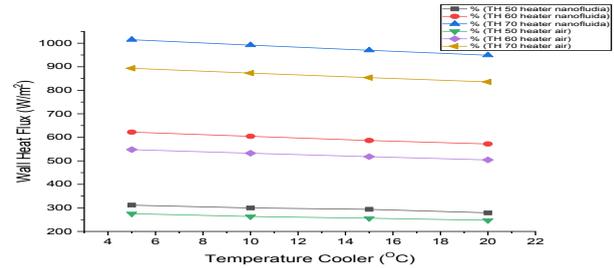
No	TH (°C)	TC (°C)	Bilangan Grashof (Nanofluida)	Bilangan Grashof (Air)
1.	50	5, 10, 15, dan 20	6×10^5	8×10^5
2.	60	5, 10, 15, dan 20	9×10^5	1×10^6
3.	70	5, 10, 15, dan 20	1×10^6	2×10^6

4.2 Grafik

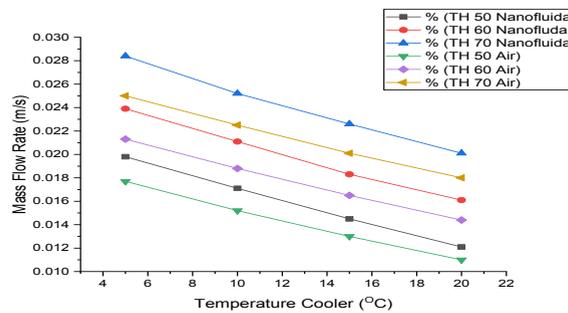
Berikut adalah grafik laju alir, *heat flux*, dan *mass flow rate* yang terbentuk dari Tabel 3 dan 4:



Gambar 4. Grafik laju aliran nanofluida dan air



Gambar 5. Grafik Heat flux pada pemanas nanofluida dan air



Gambar 6. Laju aliran masa nanofluida dan air

4.3 Pembahasan

Hasil dari simulasi menunjukkan pada gambar 4 menggambarkan grafik kecepatan alir. pada grafik kecepatan alir menunjukkan penurunan kecepatan alir untuk fluida nanofluida dan air akibat dari naiknya suhu *cooler*. Kecepatan alir tercepat didapat pada fluida nanofluida dengan suhu *heater* 70 °C dan suhu *cooler* 5 °C dengan angka $2,17E-2$ m/s di titik keluar *heater* yang bergerak sejauh 65,1 cm setelah 30 detik. Untuk gambar 5 menggambarkan grafik *wall heat flux* yang terbentuk. Grafik *wall heat flux* nanofluida dan air untuk suhu *heater* 70 °C dan 60 °C menunjukkan hasil yang stabil, sedangkan pada nanofluida *heater* 50 °C terlihat kenaikan signifikan *wall heat flux* pada suhu *cooler* 5 °C ke 10 °C dan pada air *heater* 50°C menunjukkan penurunan *wall heat flux* pada suhu *cooler* 5 °C ke 15 °C. Sedangkan untuk Gambar 6 menunjukkan grafik *mass flow rate* yang terbentuk. Pada suhu *heater* 50 °C terjadi penurunan yang tinggi dari suhu *cooler* 5 °C ke 10 °C. *mass flow rate* terbesar terdapat pada suhu *heater* 70 °C dan *cooler* 5 °C dari fluida nanofluida dengan angka $2,34E-2$ kg/s. Pada gambar 3.1, 3.2, dan 3.3 menunjukkan bahwa hasil kecepatan aliran, *wall heat flux*, dan *mass flow rate* menggunakan fluida nanofluida lebih tinggi dibandingkan dengan fluida air. Jenis aliran yang terjadi pada nanofluida dan air sendiri keduanya berjenis aliran laminar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang diperoleh, dapat disimpulkan nilai laju aliran, *wall heat flux*, dan *mass flow rate* akan berkurang nilainya apabila suhu *cooler* dinaikan. Jenis aliran yang terbentuk untuk variable yang di simulasikan beraliran laminar. Fluida kerja Nanofluida (Al_2O_3) dengan fraksi volume 1,5% menunjukkan hasil yang lebih baik dari fluida kerja air, dimana bisa dilihat nilai dari hasil nilai kecepatan, *heat flux*, dan *mass flow rate* untuk semua variable suhu *heater* dan *cooler* menunjukan semua nilai nanofluida berada di atas fluida air. Dan dapat disimpulkan juga, apabila sistem pendinginan teras reaktor nuklir menggunakan nanofluida, proses pendinginan akan lebih cepat dibandingkan dengan fluida air. Pada suhu *heater* 70°C dan *cooler* 5°C menunjukan hasil yang paling baik dan untuk suhu *heater* 50°C dan *cooler* 20°C menunjukan hasil paling buruk untuk kedua fluida sehingga dapat disimpulkan juga, Semakin jauh interval suhu *heater* dengan *cooler* akan menunjukan hasil yang lebih baik lagi.

UACAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih atas dukungannya program Riset Inovatif Produktif (RISPRO) LPDP Mandatori PRN PLTN mendanai penelitian ini dengan nomor kontrak 3/E1/III/PRN/2021 untuk tahun anggaran 2021. Terima kasih kepada Kepala Pusat Riset dan Teknologi Reaktor Keselamatan dan Keamanan Nuklir (PRTRKKN) BRIN atas dukungannya.

DAFTAR RUJUKAN

- Choi, S. U., and Eastman, J. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *Argonne National Lab. United States*
- Franklin, B. (2013). Heat transfer and finite – difference method. pp. 581-582
- Lesmana, R. L., Juarsa, M., Waskita, A. A. (2019). Model analisis numerik pada sirkulasi alam fasa tunggal di untai rektanguler fassip 01 mod.01 berdasarkan posisi heater. *Sigma Epsilon*. Vol. 23. hal 70-78
- Mahian, O., Kolsi, L., Amani, M., Estelle, P., Ahmadi, G., Kleinstreuer, C., Marshall, J. S., Siavashi, M., Taylor, R. A., Niazmand, H., Womwises, S., Hayat, T., Kolanjiyil, A., Kasaeian, A., dan Pop, I. (2019). Recent advances in modeling and simulation of nanofluid flows-Part I: Fundamental and theory. *Physics Report*, Vol. 790.
- Nuclear Energy Agency (2021), *Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, Ten Years On : Progress, Lessons, and Challenge*.
- Nurhidayati, P., Syarif, D. G., Aliah, H. (2018). PENGARUH KONSENTRASI POLIETILEN GLIKOL (PEG) TERHADAP KARAKTERISTIK NANOFUIDA AIR-ALUMINA. *Jurnal Sains Materi Indonesia (JUSAMI)*. vol. 17

- Ramadhan, A. I., Diniardi, E., Sutowo, C. (2013). STUDI LITERATUR PENGEMBANGAN NANOFLUIDA UNTUK APLIKASI PADA BIDANG TEKNIK DI INDONESIA. *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)*
- Septiadi, W. N., Putra, N., Saleh, R. (2015). Karakteristik konduktivitas termal nanofluida oksida berbasis fluida dasar H₂O. *Jurnal Energi dan Manufaktur* .Vol.8
- Syarif, D. G., dan Prajitno D. H. (2013). Characteristics of water-ZrO₂ nanofluid made from solgel synthesized ZrO₂ nanoparticles utilizing local zircon. *Journal of Materials Science and Engineering B*. vol. 3. no. 2. pp. 122-127
- Wicaksono, Y. A., Sidarno, Akhmad, N. S. (2020). simulasi CFD pengaruh konsentrasi nanofluida Al₂O₃/air terhadap performa perpindahan panas pipa radiator. Ponorogo.
- Zainal, S. T. J. S., Tan, C., Sian, C. J. (2016). ANSYS simulation for Ag / HEG Hybrid Nanofluid in Turbulent Circular Pipe. *J Adv. Res. Appl. Mech.*. vol. 23. no. 1. pp. 20–35

Pertanyaan :

Berdasarkan data hasil pengujian, bagaimana proses pengukuran yang dilakukan terhadap nano fluida tersebut??

Jawab :

Proses pengukuran yang dilakukan pada nano fluida, untuk saat ini menggunakan makalah publikasi yang lainnya.