



Analisis Simulasi 3D Pengaruh Variasi Temperatur WCT Terhadap Laju Aliran Massa pada Untai FASSIP-01 Mod.2 Menggunakan ANSYS

**SONI ABIDIN¹, DEDY HARYANTO², GIARNO², AINUR ROSIDI²,
G.B. HERU K², AINUL GHURRI¹, I.M WIDIYARTA¹,
SUSYADI², MULYA JUARSA²**

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit,

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: sonyabidin89@gmail.com

ABSTRAK

Untai FASSIP-01 Mod.02 merupakan fasilitas eksperimen untuk uji sistem pendingin teras reaktor yang bersifat pasif. Fasilitas eksperimen dibuat untuk mempelajari fenomena Sirkulasi Alam, yang bersirkulasi tanpa adanya bantuan energi dari luar pada sistem pendingin teras reaktor. Untai uji FASSIP-01 Mod.2 dirancang dengan design baru agar dapat mengurangi kerugian energi. Alat uji ini dirancang dengan skala medium yang nantinya diharapkan dapat digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Indonesia apabila didapatkan hasil yang diinginkan. Makalah ini membahas hasil simulasi tentang pengaruh variasi temperatur Water Cooling Tank terhadap laju aliran massa berbasis FLUENT sebagai acuan sebelum dilakukannya eksperimen. Fluida kerja yang digunakan dalam simulasi ini adalah air dengan variasi temperatur pada WCT 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C dan temperatur pada Water Heating Tank sebesar 90°C. Berdasarkan simulasi ini didapatkan hasil laju aliran massa, Wall Heat Flux, kecepatan aliran, dan karakteristik aliran.

Kata kunci: *sirkulasi alami, sistem pendingin pasif, FASSIP-01 Mod.02, laju aliran massa, simulasi CFD, FLUENT*

ABSTRACT

FASSIP-01 Mod.01 loop is a facility for the cooling system in the reactor core which is passive. The experimental facility is designed to study the phenomenon of Natural Circulation, which circulates without the help of external energy in the reactor core cooling system. FASSIP-01 Mod.2 loop is designed with a new design in order to reduce energy losses. This test equipment is expected to be designed on a medium scale which can later be used in Nuclear Power Plants in Indonesia if the desired results are obtained. This paper discusses the results of simulations on the effect of variations of Water Cooling Tank on FLUENT-based mass flow rates as a start before experimental experiments. The working fluid used in this simulation is water with variations of temperatures at WCT 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C and Water Heating Tank temperature is 90°C.

Based on this simulation, the results obtained are mass flow rate, Wall Heat Flux, flow velocity, and flow characteristics.

Keywords: *natural circulation, passive cooling system, FASSIP-01 Mod.02, mass flow rate, CFD simulation, FLUENT*

1. PENDAHULUAN

Kecelakaan PLTN Fukushima, Daiichi, Jepang pada 11 maret 2011 yang terjadi karena *station blackout* (SBO) mengakibatkan hilangnya fungsi pendinginan pada reaktor yang menimbulkan kalor tidak terbuang hingga merusak dinding reaktor. Kecelakaan ini mendorong negara anggota dalam program pengembangan teknologi nuklir untuk upaya pengembangan reaktor yang dapat meningkatkan kinerja keselamatan pasif dan pengaplikasian non-listrik (**International Atomic Energy Agency, 2016**). Konsep keselamatan pasif pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) sendiri telah diusulkan di tahun 80-an. Konsep dari sistem pendingin pasif sendiri yaitu, aliran fluida yang bergerak tanpa adanya intervensi gaya dari luar dan berbasis pada hukum alam yang berlaku (**Zhang et al., 2011**). Untai FASSIP-01 Mod.2 sendiri adalah alat uji sistem pendingin pasif pada teras reaktor (*Passive Cooling System*) yang dikembangkan di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN, sekarang ORTN BRIN) dengan model Rectangular Loop berskala medium yang dapat bersirkulasi tanpa adanya energi dari luar (*Natural Circulation*). Sistem ini bersirkulasi secara alami dengan memanfaatkan perbedaan ketinggian dan perbedaan densitas akibat perubahan temperatur dari WHT (*Water Heating Tank*) dan WCT (*Water Cooling Tank*) yang terjadi pada air (**Yoram et al., 1981**). Secara umum sirkulasi alami meletakkan sumber kalor pada ketinggian yang lebih rendah dengan *Heat sink*. Sirkulasi Alami memiliki keterkaitan dengan gaya gravitasi dan efek *bouyancy* (gaya apung) yang menyebabkan fluida bergerak turun dan naik. dimana, fluida yang telah mengalami kenaikan suhu di dalam Heater akan memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada fluida pada temperatur lingkungan, sehingga air akan naik mengikuti alur untai, disini timbul adanya gaya apung. Sedangkan fluida yang telah mengalami penurunan temperatur pada cooler akan memiliki massa jenis lebih berat, sehingga fluida akan turun mengikuti alur untai, pada fase ini terjadilah gaya gravitasi (**Juarsa, 2015**). Fenomena ini yang diharapkan dapat diimplementasikan di PLTN, untuk mengatasi kegagalan manajemen termal dalam kecelakaan reaktor nuklir (**Lesmana et al., 2011**).

Untai FASSIP-01 merupakan alat uji eksperimen yang di khususkan untuk aliran satu-fasa dengan variabel parameter daya *heater* dan laju aliran pendingin di *cooler*. Komponen yang terdapat pada Untai Uji FASSIP-01 sendiri yaitu WCT dan WHT, dimana WHT digunakan untuk mensimulasikan sumber kalor dari inti reactor (*reactor core*). Komponen lainnya adalah, Electromagnetic Flowmeter, Termokopel, Tangki Ekspansi, Katup Ekspansi, *National Instrument*, dan perpipaan berbentuk rektangular. Model untai FASSIP-01 adalah model orientasi *Vertical Heater & Vertical Cooler* (VHVC) dengan geometri untai untuk posisi Horizontal berukuran 350cm dan vertical 600cm. Dengan demikian, fluida air yang telah melalui proses penurunan temperatur didalam *Cooler* dengan metode pendinginan *Counter Flow* (di dalam WCT) akan memiliki massa jenis lebih besar dari fluida air pada temperature normal, sehingga air akan turun mengikuti alur dari *Loop Heat Pipe* menuju *Heater* (**Juarsa, 2015**). Karena masih ada timbul Kerugian Energi (*Energy Losses*) yang besar pada Untai FASSIP-01 maka diadakan revitalisasi dari Untai FASSIP-01 menjadi Untai FASSIP-01 Mod.02 dengan mengurangi sambungan pada bagian *Rectangular Loop* yang sebelumnya memiliki banyak sambungan guna mengurangi terjadinya *buble trap* yang dapat menimbulkan hilangnya tekanan (*Pressure Drop*) sekaligus perubahan pada *Heater* dan *Cooler* yang akan digunakan. Perubahan terhadap desain yang digunakan tentu akan memberikan dampak terhadap laju aliran fluida.

Sebelum berlangsungnya eksperimen pada Untai FASSIP-01 Mod.02, untuk mendapatkan suatu acuan dilakukanlah simulasi dengan menggunakan Fluent. Simulasi dilakukan dengan variasi temperatur pada WCT dengan temperatur 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C dan

WHT dengan temperatur 90°C sebagai variabel tetapnya. Beberapa penelitian sebelumnya telah menganalisis dan membuat komputasi sistem pasif dengan menggunakan simulasi seperti pada penelitian Daniel Franken dkk. Dalam penelitian tersebut mereka telah membuat model komputasi dinamika fluida (CFD) untuk mempelajari transisi masuknya udara (**Franken et al., 2018**). Lalu, penelitian Tenglong Cong dkk. Dimana pada penelitian mereka membuktikan bahwa metodologi CFD dapat memenuhi syarat untuk menganalisis sistem sirkulasi alami dibawah *swing condition* (**Cong et al., 2017**). selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Mayur Khrisnani dan Dipankar N. Basu menganalisa model komputasi 3D dari sirkulasi alami bentuk *rectangular loop* untuk mengetahui kestabilan kalang dengan memvariasikan sudut kemiringan (**Khrisnani, 2017**). Penelitian Kumar Naveen dkk juga membahas tentang sirkulasi alami fasa tunggal berpendingin air yang menyajikan perilaku konduktivitas semu dari keadaan *zero flow* (**Naveen et al., 2014**). Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh A. Fichera dan A. Pagano yaitu membuat permodelan *rectangular* sirkulasi alami untuk mengatasi masalah tekanan dinamika yang tidak stabil yang terjadi pada model *rectangular* sirkulasi alami (**Fichera, 2003**). Berdasarkan uraian berikut, analisa simulasi pengaruh variasi temperatur WCT terhadap laju aliran massa pada untai FASSIP-01 Mod.2 dapat dilakukan untuk mengetahui laju aliran massa, *wall heat flux*, kecepatan aliran, dan karakteristik aliran. Sehingga, nantinya data yang didapat dari hasil simulasi akan digunakan sebagai pembandingan data eksperimen untai uji Fassip-01 Mod.2 berdasarkan pengaruh temperatur WCT.

2. TEORI

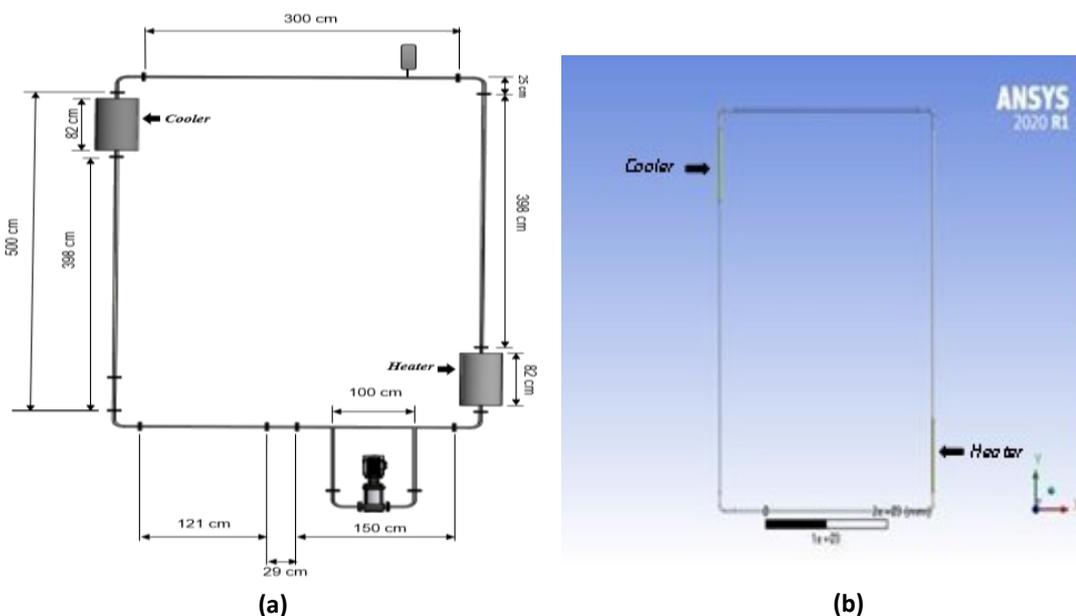
sistem keselamatan secara pasif hanya bergantung pada gaya yang dihasilkan. Seperti tingkat kerapatan kalor yang menyebabkan efek gaya apung dan gaya gravitasi pada berbagai fluida (**Wang et al., 2017**). Sistem keselamatan pasif pada Untai FASSIP-01 Mod.2 mempunyai prinsip kerja yang mengandalkan perpindahan kalor atau disebut sirkulasi alami, yang dapat terjadi karena adanya efek *bouyancy* dan gaya gravitasi. kedua gaya ini diciptakan oleh perubahan densitas fluida di daerah panas pada WHT yang berada pada ketinggian lebih rendah dari daerah dingin WCT seperti pada Gambar 1. Mekanisme perpindahan kalor pasif ini dapat diimplementasikan di kondisi operasi normal dan dalam kondisi kecelakaan (**Juarsa et al., 2014**).

Persamaan yang digunakan untuk menentukan karakteristik aliran pada simulasi kali ini yaitu persamaan bilangan Grashof (Gr). Dimana, bilangan grashof merupakan bilangan yang memberikan rasio gaya apung terhadap gaya viskos dan digunakan untuk menentukan aliran rezim lapisan batas fluida sirkulasi alam sistem laminar. Untuk incompressible fluid (**Smith et al., 2013**). Berikut persamaan bilangan grashof yang dijelaskan pada Persamaan 1.

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

Dimana berdasarkan ketentuan pada bilangan Grashof jika nilai bilangan grashof dibawah 4×10^8 ($Gr < 4 \times 10^8$) maka karakteristik aliran yang terjadi adalah **Laminar**. Sedangkan jika nilai bilangan Grashof diatas 4×10^8 ($Gr > 4 \times 10^8$) maka karakteristik aliran yang terjadi yaitu **Turbulent**.

Analisa Simulasi 3D Pengaruh Variasi Temperatur WCT Terhadap Laju Aliran Massa pada Untai FASSIP-01 Mod.2 Menggunakan ANSYS



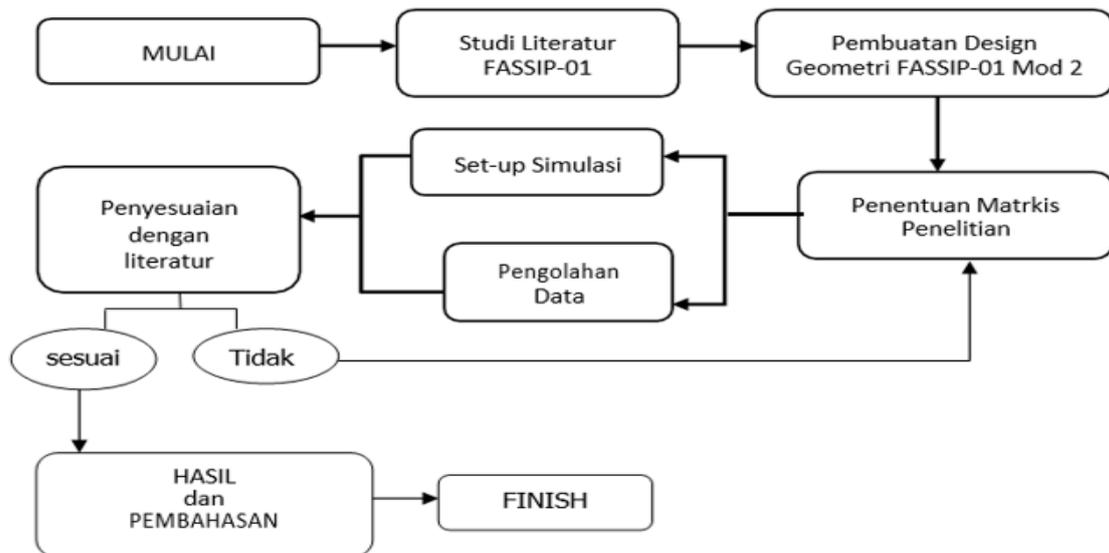
Gambar 7. Geometri FASSIP-01 Mod.2 (a) Design Untai FASSIP-01 Mod.2 (b) Design FASSIP-01 Mod.2 menggunakan ANSYS Design Modeller

3. METODE PENELITIAN

Objek yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu Untai FASSIP-01 Mod.2 seperti pada Gambar 1. Point (a). Komponen yang terdapat pada Untai FASSIP-01 Mod.2 sendiri yaitu, WCT, dan WHT yang digunakan untuk menggantikan kalor dari inti reaktor, Flowmeter, Termokopel, Tangki Ekspansi, Katup Ekspansi, *National Instrument*, perpipaan berbentuk rektangular. Model Untai FASSIP-01 adalah model orientasi *Vertical Heater & Vertical Cooler* (VHVC) dengan ukuran rangka Horizontal 350cm dan vertical 600cm.

Software yang digunakan pada simulasi kali ini yaitu ANSYS-Fluent 2020 R.1. Desain (versi student lisensi Teknik Mesin Univeristas Udayana, Bali) yang terlihat pada Gambar 1. Point (b) tersebut merupakan geometri yang telah disederhanakan mengguakan ANSYS Design Modeller yang nantinya digunakan untuk pengolahan data pada software ANSYS-Fluent 2020 R.1. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan temperatur pada WCT untuk memperoleh hasil laju aliran massa, kecepatan aliran, dan *wall heat flux*, serta jenis laju aliran yang terjadi pada Untai FASSIP-01 Mod.2. Matriks yang digunakan yaitu variasi temperatur pada WCT dengan temperatur 5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25°C, 30°C dan WHT dengan temperatur 90°C sebagai variabel tetapnya.

Tahapan penelitian yang dilakukan untuk memperoleh hasil analisa pengaruh variasi temperatur terhadap laju aliran massa pada Untai FASSIP-01 Mod.2 dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 8. Diagram alur penelitian

Set-up pada simulasi kali ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan tabel properties air yang dijelaskan pada Tabel 2. simulasi dikondisikan pada keadaan transient.

Tabel 5 Set-up pengaturan simulasi pada fluida kerja air (Water)

PARAMETER	KONDISI PENGATURAN
<i>General</i>	
<i>Flow Type</i>	<i>Density Base</i>
<i>Time</i>	<i>Transient</i>
<i>Gravity</i>	<i>On</i>
<i>Gravitational Acceleration</i>	$Y = -9,81 \text{ m/s}$
<i>Models</i>	
<i>Energy</i>	<i>On</i>
<i>Materials</i>	
<i>Fluid - Water Liquid</i>	<i>Incompressible Ideal Gas</i>
<i>Solid - Steel</i>	<i>Constant</i>
<i>Cell Zone Conditions</i>	
<i>Interior fluid domain</i>	<i>Water Liquid</i>
<i>Boundary Condition</i>	
<i>Cooler</i>	$5^{\circ}\text{C}, 10^{\circ}\text{C}, 15^{\circ}\text{C}, 20^{\circ}\text{C}, 25^{\circ}\text{C}, 30^{\circ}\text{C}$
<i>Heater</i>	90°C
<i>Run Calculation</i>	
<i>Time Step Size</i>	0,1
<i>Number of Time Steps</i>	300
<i>Max Iterations/Time Step</i>	20
<i>Reporting Interval</i>	1
<i>Profile Update Interval</i>	1

Tabel 6 Properties air (Water)

Properti Termofisik	Nilai
<i>Density</i> (ρ), kg/m ³	1000
<i>Specific Heat</i> (c_p), J/kg.K	4180
<i>Thermal Conductivity</i> (k), W/m.K	0,6065
<i>Dynamic Viscosity</i> (μ), Pa.s	0,00089

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam proses simulasi Setelah didapatkan hasil data simulasi selanjutnya akan dilakukan perhitungan Bilangan Grashof (Gr) yang nantinya akan digunakan untuk menentukan jenis aliran sirkulasi alami pada Untai FASSIP-01 Mod.2. Hasil dari data simulasi dan perhitungan Bilangan Grashof (Gr) dapat dilihat pada tabel 3.

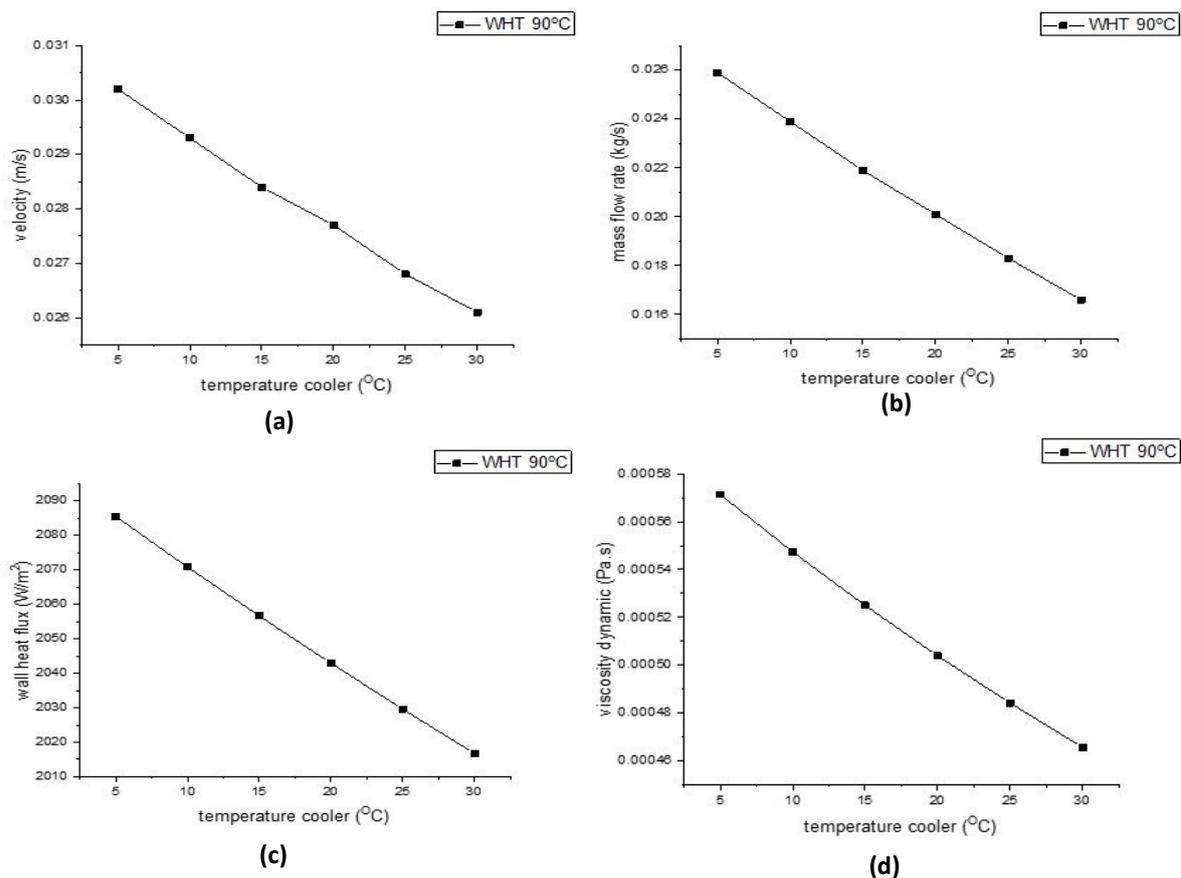
Tabel 7 Data hasil simulasi dan Grashof Number

No	WHT (°C)	WCT (°C)	Velocity (m/s)	Wall Heat Flux (W/m ²)	Mass Flow Rate (kg/s)	Viscosity Dynamics (Pa. s) (Fungsi Temperatur rata-rata)	Grashof Number (Gr)
1.	90	5	0,0302	2085,47	0,0259	0,0005714	$5,6 \times 10^6$
2.		10	0,0293	2070,81	0,0239	0,0005474	
3.		15	0,0284	2056,63	0,0219	0,000525	
4.		20	0,0277	2042,91	0,0201	0,0005039	
5.		25	0,0268	2029,61	0,0183	0,0004842	
6.		30	0,0261	2016,73	0,0166	0,0004656	

Berdasarkan data hasil simulasi pada tabel 5 didapatkan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 3. Dimana tren pada tiap grafik tersebut menurun dikarenakan adanya perubahan densitas yang disebabkan oleh semakin besarnya gradient temperatur WCT, maka kesetimbangan energi di daerah panas semakin kecil yang mempengaruhi sifat termalnya menjadi menurun.

Dapat dilihat pada Gambar 3 (a) grafik kecepatan (*Velocity*), terjadi fenomena dimana kecepatan aliran tertinggi didapat saat variasi temperatur WHT 90°C dan WCT 5°C dengan kecepatan aliran 0,0302 m/s. sedangkan kecepatan terendah terdapat pada temperatur WHT 90°C dan WCT 30°C dengan kecepatan yang dihasilkan yaitu 0,0261 m/s. pada gambar juga di jelaskan bahwa tren menurun di setiap variasi temperatur.

Grafik laju aliran massa pada Gambar 3 (b) menjelaskan, bahwa laju aliran massa pada variasi temperatur WCT memiliki tren yang menurun. Dimana laju aliran massa tertinggi terdapat pada Temperatur WHT 90°C dan WCT 5°C dengan nilai laju aliran sebesar 0,0259 kg/s. sedangkan laju aliran massa terendah terdapat pada temperatur WHT 90°C dan WCT 30°C dengan nilai laju aliran massa sebesar 0,0166 kg/s.



Gambar 9. (a) Grafik Velocity (b) Grafik Mass Flow Rate (c) Grafik Wall Heat Flux (d) Grafik Viskositas

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 5. Bilangan Grashof didapat dari persamaan (1) yang menunjukkan bahwa pada temperatur WHT 90° memiliki nilai $5,6 \times 10^6$. Bilangan Grashof sendiri digunakan untuk mendapatkan asumsi jenis aliran yang terbentuk pada Untai FASSIP-01 Mod.2. Nilai bilangan grashof ($Gr < 4 \times 10^8$) sehingga aliran yang dibentuk melalui simulasi ini adalah rejim aliran **Laminar**.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan maka di dapatkan kesimpulan, bahwa Semakin besar gradien temperatur WCT, maka semakin rendah nilai kecepatan aliran dan laju aliran massa yang terjadi pada untai FASSIP-01 Mod 2. Pada simulasi ini didapat hasil dari bilangan grashof sebesar $5,6 \times 10^6$. Dimana bilangan grashof ini adalah bilangan yang menentukan tipe aliran sirkulasi alami. Berdasarkan ketentuan jika nilai bilangan grashof ($Gr < 4 \times 10^8$) maka aliran tersebut **Laminar**.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya 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, Terimakasih kepada kepada Kepala Pusat Riset dan Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir (PRTKRN) Organisasi Riset Tenaga Nuklir (BATAN) BRIN atas dukungannya, dan tak lupa kepada lembaga Universitas Udayana yang telah memberi penulis fasilitas dalam pengerjaan makalah ini, dan tak lupa penulis mengucapkan terimakasih juga kepada Kartutu, Rahman, Abdullah, dan seluruh

karyawan PRTKR-BATAN BRIN Gd.80 yang telah membantu penulis dalam pembuatan makalah ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Cong, T., Peng, M., & Zhang, Z. (2017). Preliminary applications of CFD methodology on analysis of the single-phase laminar natural circulation under swing conditions. *Progress in Nuclear Energy*, 97, 1–10.
- Fichera, A. (2003) "Modelling and control of rektangular natural circulation loops," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, pp. 2425-2444.
- Franken, D., Gould, D., Jain, P. K., & Bindra, H. (2018). Numerical study of air ingress transition to natural circulation in a high temperature helium loop. *Annals of Nuclear Energy*, 111, 371–378.
- International Atomic Energy Agency. (2016). Design Safety Considerations for Water Cooled Small Modular Reactors Incorporating Lessons Learned from the Fukushima Daiichi Accident. *Iaea*.
- Juarsa, M. (2015). Studi Eksperimental Fenomena Sirkulasi Alamiah Aliran Satu-Fasa Untuk Pengembangan PRHS Menggunakan Untai FASSIP. Usulan penelitian.
- Juarsa, M., Purba, J. H., Kusuma, H. M., Setiadipura, T., & Widodo, S. (2014). Preliminary study on mass flow rate in passive cooling experimental simulation during transient using NC-queen apparatus. *Atom Indonesia*, 40 (3), 141–147.
- Krishnani, M. (2017) "Computational stability appraisal of rektangular natural circulation loop: Effect of loop inclination," *Annals of Nuclear Energy*, pp. 17-30.
- Lesmana, RS., Juarsa, M., & Waskita, A.A. (2019). Model Analisis Numerik pada Sirkulasi Alam Fasa-Tunggal di Untai Rektangular FASSIP-01 MOD. 1 Berdasarkan Posisi Heater. *SIGMA EPSILON-Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir*. 2019 Nov 17;23(2):70-8.
- Naveen, K., Iyer, K. N., Doshi, J. B., & Vijayan, P. K. (2014). Investigations on single-phase natural circulation loop dynamics part 1: Model for simulating start-up from rest. *Progress in Nuclear Energy*, 76, 148–159.
- Smith, R., Peters, C., & Inomata, H. (2013). Heat transfer and finite-difference methods. In *Supercritical Fluid Science and Technology* (pp. 557-615). Elsevier BV.
- Wang, D., Liu, Y., Jiang, J., Pang, W., Lau, W. M., & Mei, J. (2017). Potential Application of a Thermoelectric Generator in Passive Cooling System of Nuclear Power Plants. *Journal of Electronic Materials*, 46 (5),
- Yoram, Z. (1981). A Review of Natural Circulation Loop in Presureized Water Reactors and Other System. USA : Palo Alto.
- Zhang, Y., Qiu, S., Su, G., & Tian, W. (2011). Design and transient analyses of emergency passive residual heat removal system of CPR1000. Part: Air cooling condition. *Progress in Nuclear Energy*, 53 (5),

Pertanyaan :

Bagaimana perbandingan hasil penelitian yang telah dilakukan, jika dibandingkan dengan versi sistem sebelumnya?

Jawaban :

Jika dibandingkan dengan versi sebelumnya, pada dasarnya pengujian yang dilakukan pada sistem ini yaitu dengan menggunakan aplikasi ANSYS yaitu belum ada sebelumnya.