



Simulasi 3D Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif 01 Mod.2 Menggunakan Software ANSYS-FLUENT

**MIKHAEL KARTUTU¹, GIARNO², G.B.HERU K², AINUR ROSIDI²,
DEDY HARYANTO², I.W.B ADNYANA¹, I.G.N PRIAMBADI¹,
SUSYADI², MULYA JUARSA²**

¹*Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Jl. Raya Kampus Unud
Jimbaran, kec. Kuta Sel., Kab. Badung, Bali 80361*

²*Grup 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: mikhaelpakar@gmail.com

ABSTRAK

Untai FASSIP 01 Mod.2 adalah sebuah untai uji yang dibuat untuk memahami dan meneliti fenomena sirkulasi alam khususnya dalam kondisi satu fasa yang nantinya dapat digunakan sebagai sistem pendingin pasif pada reaktor nuklir. Sirkulasi alam terjadi akibat adanya perbedaan densitas yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. FASSIP 01 Mod.2 memiliki komponen utama yang terdiri dari water heating tank, water cooling tank, dan Expansion tank dan komponen perpipaan yang menghubungkan ketiganya. Penelitian ini menggunakan metode simulasi Computational Fluid Dynamic menggunakan software Ansys-FLUENT 2020 R2 dengan variasi temperatur pada WHT 50°C, 60°C, 70°C dan WCT 5°C, 10°C, 15°C, 20°C yang bertujuan untuk melihat karakteristik aliran. Berdasarkan hasil yang didapat variasi WHT 70°C dan WCT 5°C memiliki nilai kecepatan dan laju aliran massa tertinggi yang berturut-turut nilainya adalah 0,0207 m/s dan 0,0210 kg/s dan semua variasi menunjukkan tipe aliran laminar.

Kata kunci: *FASSIP 01 Mod.2, sistem pendingin pasif, sirkulasi alam, simulasi*

ABSTRACT

FASSIP 01 Mod.2 Loop is a test circuit designed to understand and research natural circulation phenomena, especially in single phase conditions which can later be used as a passive cooling system in nuclear reactors. Natural circulation occurs due to differences in density caused by differences in temperature. FASSIP 01 Mod.2 has main components consisting of a water heating tank, a water cooling tank, and an Expansion tank and a piping component that connects the three. This study uses the Computational Fluid Dynamic simulation method using Ansys-FLUENT 2020 R2 software with temperature variations at WHT 50°C, 60°C, 70°C and WCT 5°C, 10°C, 15°C, 20°C. to see the flow characteristics. Based on the results obtained, variations of WHT 70°C and WCT 5°C have the highest velocity and mass flow rates, which are 0,0207 m/s and 0,0210 kg/s, and all variations indicate laminar flow type.

Keywords: *FASSIP 01 Mod.2, passive cooling system, natural circulation, simulation*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik akan terus meningkat setiap tahunnya seiring dengan meningkatnya laju pertumbuhan ekonomi, penduduk, dan industri. Pada tahun 2018 produksi listrik di Indonesia tercatat sebanyak 58% masih berasal dari batu bara, 22% gas, energi baru dan terbarukan (EBT) 13% dan minyak hanya 7% (**Dewan Energi Nasional, 2019**). Ketersediaan batu bara yang melimpah memang sangat menguntungkan namun, dilain sisi penggunaannya sebagai sumber energi listrik utama harus mulai ditekan dikarenakan emisi CO₂ yang dihasilkan sangat tinggi. Untuk membangkitkan energi listrik sebesar 1776 MWyr menggunakan ke tiga PLTU Batubara, akan dihasilkan emisi CO₂ sebesar 16.309 kTon CO₂ (**Budi et al., 2013**). Sumber energi nuklir melalui Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dapat menjadi jawaban dua permasalahan diatas. Pembangunan PLTN sudah harus direncanakan dengan memerhatikan segala aspek sistem keamanan yang dibutuhkan agar menghindari kecelakaan seperti yang terjadi di Fukushima, Jepang.

Kecelakaan PLTN di Fukushima Dai-ichi Jepang pada tahun 2011 terjadi akibat gempa bumi berkekuatan 8,9 SR lalu disusul tsunami menyebabkan genset diesel yang menjadi sumber daya utama bagi pendingin reaktor pasca shutdown terendam dan mati. Hal ini menyebabkan terjadinya akumulasi gas hidrogen yang melebihi tekanan hingga membuat sungkup reaktor meledak (**Antariksawan & Juarsa, 2018; Samet & Chanson, 2015**). Kondisi ini atau yang dikenal dengan Station Black Out (SBO) menjadi alasan utama mengapa sangat dibutuhkannya sistem pendingin pasif dimana sistem bekerja tanpa adanya masukan daya dari luar (**Rinaldi et al., 2019**).

Sistem pendingin pasif telah banyak diaplikasikan pada reaktor generasi terbaru dengan tipe *Small Modular Reactors* (SMR's) untuk pengambilan panas sisa peluruhan dari teras reaktor dan untuk beberapa skenario kecelakaan lainnya seperti *Loss of Coolant Accident* (LOCA) (**IAEA, 2020**). Salah satu contohnya adalah reaktor NuScale (USA) yang menggunakan sistem pendingin pasif yang menggunakan prinsip sirkulasi alami (natural circulation) yang dibantu dengan dua katup resirkulasi reaktor dan tiga katup ventilasi reaktor (**Ingersoll et al., 2014**). Sirkulasi alami terjadi akibat adanya perbedaan densitas pada fluida kerja setelah melewati bagian pemanas sehingga fluida bergerak naik diakibatkan adanya gaya apung (bouyancy force) lalu sampai pada titik tertentu fluida akan terkondensasi lalu turun dibantu dengan gaya gravitasi (**Juarsa & Witoko et al., 2018**).

BATAN, dalam upayanya memahami dan meneliti fenomena sirkulasi alam mencoba membuat sebuah untai uji yang disebut Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP). FASSIP 01 Mod.2 merupakan untai uji berbentuk *rectangular loop* dengan fluida kerja air yang memiliki komponen utama *Water Heating Tank* (WHT), *Water Cooling Tank* (WCT), *Expansion Tank* yang dihubungkan dengan pipa stainless berdiameter 25,4mm dengan orientasi posisi *heater* dan *cooler* vertikal (VHVC) dan letak *heater* di taruh lebih rendah dari *cooler* maka diperkirakan fenomena sirkulasi alam dapat terjadi. Sebagai tahap awal dilakukan pengamatan karakteristik aliran dengan metode simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Tahapan ini sangat memudahkan dalam menganalisa beragam kondisi.

Makalah ini berisi tentang data hasil yang didapat melalui simulasi menggunakan software ANSYS-Fluent dengan desain yang dibuat dengan ANSYS *Design Modeller*. Simulasi dilakukan dengan variasi temperatur pada WHT 50°C, 60°C, 70°C dan WCT 5°C, 10°C, 15°C, 20°C dengan kondisi aliran satu fasa. Data yang didapat nantinya akan diproses sehingga dapat diketahui

laju aliran massa serta karakteristik aliran yang dialami. Data simulasi ini dapat dijadikan pembandingan terhadap eksperimen yang akan dilakukan nantinya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan Komputasi Dinamika Fluida atau *Computational Fluid Dynamic* (CFD) dengan beberapa pendekatan eksperimental yang bertujuan mencari korelasi antara variabel-variabel yang ada. Adapun pendekatan secara eksperimental ini dikerjakan dengan tujuan merancang untaian uji FASSIP-01 Mod.2 yang mengandalkan fenomena sirkulasi alami dan mencari pengaruh temperatur pada karakteristik aliran sirkulasi alami.

2.1 Variabel Penelitian

Variabel bebas pada penelitian kali ini adalah input temperatur pada *heated section* dan *cooled section*.

Tabel 1. Matriks penelitian

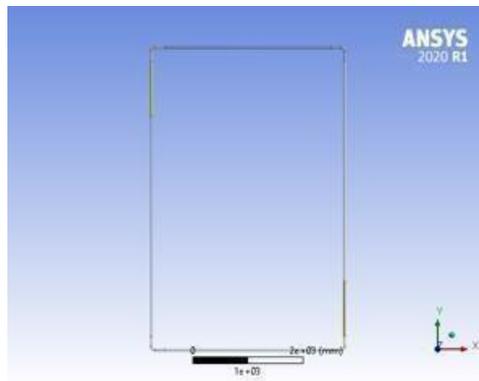
No	Temperatur Heated Section (°C)	Temperatur Cooled Section (°C)
1	50°C	5°C
2		10°C
3		15°C
4		20°C
5	60°C	5°C
6		10°C
7		15°C
8		20°C
9	70°C	5°C
10		10°C
11		15°C
12		20°C

2.2 Tahapan Simulasi

Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk mencapai hasil dari sebuah simulasi. Tahapan-tahapan yang dilalui dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut.

2.2.1 Pembuatan Geometri

Pada Tahapan ini dilakukan pembuatan model 3 dimensi yang mengacu pada desain yang sudah ada. Penyederhanaan desain biasa dilakukan pada tahap ini sesuai dengan lapisan batas yang ingin dianalisis. *Software* yang digunakan pada tahapan ini adalah *Ansys Design Modeller*.



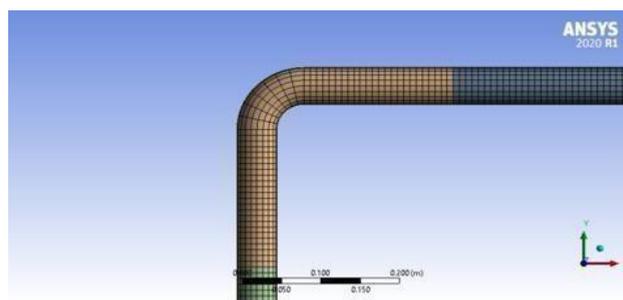
Gambar 2. Geometri FASSIP 01 Mod.2

2.2.2 Meshing

Tahapan selanjutnya yaitu meshing. *Meshing* sendiri adalah proses membagi komponen akan dianalisis menjadi elemen-elemen kecil atau diskrit (Ilmi,2018). Meshing untuk di FASSIP-01 Mod.2 seperti pada Tabel 2 dan Gambar 3 berikut.

Tabel 2. Ketentuan Meshing

<i>Element Size</i>	1.e -002 (m)
<i>Nodes</i>	733012
<i>Element Order</i>	<i>Quadratic</i>
<i>Transisi Ratio</i>	0,272



Gambar 3. Profil Meshing

2.2.3 Set-Up Simulasi

Simulasi dilakukan dalam kondisi transient dan kondisi satu fasa dengan *input* parameter sebagai berikut

Tabel 3. Set Up Simulasi

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>	<i>Y = -9.81 m/s</i>
<i>Models</i>	
<i>Energy</i>	<i>On</i>
<i>Materials</i>	
<i>Fluid - Waterliquid</i>	<i>Incompressible Ideal Gas</i>
<i>Solid - Steel</i>	<i>Constant</i>
<i>Cell Zone Conditions</i>	
<i>Surface_Body</i>	<i>Waterliquid</i>
<i>Boundary Condition</i>	
<i>Cooler</i>	<i>5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C</i>
<i>Heater</i>	<i>50 °C, 60 °C, 70 °C</i>
<i>Run Calculation</i>	
<i>Time Step Size</i>	<i>0,1</i>
<i>Number of Time Steps</i>	<i>300</i>
<i>Max Iterations/Time Step</i>	<i>20</i>
<i>Reporting Interval</i>	<i>1</i>
<i>Profile Update Interval</i>	<i>1</i>

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan simulasi yang telah dibuat maka diperoleh sejumlah data yang nantinya akan diolah untuk melihat karakteristik aliran sirkulasi alam pada FASSIP-01 Mod.2. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Data Hasil Simulasi

No	TH (°C)	TC (°C)	Velocity (m/s)	Wall Heat Flux (W/m ²)	Mass Flow Rate (kg/s)
1.	50	5	0,0146	835,898	0,0155
2.		10	0,0112	659,575	0,0135
3.		15	0,0099	525,519	0,0116
4.		20	0,0092	521,254	0,0098
5.	60	5	0,0160	879,611	0,0184
6.		10	0,0152	872,391	0,0164
7.		15	0,0145	865,435	0,0145
8.		20	0,0137	858,72	0,0126
9.	70	5	0,0207	1255,16	0,0210
10.		10	0,0199	1245,4	0,0190
11.		15	0,0191	1235,96	0,0171
12.		20	0,0183	1226,83	0,0153

Setelah mendapatkan data hasil simulasi. Selanjutnya data akan diolah untuk mencari bilangan Grashof (Gr) berdasarkan persamaan berikut, maka didapat hasil seperti pada Tabel 5

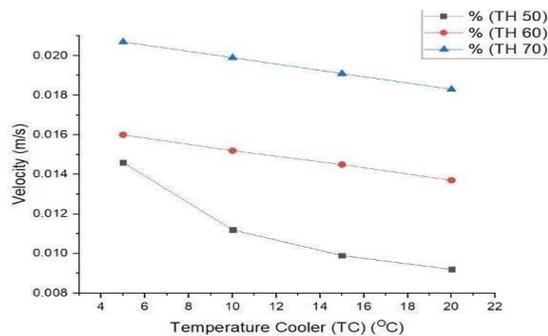
$$Gr = \frac{g.Lc^3.\Delta T.\beta}{\nu^2} \quad (1)$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Bilangan Grashof

No	TH (°C)	TC (°C)	Viscositas Dynamic (Pa.s)	Grashof Number (Gr)
1.	50	5	0,001034	8.10 ⁵
2.		10	0,000927	
3.		15	0,000842	
4.		20	0,000724	
5.	60	5	0,000994	1.10 ⁶
6.		10	0,000886	
7.		15	0,000802	
8.		20	0,000734	
9.	70	5	0,000963	2.10 ⁶
10.		10	0,000855	
11.		15	0,000704	
12.		20	0,000703	

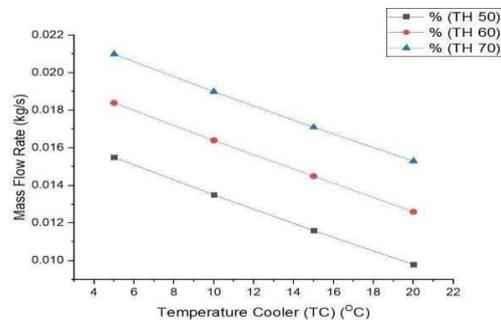
3.1 Grafik dan Pembahasan

Berikut adalah grafik yang didapat melalui hasil simulasi dan perhitungan



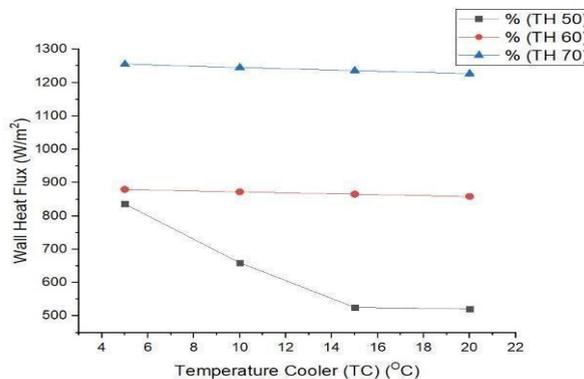
Gambar 4. Grafik Kecepatan Terhadap Temperatur WCT

Berdasarkan data yang didapat dari hasil simulasi maka dibuat grafik kecepatan seperti Gambar 4. Dapat dilihat pada kecepatan tertinggi didapat saat variasi WHT 70°C dan WCT 5°C dengan nilai 0.0207 m/s sedangkan kecepatan terendah didapat pada variasi WHT 50°C dan WCT 20°C dengan nilai 0.0092 m/s. Hal ini dapat dijelaskan karena densitas pada saat temperatur WHT 70°C sangat rendah sehingga memiliki gaya apung yang tinggi. Setiap variasi WHT memiliki tren yang sama.



Gambar 5. Grafik Laju Aliran Massa Terhadap Temperatur WCT

Hasil yang didapat terkait dengan laju aliran massa dapat dilihat pada Gambar 5. Grafik tersebut menunjukkan bahwa laju aliran massa tertinggi didapat saat temperatur WHT 70°C dan WCT 5°C dengan nilai 0.0210 kg/s dan nilai terkecil didapat saat WHT 50°C dan WCT 20°C yakni 0.0098 kg/s dan pada setiap variasi memiliki tren yang sama



Gambar 6. Grafik Wall Heat Flux Terhadap Temperatur WCT

Hasil yang didapat terkait bilangan Grashof (Gr) setelah melewati proses perhitungan menggunakan persamaan 4 pada variasi temperatur heater 50°C,60°C,70°C berturut-turut adalah 8×10^5 , 1×10^6 , 2×10^6 . Ketentuan bilangan Grashof apabila nilai ($Gr < 4.10^8$) maka aliran bertipe **laminar**, sedangkan untuk aliran **turbulen** akan terjadi bila ($Gr > 4.10^8$).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan, laju aliran massa, dan *wall heat flux* berbanding lurus dengan perbedaan temperatur pada bagian WHT dan WCT. Hal ini dibuktikan berdasarkan hasil yang didapat, nilai tertinggi didapat pada variasi WHT 70°C dan WCT 5°C yang berturut-turut adalah 0.0207 m/s; 1255.16 W/m²; 0.0210 kg/s. Kemudian, berdasarkan ketentuan bilangan Grashof (Gr) yang menyebutkan bahwa jika ($Gr < 4.10^8$) maka tipe aliran adalah laminar maka semua variasi memiliki tipe aliran laminar.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

- Antariksawan, A. R., & Juarsa, M. (2018). Keselamatan Raktor Nuklir: Kecelakaan Dasar Desain dan Kecelkaan Parah. In Journal of Chemical Information and Modeling
- Budi, R. F. S., & Suparman, S. (2013). Perhitungan Faktor Emisi CO₂ PLTU Batubara dan PLTN. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 15(1).
- Ilmi, B. (2018). *Analisis Laju Erosi Pipa Discharge Slurry Jenis Hdpe pada Kapal Keruk Isap (Cutter Suction Dredger) Yang Beroperasi di Canal Water Intake PLTGU Grati Menggunakan Simulasi CFD* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Ingersoll, D. T., Houghton, Z. J., Bromm, R., & Desportes, C. (2014). NuScale small modular reactor for Co-generation of electricity and water. *Desalination*, 340, 84-93.
- International Atomic Energy Agency (2020). Advances in small modular reactor technology developments. Vienna, Austria
- Juarsa, M., Witoko, J. P., Giarno, Haryanto, D., & Purba, J. H. (2018). An experimental analysis on Nusselt number of natural circulation flow in transient conditions based on the height differences between heater and cooler. *Atom Indonesia*, 44(3), 123–130. <https://doi.org/10.17146/aij.2018.876>
- Rinaldi, A., Gabriella N, L., Giarno, G., Prasetio, J., & Juarsa, M. (2019). Estimasi Laju Aliran Sirkulasi Alam Berdasarkan Beda Temperatur pada Untai FASSIP-01. *SIGMA EPSILON - Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir*, 23(2), 58. <https://doi.org/10.17146/sigma.2019.23.2.5669>
- Samet, J. M., & Chanson, D. (2015). Fukushima Daiichi Power Plant Disaster. 51.
- Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, "Laporan Kajian Penelaahan Neraca Energi Nasional 2019", Jakarta: DEN, 2019,13-25.

Pertanyaan :

Apakah penelitian ini sdh mencapai turbulence

Jawab :

Belum, karena percobaan masih di suhu 50°, 60 ° dan 70°.