

PERHITUNGAN DAN PENENTUAN JENIS ALIRAN PADA UNTAI FASSIP-03 NT SAAT KOMISIONING BERDASARKAN VARIASI DAYA PEMANAS

Dedy Haryanto^{1*}, Ainur Rosidi¹, G. Bambang Heru K.¹, Giarno¹, Mulya Juarsa¹, Totok Dermawan², Rio Natanael Wijaya², Yadi Yunus²

¹ Organisasi Tenaga Nuklir-Pusat Riset dan Teknologi Reaktor Nuklir-BRIN

² Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia-BRIN

*Email: dedyharyanto.69@gmail.com

Abstrak

Kejadian station blackout (SBO) pada PLTN Fukushima Daiichi pada Maret 2011 di Jepang menjadi latar belakang yang penting untuk kegiatan penelitian tentang sistem pendinginan pasif. Pengaruh perubahan densitas fluida di daerah panas menimbulkan gaya apung (buoyancy force) dan pengaruh perubahan densitas fluida pada keadaan dingin menimbulkan gaya gravitasi (gravitational force) sehingga terjadi sirkulasi alam pada fluida kerja (air) di sepanjang untai. Tujuan penelitian dilakukan untuk mengetahui batasan operasi sehingga terjadi sirkulasi alami dan menentukan jenis aliran yang terjadi berdasarkan hasil perhitungan. Penelitian dilakukan secara eksperimental berdasarkan variasi setting temperatur air dalam tangki pemanas dan daya listrik di heater (variasi tegangan regulator). Analisis dilakukan berdasarkan grafik laju aliran sirkulasi alam yang terjadi pada untai FASSIP 03 NT selama komisioning. Hasil analisis dan perhitungan, laju aliran sirkulasi alam yang terbentuk adalah rejim aliran turbulen dengan rentang bilangan Reynolds (Re) dari 4305,8 – 7705,4. Dengan terjadinya aliran jenis turbulen pada untai FASSIP-03 NT berakibat permindahan panas yang terjadi menjadi lebih baik.

Kata kunci: untai uji FASSIP-03 NT, pendingin pasif, sirkulasi alamiah, Re .

1. PENDAHULUAN

Kegiatan penelitian dilakukan dilatarbelakangi oleh kejadian kecelakaan pada PLTN Fukushima Daiichi, Maret 2011 di Jepang. Berdasarkan kecelakaan reaktor nuklir tersebut, sistem pendinginan pasif pada instalasi nuklir harus dapat digunakan untuk membantu melakukan proses pembuangan panas sisa hasil peluruhan yang terjadi secara terus menerus pada saat sistem pendinginan aktif tidak berfungsi akibat terjadinya *station blackout* (tidak adanya catu daya listrik) yang berkepanjangan maupun pada kondisi operasi normal. Sehingga pemanfaatan sistem pendingin pasif pada sistem pengambilan kalor pada teras reaktor sebagai sistem keselamatan bantu ketika terjadi kecelakaan menjadi salah satu pilihan (Juarsa dkk., 2011).

Untai uji Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP) merupakan fasilitas uji eksperimen sistem pendingin pasif untuk pengambilan panas sisa hasil peluruhan yang dihasilkan oleh teras reaktor selama kondisi kecelakaan (Sun dkk., 2017) (Antariksawan, 2000) (Kusuma dkk., 2017) (Wang, 2013) (Tjahjono, 2017). Beberapa fasilitas uji simulasi telah dibuat oleh Pusat Riset dan Teknologi Reaktor Nuklir untuk melakukan penelitian tentang pendinginan pasif. Fasilitas-fasilitas tersebut adalah fasilitas uji FASSIP-01 kemudian dikembangkan dengan membangun fasilitas uji FASSIP-02 dan dilanjutkan dengan fasilitas uji FASSIP-02 mod.1. Pada tahun 2021 mulai dibuat desain untai uji Fasilitas Simulasi Sistem Pasif-03 *Nanobubble Transparent* (FASSIP-03 NT) yang menggunakan fluida *Nanobubbles*. Fasilitas penelitian ini mempunyai keterbaruan dibandingkan dengan fasilitas yang telah dibuat sebelumnya. Keterbaruan tersebut adalah dilengkapinya *helical heat exchanger* pada *Heating Tank System* (HTS) dan *Cooling Tank System* (CTS). Sehingga perpindahan kalor pada fluida kerja lebih mudah terjadi, dan sirkulasi alamiah lebih mudah terjadi pada fluida kerja tanpa memerlukan daya listrik untuk memompa fluida kerja.

Kegiatan penelitian dilakukan saat komisioning untai FASSIP-03 NT, dimana komisioning perlu dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja fasilitas penelitian (Juarsa dkk., 2017). Kegiatan pengoperasian dan perekaman data temperatur dilakukan bertujuan untuk mengetahui laju aliran fluida kerja dan jenis

aliran yang terjadi. Diharapkan laju aliran sirkulasi alami terjadi dengan jenis aliran turbulen, dimana jenis aliran ini lebih mudah menghantarkan kalor dibandingkan dengan jenis aliran laminar.

2. TEORI

Sirkulasi alami terjadi karena adanya perbedaan densitas pada fluida kerja, fluida bertemperatur lebih tinggi akan memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan fluida dengan temperatur lebih rendah, sehingga fluida dengan densitas lebih rendah akan terangkat keatas dengan adanya gaya yang disebut dengan gaya apung (*buoyancy force*). Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang sirkulasi alami yang terjadi pada fluida, dengan cara eksperimental maupun dengan cara simulasi. Penelitian tersebut diantaranya adalah mensimulasikan karakteristik termal-hidrolik yang terkait dengan mekanisme sirkulasi alami menggunakan CFD (Wang, 2013). Penelitian lainnya adalah studi eksperimental tentang pengaruh daya listrik pada karakteristik sirkulasi alami pada kondisi satu fase, dimana eksperimen dilakukan pada daya konstan dan daya variabel. Pada daya konstan dan daya variabel selalu menunjukkan karakteristik yang tidak stabil yaitu osilasi temperatur terjadi diseluruh bagian fluida yang dipanaskan (Misale, 2016).

Untuk menentukan jenis aliran yang terjadi di dalam pemipaan untai FASSIP 03 NT, perlu dihitung bilangan Reynolds (Re) pada kondisi laju alir dan temperatur fluida kerja. Perhitungan Re dilakukan menggunakan Persamaan (1) (Noufal dkk., 2015):

$$Re = \rho \frac{vd}{\mu} \quad (1)$$

dengan,

- Re = bilangan Reynolds
- ρ = densitas fluida kerja (kg/m^3)
- ϑ = kecepatan aliran fluida kerja (m/s)
- d = diameter dalam pipa (m)
- μ = viskositas fluida kerja (kg/m.s)

Densitas fluida dipengaruhi oleh temperatur sehingga nilai densitas fluida berdasarkan temperatur perlu dihitung terlebih dahulu. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung korelasi densitas (Marietta, 1993):

$$\rho = (A + BT_F + CT_F^2) \quad (2)$$

dengan,

$$T_F = 1,8T + 32,$$

$$A = 1004,789042,$$

$$B = -0,046283,$$

$$C = -7,9738 \times 10^{-4},$$

$$T = \text{temperatur } (^{\circ}\text{C}),$$

$$\rho = \text{densitas fluida } (\text{kg/m}^3).$$

Perhitungan kecepatan aliran fluida kerja dihitung saat laju alir fluida kerja dikondisi tunak, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (Noufal dkk., 2015) (3):

$$\vartheta = \frac{q}{A}, \text{ dengan } A = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (3)$$

dengan,

$$\vartheta = \text{kecepatan aliran fluida kerja } (\text{m/s})$$

$$q = \text{Laju alir } (\text{m}^3/\text{s})$$

$$A = \text{Luas penampang pipa } (\text{m}^2)$$

$$d = \text{diameter dalam pipa } (\text{m})$$

Sedangkan Persamaan (4) digunakan untuk menghitung korelasi viskositas adalah sebagai berikut (Marietta, 1993):

$$\mu = \exp \left[\frac{(A + CT)}{(1 + BT + DT^2)} \right] \quad (4)$$

dengan,

A = 0,5677829144,

B = 1,8774171 x 10⁻³,

C = -8,1790 x 10⁻⁶,

D = 5,66294775 x 10⁻⁹,

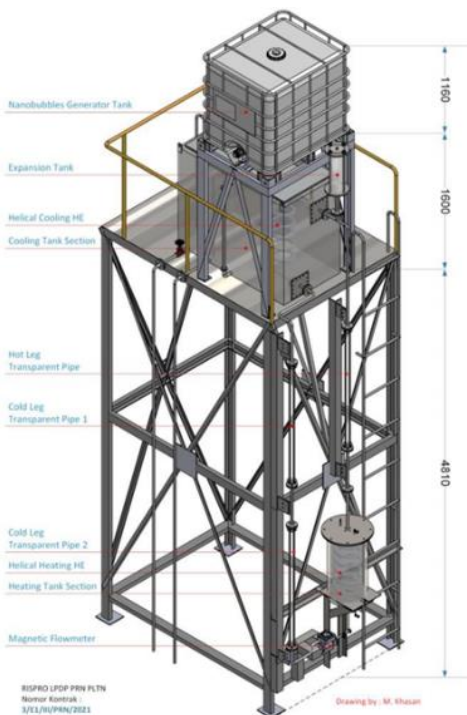
T = temperatur (°C),

μ = viskositas fluida kerja (kg/m.s).

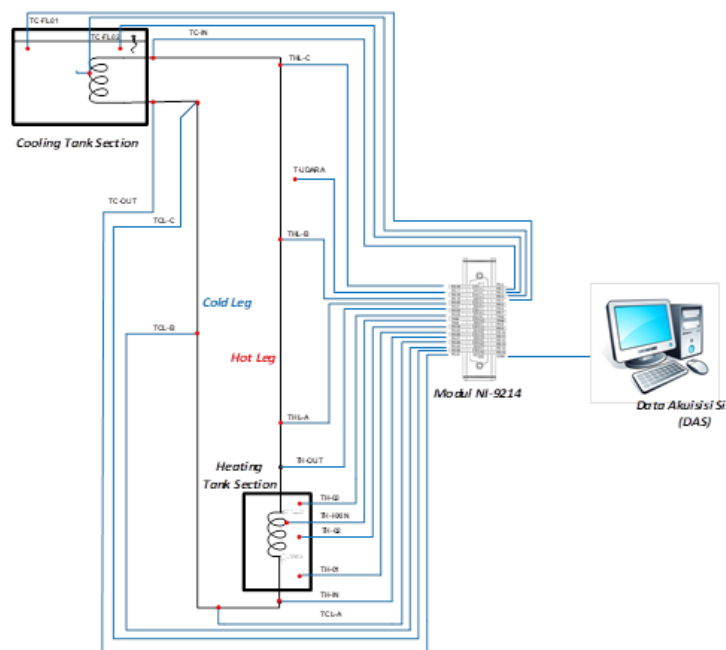
Jika $Re < 2000$ menunjukkan aliran laminar, jika $2000 > Re > 4000$ menunjukkan jenis aliran tak stabil dan jika $Re > 4000$ menunjukkan jenis aliran turbulen (Daugherty dan Ingersol, 1954).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Untai FASSIP-03 NT merupakan fasilitas penelitian sistem pendingin pasif menggunakan *Heating Tank Section* kontak tak langsung dan menggunakan *nanobubbles* sebagai fluida kerja. FASSIP-03 NT terdiri dari komponen *Nanobubbles Generator Tank*, *Expansion Tank*, *Cooling Tank Section (CTS)* yang dilengkapi dengan *helical cooling heat exchanger*, *hot-leg transparent pipe*, *cold-leg transparent pipe*, serta *Heating Tank Section (HTS)* yang dilengkapi dengan *helical heating heat exchanger*. Seluruh komponen tersebut dihubungkan menggunakan pipa 1 inchi sch. 40 sehingga menjadi suatu untai/loop, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Untai FASSIP-03 NT



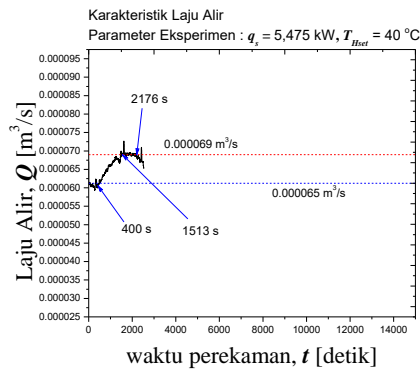
Gambar 2. Pemasangan termokopel

Tahapan penelitian menggunakan fasilitas untai FASSIP-03 NT adalah mengoperasikan fasilitas dan melakukan perekaman meliputi data temperatur dan data laju alir. Data temperatur diukur

menggunakan termokopel yang terpasang pada untai FASSIP-03 NT seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sedangkan data laju alir diukur menggunakan alat ukur *flowmeter* yang terpasang pada sistem pemipaan untai FASSIP-03 NT. Hasil pengukuran laju alir selanjutnya diolah dan ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga dapat ditentukan besar laju alir pada saat kondisi tunak. Selanjutnya dengan menggunakan Persamaan (1), (2), (3) dan (4) dilakukan perhitungan untuk menentukan Re serta menentukan jenis aliran.

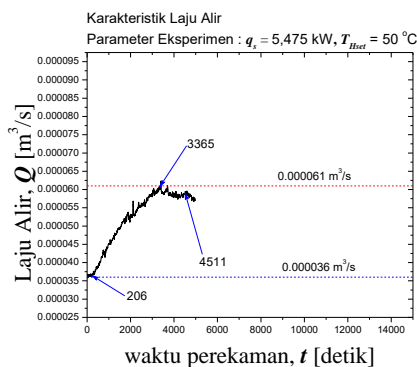
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengukuran laju alir yang diperoleh dalam satuan Liter Per Menit (LPM), sehingga data tersebut harus diubah ke satuan m^3/s sebelum ditampilkan dalam bentuk grafik. Data hasil pengukuran *flowmeter* pada daya 5,475 kW dan *setting* temperatur 40 °C ditunjukkan pada Gambar 3.

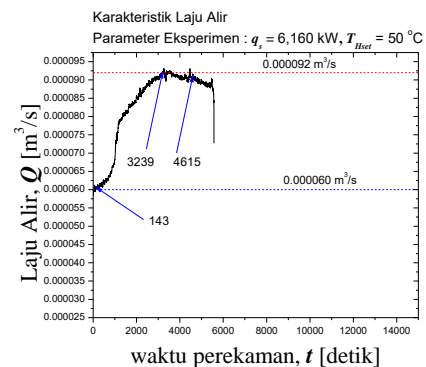


Gambar 3. Daya 5,475 kW dan *setting* temperatur 40 °C

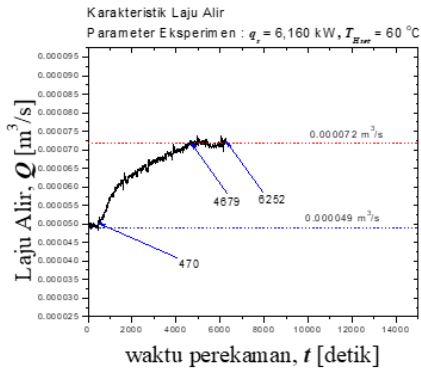
Gambar 3 menunjukkan laju alir awal (q_0) saat pengambilan data dimulai telah menunjukkan pada besaran $0,000065 \text{ m}^3/s$. Meningkat secara kontinyu dimulai pada detik ke 400 (t_{up}) dan pada detik ke 1513 ($t_{awal-tunak}$) sudah mencapai kondisi tunak. Kondisi tunak dicapai dalam waktu $1513 - 400 = 1113$ detik ($t_{to-tunak}$). Kondisi tunak adalah kondisi temperatur fluida kerja telah mencapai temperatur yang ditentukan (*setting* temperatur). Pada kondisi tunak dengan daya 5,475 kW dan *setting* temperatur 40 °C komisioning laju alir fluida kerja pada kisaran $0,000069 \text{ m}^3/s$ (q_{tunak}). Kondisi tunak dibiarkan berlangsung hingga detik ke 2176 ($t_{akhir-tunak}$) kemudian pemanas listrik dimatikan, sehingga laju alir mengalami penurunan (data tidak direkam). Grafik hasil karakteristik laju alir pada *setting* daya dan *setting* temperatur lainnya diperlihatkan pada Gambar 4 sampai Gambar 12 dibawah ini.



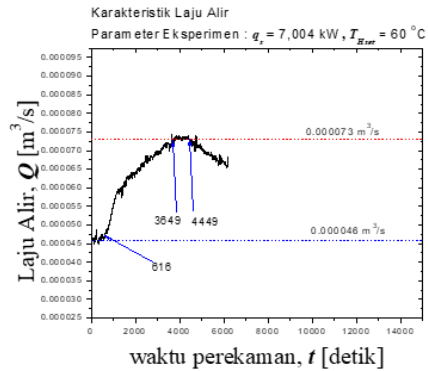
Gambar 4. Daya 5,475 kW dan temperatur 50 °C.



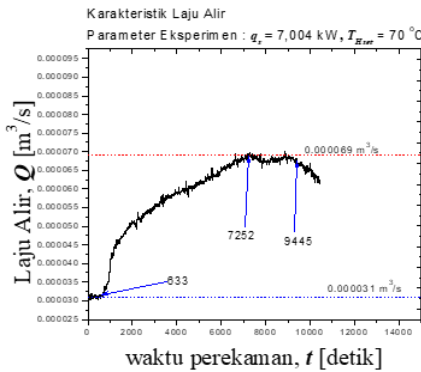
Gambar 5. Daya 6,160 kW dan temperatur 50 °C.



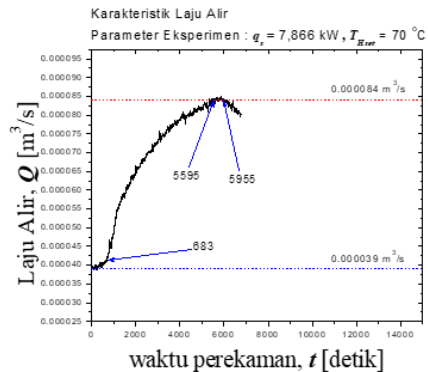
Gambar 6. Daya 6,160 kW dan temperatur 60 °C.



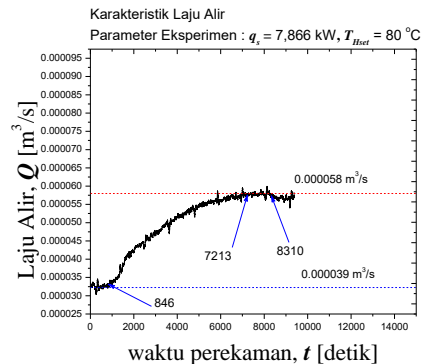
Gambar 7. Daya 7,004 kW dan temperatur 60 °C.



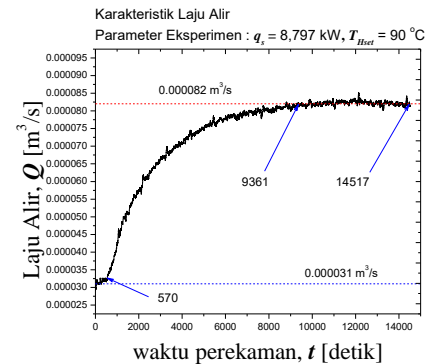
Gambar 8. Daya 7,004 kW dan temperatur 70 °C.



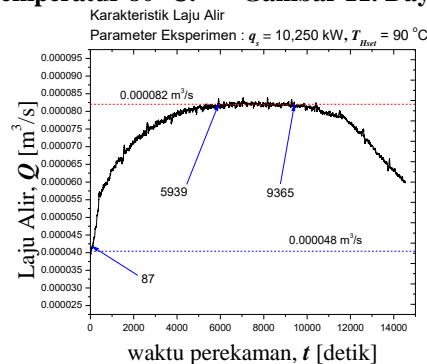
Gambar 9. Daya 7,866 kW dan temperatur 70 °C.



Gambar 10. Daya 7,866 kW dan temperatur 80 °C.



Gambar 11. Daya 8,797 kW dan temperatur 90 °C.



Gambar 12. Daya 10,250 kW dan temperatur 90 °C.

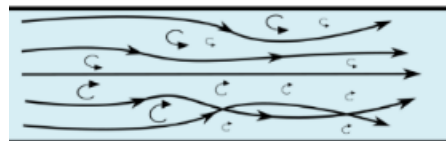
Parameter pengukuran karakteristik laju alir saat komisioning pada untai FASSIP-03 NT ditampilkan pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Data karakteristik laju alir komisioning untai FASSIP-03 NT pada kondisi tunak

$T_{Setting}$ (°C)	$q_{Setting}$ (kW)	Q_0 (m ³ /s)	Q_{tunak} (m ³ /s)	t_{up} (detik ke)	$t_{awal-tunak}$ (detik ke)	$t_{akhir-tunak}$ (detik ke)	$t_{to-tunak}$ (detik)	t_{tunak} (detik)
40	5,475	0,000065	0,000069	400	1513	2176	1113	663
50	5,475	0,000036	0,000061	206	3365	4511	3159	1146
50	6,160	0,000060	0,000092	143	3239	4615	3096	1376
60	6,160	0,000049	0,000072	470	4679	6252	4209	1573
60	7,004	0,000046	0,000073	616	3649	4449	3033	800
70	7,004	0,000031	0,000069	633	7252	9445	6619	2193
70	7,866	0,000039	0,000084	683	5595	5955	4912	360
80	7,866	0,000039	0,000058	846	7213	8310	6367	1097
90	8,797	0,000031	0,000082	570	9361	14517	8791	5156
90	10,250	0,000039	0,000082	87	5939	9365	5852	3426

Berdasarkan data pada Tabel 1, pada berbagai *setting* daya ($q_{Setting}$) dan *setting* temperatur ($T_{Setting}$) terekam data awal laju alir bervariasi, hal ini menunjukkan bahwa pengoperasian untai FASSIP-03 NT saat komisioning tidak diawali dengan kondisi temperatur awal yang sama. Temperatur air di tangki pemanas dan pendingin serta temperatur fluida kerja seharusnya sama diawal pengoperasian pada berbagai *setting* daya dan *setting* temperatur. Pengoperasian pada *setting* daya tertinggi 10,250 kW dan *setting* temperatur 90 °C mulai detik ke 87 kecepatan laju alir meningkat untuk menuju kondisi tunak. Untuk mencapai kondisi tunak membutuhkan waktu 5852 detik.

Penentuan bilangan Reynolds (R_e) dilakukan berdasarkan hasil perhitungan pada kondisi laju alir dan temperatur fluida kerja. Perhitungan menggunakan Persamaan (1) dan hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 2 berikut ini.



Gambar 13. Jenis aliran turbulen

Tabel 2. Hasil perhitungan untuk menentukan Re_c dan jenis aliran pada untai FASSIP-03 NT

No.	T Setting (°C)	$q_{Setting}$ (kW)	Diameter Dalam pipa (m)	Kecepatan (m/s)	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (kg/ms)	Re	jenis Aliran
1	40	5,475	0.027	0.119	993.743	0.000745	4305.801	Turbulen
2	50	5,475	0.027	0.105	992.533	0.000701	4038.148	Turbulen
3	50	6,160	0.027	0.158	992.865	0.000717	5963.616	Turbulen
4	60	6,160	0.027	0.124	991.451	0.000672	4969.410	Turbulen
5	60	7,004	0.027	0.126	991.238	0.000664	5096.448	Turbulen
6	70	7,004	0.027	0.119	988.697	0.000597	5351.312	Turbulen
7	70	7,866	0.027	0.145	989.749	0.000626	6218.315	Turbulen
8	80	7,866	0.027	0.100	987.021	0.000571	4697.123	Turbulen
9	90	8,797	0.027	0.141	982.636	0.000490	7705.411	Turbulen
10	90	10,250	0.027	0.141	984.487	0.000521	7253.269	Turbulen

Hasil perhitungan diperoleh besar $Re_c > 4000$, sehingga jenis aliran yang terjadi dengan variasi daya pada pemanas untai FASSIP-03 NT adalah aliran turbulen. Karakter jenis aliran ditunjukkan pada Gambar 13.

Aliran turbulen yang terjadi pada untai FASSIP-03 NT adalah aliran fluida yang tidak teratur, dimana partikel dalam aliran turbulen dapat bergerak secara acak antar lapisan, bercampur dan membentuk pola aliran seperti pusaran air. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan temperatur pada fluida kerja dan adanya *helical heat exchanger* pada HTS dan CTS untai FASSIP-03 NT. Sifat air yang bergolak karena pengaruh temperatur, dipengaruhi oleh peristiwa konveksi pada proses perpindahan panas yang menyebabkan terjadinya aliran turbulen. Sedangkan *helical heat exchanger* merupakan suatu hambatan (*restriction*), yang dikombinasikan dengan kecepatan dari fluida. Dalam setiap hambatan dalam suatu instalasi, aliran fluida akan terganggu dan kecepatannya akan berubah sehingga mengakibatkan alirannya menjadi turbulen (Anonimus, 2022).

5. KESIMPULAN

Sirkulasi alamiah terjadi pada fasilitas untai FASSIP-03 NT dengan fluida kerja berupa air. Sirkulasi alamiah berjenis aliran turbulen dengan variasi daya pemanas listrik pada HTS. Semakin besar pemakaian daya pemanas listrik HTS, kecepatan aliran sirkulasi alamiah cenderung meningkat. Rentang tertinggi laju aliran sirkulasi alamiah yang terbentuk adalah 0.000061– 0,000092 m³/s dan berjenis aliran turbulen (rentang Re_c : 4305,8 – 7705,4). Terjadinya aliran turbulen pada untai FASSIP-03 NT dipengaruhi oleh adanya perubahan temperatur dan adanya *helical heat exchanger* pada HTS dan CTS. Aliran jenis turbulen sangat menguntungkan karena jenis aliran ini lebih mudah menghantarkan kalor sehingga perpindahan kalor pada fluida kerja menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Antariksawan, A. R., (2000), Accident Analysis of PWR Station Blackout with Pump Seal Leak Using Melcor 1.8. 4. *Proceeding Semonar on Technology and Safety of Nuclear Power Plant and Nuclear Facilities*.
- Anonimus. www.pengadaan.web.id/2021/12/bilangan-reynold-menentukan-aliran-fluida.html. Diakses: 10 September 2022, jam 22.48.
- Daugherty, R. L., Ingersol, A. C., (1954), *Fluid Mechanics with Engineering Applications*, 5nd Ed., Mc Graw-Hill Book Company, INC., New York, pp. 53-67.
- Juarsa, M. dkk., (2011), Studi Eksperimental laju Aliran Massa Air Berdasarkan Perubahan Sudut kemiringan Untai pada Kasus Sirkulasi Alamiah Menggunakan Untai Sirkulasi Alamiah (USSA-FT01), *Jurnal Material dan Energi Indonesia, Jurusan Fisika FMIPA*, pp. 22-30.
- Juarsa, M., Giarno, Rohman, A. N., Kusnugroho, G. B. H., Witoko, J. P., Tjahyani, D. T. S., (2017), Flow Rate and Temperature Characteristics in Steady State Condition on FASSIP-01 Loop during Commissioning, *International Conference on Nuclear Technologies and Sciences (ICoNETS 2017)*,. IOP Conf. Series: Journal of Physics.

- Kusuma, M. H., Putra, N., Ismarwanti, S., and Widodo S., (2017), Simulation of Wickless-Heat Pipe as Passive Cooling System in Nuclear Spent Fuel Pool Using RELAP5/MOD3. 2. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology* VII, pp. 836-842.
- Marietta, M., (1993), Thermophysical Properties of Saturated Light and Heavy Water for Advanced Neutron Source Application, *INC for The United State Department of Energy: Oak Ridge National Laboratory*, Martin Marietta Energy System.
- Misale, M., (2016), Experimental Study on The Influence of Power Steps on The Thermohydraulic Behavior of a Natural Circulation Loop, *International Journal of Heat and Mass Transfer* pp. 782-791.
- Noufal, M., Giarno, Witoko, J.P., Haryanto, D., Juarsa, M., (2015), Analisis Unjuk Kerja Pemanas dan Pendingin di Untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif, *Majalah Ilmiah Sigma Epsilon* 19 (2).
- Sun, D. C., Li, Y., Xi, Z., Zan, Y. F., Li, P. Z., Zhou, W. B., (2017), Experimental Evaluation of Safety Performance of Emergency Passive Residual Heat Removal System in HPR1000, *Nuclear Engineering Design*, pp. 54-60.
- Tjahjono, H., (2017), Comprehensive Prediction of Thermosyphon Characteristics in Reactor Passive Cooling System Simulation Loop FASSIP-01, *Atom Indonesia*, pp. 157-166.
- Wang, Y., (2013), Preliminary Study for the Passive Containment Cooling System Analysis of the Advanced PWR, *Energy Procedia*, pp. 240–247.