

---

## ANALISIS LAJU ALIRAN AIR DI *COOLER* PADA *HEAT SINK SYSTEM* UNTAI UJI FASSIP

Giarno, Joko Prasetyo W, Agus Nur Rachman

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - BATAN

### ABSTRAK

**ANALISIS LAJU ALIRAN AIR DI *COOLER* PADA *HEAT SINK SYSTEM* UNTAI UJI FASSIP.** Konsep keselamatan pasif digunakan untuk meningkatkan keamanan dan keselamatan PLTN. Sistem pasif merupakan sistem pembuang kalor dengan mengasumsikan tidak tersedianya pompa serta gagal beroperasinya generator diesel. Untuk mendalami teknologi sistem pasif telah dibuat fasilitas eksperimen baru di laboratorium Termohidrolika PTKRN BATAN, yaitu Untai uji Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP). Untai uji FASSIP terdiri dari untai rektangular dan *Heat Sink System (HSS)*. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan eksperimen sirkulasi alam menggunakan untai uji FASSIP, dimana data hasil eksperimen dibuat grafik hubungan antara waktu terhadap temperatur sehingga diperoleh data ketika temperatur mulai stabil untuk melakukan perhitungan perpindahan kalor. Tujuannya adalah untuk melakukan analisis laju aliran massa air di bagian *cooler*. Dari hasil perhitungan dan analisis, semakin tinggi nilai laju aliran massa air maka semakin tinggi nilai perpindahan kalor dan variasi daya pemanas tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai perpindahan kalor.

**Kata kunci:** FASSIP, Heat Sink System, laju aliran massa, perpindahan kalor

### ABSTRACT

***WATER MASS FLOW RATE ANALYSIS IN THE COOLER OF HEAT SINK SYSTEM IN THE FASSIP TEST LOOP.*** The concept of passive safety is used to improve the security and safety of nuclear power plants. Passive system is a heat removal system by assuming the unavailability of the pump and failure of diesel generators operation. To explore the passive system technology, a new experimental facilities at the laboratory Termohidrolika of PTKRN BATAN has been constructed, which is Passive System Simulation Facility (FASSIP). The loop of FASSIP consists of a rectangular loop and Heat Sink System (HSS). Data were collected by conducting experiments using the natural circulation loop of FASSIP, in which experimental data results were presented as a graph showing the relation between time and temperature to obtain the data where the temperature is stabilized, so that heat transfer calculation can be performed. The purpose is to analyze the mass flow rate of water in the cooler component. From the calculation and analysis, it shows that the higher the mass flow rate of the water, the higher the value of heat transfer and the heating power variation does not significantly affect the value of heat transfer.

**Keywords:** FASSIP, Heat Sink System, mass flowrate, heat transfer

## PENDAHULUAN

Sejak kejadian kecelakaan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Fukushima Dai-ichi pada 11 Maret 2011, faktor keselamatan PLTN semakin menjadi perhatian industri nuklir dan menjadi persyaratan wajib<sup>[1]</sup>. Gagalnya sistem pendinginan aktif pada PLTN Fukushima Dai-ichi mengakibatkan melelehnya teras reaktor akibat kejadian *Station Blackout* (SBO)<sup>[2]</sup>. Kecelakaan reaktor Fukushima Dai-ichi menjelaskan arti pentingnya sistem keselamatan pasif untuk diaplikasikan pada sistem keselamatan reaktor selanjutnya<sup>[3]</sup>.

Berdasarkan rencana strategis (Renstra) PTKRN BATAN tahun 2015-2019<sup>[4]</sup> yaitu menguasai fenomena sirkulasi alamiah dengan aliran satu fasa dan dua fasa untuk pengembangan teknologi Sistem Pasif *Residual Heat Removal* (PRHRS) dalam penguasaan manajemen keselamatan reaktor daya tipe ALWR dan Reaktor Riset, maka untuk mendalami studi awal teknologi sistem pasif, di laboratorium Termohidrolika PTKRN BATAN, saat ini telah dibuat untai termosiphon<sup>[5]</sup>. Untai termosiphon merupakan untai tertutup untuk menggambarkan alat penukar kalor yang memiliki kemampuan memindahkan kalor dari suatu area sumber kalor yang bertemperatur panas ke area yang lebih dingin dengan jarak tertentu<sup>[6]</sup>. Selanjutnya untuk mendalami teknologi sistem pasif telah dibuat fasilitas eksperimen baru yaitu untai uji Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP). Untai uji FASSIP adalah sebuah fasilitas eksperimen yang mensimulasikan sistem pendinginan di reaktor secara pasif dengan tujuan untuk mempelajari sirkulasi alamiah per-

gerakan fluida yang dipanasi oleh sumber pemanas, bergerak secara alamiah dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah<sup>[7]</sup>. Pemodelan perpindahan kalor dari untai rektanguler ke untai *Heat Sink System* (HSS) dengan arah aliran sejajar (*parallel flow*) telah dilakukan dengan menggunakan *software Cycle-Tempo* untuk memberi gambaran siklus termodinamika proses hasil pemanasan dan pendinginan fluida kerja pada sistem pendingin dan laju aliran massa<sup>[7]</sup>.

Tujuan penelitian adalah menganalisis laju aliran massa air di bagian *cooler* dari untai uji FASSIP berdasarkan kemampuan pendinginan pada HSS yang terhubung dengan *cooler*. Hasil eksperimen sirkulasi alam dengan menggunakan untai uji FASSIP berdasarkan variasi daya pemanas akan mendapatkan parameter pengukuran berupa temperatur *inlet* dan *outlet* di tangki *cooler* dan debit air di HSS. Data hasil eksperimen akan digunakan untuk melakukan perhitungan perpindahan kalor dan analisis laju aliran massa air di *cooler* dan akan digunakan untuk mengetahui kemampuan HSS dalam pengambilan atau penyerapan kalor dari untai rektanguler FASSIP.

## TEORI

Untai uji FASSIP adalah untai terbuka berbentuk segi empat (rektanguler) yang dilengkapi tangki *heater* sebagai sumber pemanas dan tangki *cooler* sebagai sumber pendingin serta tangki ekspansi yang berfungsi untuk menampung fluida ketika terjadi pemuaian. Tangki *cooler* adalah alat

penukar kalor yang dilengkapi dengan *precooler* dan mesin refrigerasi (*refrigerator*) serta pompa sentrifugal yang berfungsi untuk mensirkulasikan fluida dari *precooler* ke tangki *cooler* dengan arah aliran searah dengan aliran fluida panas di untai rektanguler. Proses pengambilan kalor dari fluida panas dari untai rektanguler terjadi di tangki *cooler* yang arah alirannya searah dengan fluida dingin yang berasal dari *precooler*. Fluida panas dalam *precooler* dibuang ke lingkungan oleh mesin refrigerasi dan proses itu disebut *Heat Sink System* (HSS).

Eksperimen sirkulasi alam dengan menggunakan untai FASSIP bertujuan untuk memperoleh data pengukuran temperatur dan debit air aliran tinggi pada HSS dan debit air aliran rendah pada untai rektanguler. Data untuk membuat grafik hubungan temperatur selama eksperimen pada HSS aliran searah memerlukan data temperatur *inlet* dan *outlet* tangki *cooler*.

Temperatur yang berada di untai HSS akan diukur menggunakan sensor termokopel, lalu akan dibaca dan direkam pada sistem DAS di komputer dengan program *LabVIEW*. Banyaknya fluida pendingin yang dipompakan dari *precooler* menuju tangki *cooler* akan dibaca oleh alat ukur debit air aliran tinggi dengan menggunakan Flowmeter elektromagnetik seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowmeter elektromagnetik

Debit air dapat juga dihitung dengan persamaan (1) <sup>[8]</sup>, yaitu:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

$Q$  = Debit air aliran tinggi ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$V$  = Volume air HSS ( $\text{m}^3$ )

$T$  = waktu (detik)

Sedangkan untuk menghitung laju aliran massa menggunakan persamaan (2) <sup>[8]</sup> yaitu:

$$\dot{m} = \rho_{air} Q \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

$Q$  = Debit air aliran tinggi ( $\text{m}^3/\text{detik}$ )

$m$  = Laju aliran massa ( $\text{kg}/\text{detik}$ )

$\rho$  = Densitas air ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Nilai densitas air dapat diperoleh dari *software Steam Table water 97\_v13* [9]. Sistem pemipaan HSS dan tangki *cooler* diberi isolasi termal, dengan demikian untai HSS dapat diasumsikan sebagai proses adiabatik (tidak ada pertukaran panas ke lingkungan) [10]. Dengan demikian dapat diperkirakan kemampuan pendinginan untai FASSIP menggunakan persamaan perpindahan kalor yang terjadi pada penampang / saluran yang berbentuk pipa / tabung seperti ditunjukkan persamaan (3) [8] yaitu:

$$q = \dot{m} \cdot c_{p_{air}} \cdot (T_o - T_i) \quad \dots \dots \dots (3)$$

dengan :

$q$  = daya kalor yang dipindahkan (W)

$\dot{m}$  = laju aliran massa air (kg/detik)

$c_{p_{air}}$  = kapasitas jenis air (J/kg. °C)

$T_o - T_i$  = temperatur *inlet* & *outlet* tangki *Cooler* (°C)

## TATA KERJA

### Bahan dan peralatan:

- Bahan: air dan fluida kerja refrigerasi
- Peralatan: untai FASSIP, komputer & sistem DAS, multimeter digital, tang amper, slang regulator dan kunci L

### Persiapan eksperimen

- Isi air ke untai rektanguler sampai terlihat tangki ekspansi terisi air,
- Isi air ke tangki *cooler* sampai penuh dengan ditandai tinggi permukaan tabung level air sama dengan bagian atas tangki *cooler*,

- Isi air ke tangki *heater* sampai penuh dengan ditandai tinggi permukaan tabung level air sama dengan bagian atas tangki *heater*,
- Hubungkan sistem kelistrikan untai FASSIP dan UUB, memasang rambu K3 dan batas pengamanan daerah berisiko tersiram air panas dengan memasang tali kuning,
- Menyiapkan logbook pengoperasian untai FASSIP.

### Langkah eksperimen :

- Buka katup V1, V3, V6, V7 dan menutup katup V2, V4, V5, V8, V9, V10, V11, V12, V13 [7],
- Hidupkan komputer untuk DAS dan menjalankan program *LabVIEW* untuk merekam data temperatur dan debit air aliran tinggi dan rendah,
- Hidupkan pompa sentrifugal sesuai dengan matriks penelitian,
- Hidupkan mesin refrigerasi bersamaan dengan beroperasinya pompa dan elemen pemanas *heater*,
- Lakukan eksperimen sirkulasi alam selama 7 jam.

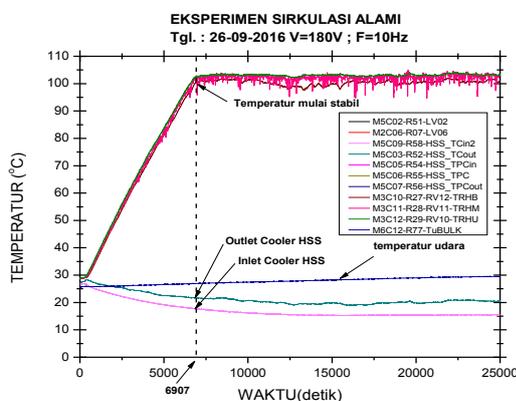
### Perhitungan, pembuatan grafik dan analisis

Data hasil eksperimen akan diolah untuk mendapatkan grafik hubungan waktu terhadap temperatur dengan *software Origin Pro 8* [10]. Dari grafik akan diperoleh data kapan temperatur mulai stabil dan akan digunakan sebagai acuan titik awal untuk me-

lakukan perhitungan perpindahan kalor. Waktu ketika temperatur mulai stabil akan ditarik garis vertikal sehingga memotong gambar garis temperatur *inlet* dan *outlet* HSS di tangki *cooler*. Selanjutnya akan dilakukan perhitungan perpindahan kalor dan melakukan analisis terhadap pengaruh nilai laju aliran massa fluida di *cooler* berdasarkan kemampuan pendinginan HSS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data temperatur dan debit air aliran tinggi di HSS dilakukan sebanyak 25 kali variasi, yaitu dengan 5 variasi daya pemanas di tangki *heater* melalui *slide regulator* kapasitas 25 kVA untuk memberi variasi tegangan potensial listrik ke elemen pemanas tangki *heater* bagian bawah (150, 160, 170, 180 dan 190 V). Setiap 1 variasi daya pemanas terdiri dari 5 kali variasi putaran pompa HSS yang diatur dengan mengoperasikan pompa sentrifugal sebanyak 5 frekuensi yaitu 10, 20, 30, 40 dan 50 Hz. Sebagai contoh hasil pada Gambar 2, ditunjukkan hasil data eksperimen dengan daya pemanas 5,364 kW (*Voltage*=180V; *Arus*=29,8A) dengan pengoperasian pompa sentrifugal pada frekuensi 10 Hz.



Gambar 2. Hubungan waktu terhadap temperatur air pada daya pemanas 5,364 kW

Pada Gambar 2 terlihat temperatur mulai stabil pada waktu 6907 detik dengan temperatur 100,32 °C, sehingga perhitungan perpindahan kalor ( $q$ ) dari untai rektangular ke HSS akan dihitung ketika temperatur stabil pada tangki *heater*. Berdasarkan data hasil eksperimen diperoleh nilai debit air HSS = 10,57 l/min = 0,0106 m<sup>3</sup>/detik, maka dengan persamaan (1) diperoleh nilai laju aliran massa air HSS sebesar 0,176 kg/detik. Perpindahan kalor ( $q$ ) dari untai rektangular ke HSS dengan daya pemanas 5,364 kW dan frekuensi pompa 10 Hz dilakukan dengan persamaan (2), yaitu :

$$q = \dot{m} \cdot c_{p \text{ air}} \cdot (T_{\text{outlet-cooler}} - T_{\text{inlet-cooler}})$$

$$q = 0,179 \times 4,187 \times (21,66 - 17,69)$$

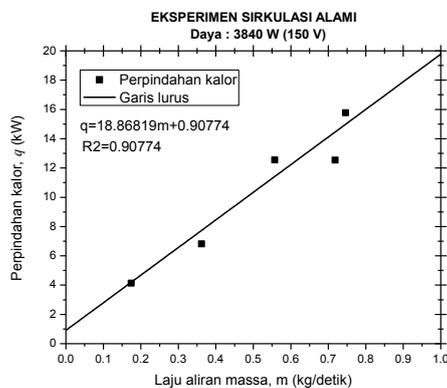
$$q = 2,967 \text{ kW}$$

Dengan cara yang sama seperti di atas akan diperoleh hasil perhitungan perpindahan kalor dari untai rektangular ke tangki *cooler* (HSS) dengan variasi daya pemanas sesuai matriks penelitian yaitu seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Hasil perhitungan perpindahan kalor kemudian dibuat grafik hubungan laju aliran massa air HSS ( $\dot{m}$ ) terhadap perpindahan kalor ( $q$ ) setiap perubahan daya pemanas dan diperoleh hasil perhitungan perpindahan kalor ( $q$ ) seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Hasil perhitungan perpindahan kalor ( $q$ ) dengan variasi daya pemanas

No.	Voltase	Arus	Daya	f pompa	$Q$	$\dot{m}$	T inlet cooler (HSS), $T_i$	T outlet cooler (HSS), $T_o$	$\Delta T$	$q$
	(V)	(A)	(W)	(Hz)	( $m^3/detik$ )	(kg/detik)	( $^{\circ}C$ )	( $^{\circ}C$ )	( $^{\circ}C$ )	(W)
1.	150	25,6	3840	10	10,47	0,175	12,48	18,14	5,66	4,135
2.				20	21,71	0,362	10,46	14,96	4,5	6,817
3.				30	33,43	0,557	12,76	18,14	5,38	12,550
4.				40	43,08	0,718	16,11	20,28	4,17	12,535
5.				50	44,78	0,746	17,5	22,55	5,05	15,780
6.	160	26,5	4240	10	10,2	0,170	14,61	19,15	4,54	3,231
7.				20	21,51	0,359	14,48	20,08	5,6	8,405
8.				30	33,71	0,562	15,3	20	4,7	11,055
9.				40	43,03	0,717	17,47	21,39	3,92	11,770
10.				50	44,98	0,750	20,4	24,99	4,59	14,406
11.	170	28,5	4845	10	10,13	0,169	16,85	20,83	3,98	2,813
12.				20	21,75	0,363	16,51	20,89	4,38	6,647
13.				30	34,2	0,570	17,7	21,67	3,97	9,474
14.				40	43,77	0,730	20,13	24,62	4,49	13,713
15.				50	44,98	0,750	21,53	26,07	4,54	14,249
16.	180	29,8	5364	10	10,71	0,179	17,69	21,66	3,97	2,967
17.				20	21,04	0,351	17,13	21,5	4,37	6,416
18.				30	33,49	0,558	17,66	23,28	5,62	13,133
19.				40	42,51	0,709	19,98	22,91	2,93	8,691
20.				50	44,96	0,749	23,41	27,99	4,58	14,368
21.	190	31,2	5928	10	10,37	0,173	13,3	17,24	3,94	2,851
22.				20	21,85	0,364	12,84	16,28	3,44	5,245
23.				30	33,3	0,555	12,24	16,91	4,67	10,851
24.				40	43,09	0,718	16,32	21,52	5,2	15,635
25.				50	45,09	0,752	17,72	22,24	4,52	14,221

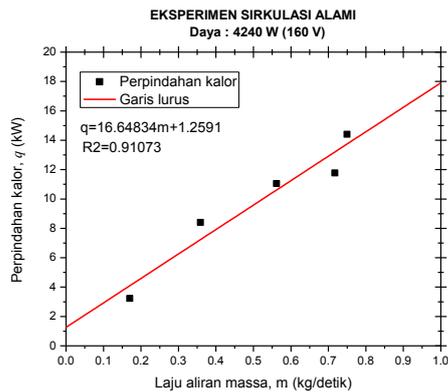


Gambar 3. Grafik laju aliran massa air terhadap perpindahan kalor dengan daya 3840 W

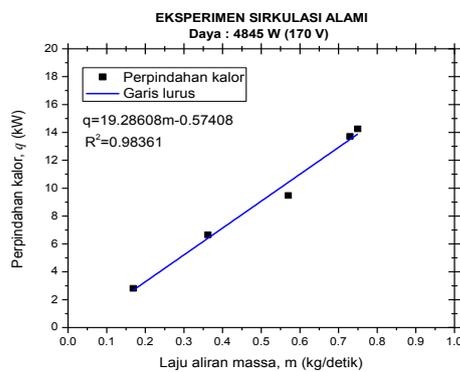
Gambar 3 menunjukkan nilai laju aliran massa air HSS sebesar 0,175 kg/detik dengan nilai  $q =$

4,135 kW, tepat berada pada garis lurus, sedangkan nilai laju aliran massa air yang terjauh dengan garis lurus adalah 0,718 kg/detik dengan nilai  $q = 12,535$  kW pada frekuensi pompa 40 Hz.

Gambar 4 menunjukkan nilai laju aliran massa air HSS sebesar 0,562 kg/detik dengan nilai  $q = 11,055$  kW, berada terdekat dengan garis lurus, sedangkan nilai laju aliran massa air yang terjauh dengan garis lurus adalah 0,717 kg/detik dengan nilai  $q = 11,770$  kW pada frekuensi pompa 40 Hz.



Gambar 4. Grafik laju aliran massa air terhadap perpindahan kalor dengan daya 4240 W

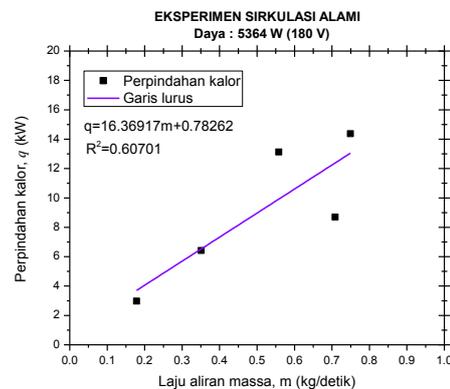


Gambar 5. Grafik laju aliran massa air terhadap perpindahan kalor dengan daya 4845 W

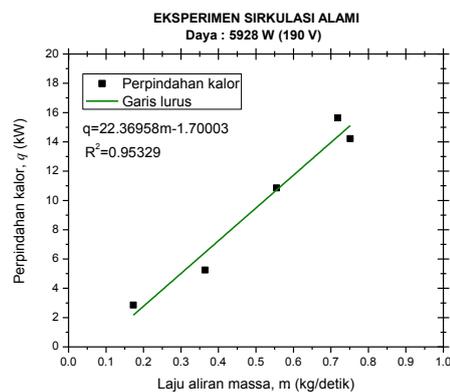
Gambar 5 menunjukkan nilai laju aliran massa air HSS sebesar 0,169 kg/detik dengan nilai  $q = 2,813$  kW, berada tepat dengan garis lurus, sedangkan nilai laju aliran massa air yang terjauh dengan garis lurus adalah 0,570 kg/detik dengan nilai  $q = 9,474$  kW pada frekuensi pompa 30 Hz.

Gambar 6 menunjukkan nilai laju aliran massa air HSS sebesar 0,351 kg/detik dengan nilai  $q = 6,416$  kW, berada tepat dengan garis lurus, sedangkan nilai laju aliran massa air yang terjauh dengan garis lurus ada 2 buah yaitu 0,558 kg/detik dengan nilai  $q = 13,133$  kW pada frekuensi pompa 30 Hz dan 0,709 kg/

detik dengan nilai  $q = 8,691$  kW pada frekuensi pompa 40 Hz.



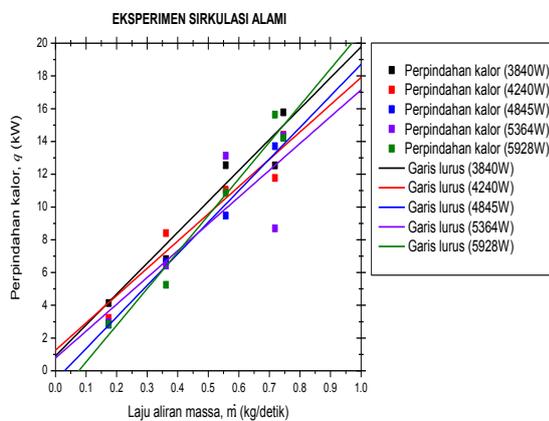
Gambar 6. Grafik laju aliran massa air terhadap perpindahan kalor dengan daya 5364 W



Gambar 7. Grafik laju aliran massa air terhadap perpindahan kalor dengan daya 5928 W

Gambar 7 menunjukkan nilai laju aliran massa air HSS sebesar 0,555 kg/detik dengan nilai  $q = 10,851$  kW, berada tepat dengan garis lurus, sedangkan nilai laju aliran massa air yang terjauh dengan garis lurus ada 2 buah yaitu 0,364 kg/detik dengan nilai  $q = 5,245$  kW pada frekuensi pompa 20 Hz dan 0,752 kg/detik dengan nilai  $q = 14,221$  kW pada frekuensi pompa 50 Hz.

Berdasarkan variasi 5 daya pemanas, maka terlihat data hasil eksperimen sirkulasi alam dengan daya pemanas 4,845 kW adalah data yang terbaik karena memiliki nilai  $R^2=0,98361$  dimana semua nilai laju aliran massa air berada dekat dengan garis lurus. Selanjutnya data hasil eksperimen dengan variasi 5 daya pemanas digabung untuk dibuat sebuah grafik untuk melihat korelasi dari variasi daya pemanas, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik laju aliran massa air terhadap perpindahan kalor untuk 5 variasi daya pemanas

Gambar 8 menunjukkan hubungan nilai laju aliran massa air dengan nilai perpindahan kalor adalah linier berarti semakin besar nilai laju aliran massa air maka semakin besar juga nilai perpindahan kalor. Garis lurus dari kelima variasi daya pemanas nampak berdekatan, hal tersebut menunjukkan perubahan daya pemanas di tangki *heater* tidak terlalu berpengaruh secara signifikan terhadap nilai perpindahan kalor di tangki *cooler*.

## KESIMPULAN

Untai uji FASSIP kondisi saat ini memiliki alat penukar kalor dengan aliran sejajar (*parallel flow*) dan kondisi untai rektangul

tanpa isolasi termal. Hasil perhitungan dan pembuatan grafik menunjukkan hasil analisis yaitu semakin besar nilai laju aliran massa air di tangki *cooler* maka semakin besar juga nilai perpindahan kalor yang terjadi dari untai rektangul ke untai HSS. Perubahan daya pada tangki *heater* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap nilai perpindahan kalor di tangki *cooler* pada untai rektangul.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh DIPAPTKRN tahun anggaran 2015-2016, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada rekan-rekan BPFKR dan Dr. Mulya Juarsa khususnya atas terselenggaranya kegiatan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

1. CHANG, S.H., KIM, S.H., CHOI, J.Y., "Design of Integrate Passive Safety System (IPSS) for Ultimate Passive Safety System of Nuclear Power Plants", Nuclear Engineering and Design, Vol. 260, pp.104-120, 2013.
2. WANG YAN, "Preliminary Study for The Passive Containment Cooling System Analysis of The Advanced PWR", Energy Procedia 39, pp. 240-247, 2013.
3. IAEA-TECDOC-1474, "Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants", IAEA, November, Vienna, 2005.
4. BPFKR-PTKRN-BATAN, "Rencana Stratejik PTKRN tahun 2015-2019", PTKRN-BATAN, Serpong (2014).

5. AINUR ROSIDI, SAGINO, “Eksperimen Awal Aliran Sirkulasi Alamiah pada Simulasi Keselamatan Pasif”, Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir, Volume 18, Nomor 2, Serpong, 2014.
6. MULYA JUARSA dkk, “Studi Eksperimental Laju Aliran Massa Air Berdasarkan Perubahan Sudut Kemiringan Untai Pada Kasus Sirkulasi Alamah Menggunakan Untai Simulasi Sirkulasi Alamah (USSA-FT01)”, Material dan Energi Indonesia, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Padjajaran, Volume 01, No. 01, Bandung, 2011.
7. GIARNO dkk, “Perancangan sistem *heat-sink* untai FASSIP-01 menggunakan *software Cycle-Tempo*”, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (2015).
8. HILARY D. BREWSTER, “Fluid Mechanics”, Oxford Book Company, Jaipur, India (2009).
9. ANONIMOUS, “Software Water 97\_v13, Steam Table”, 1997.
10. ORIGINLAB CORPORATION, Software Origin Pro 8, USA, 2010.