

## Analisis Perpindahan Kalor pada *Pre-Heater* di Untai Uji Beta Berdasarkan Variasi Laju Aliran Air di Sisi Primer

Erwin Gunawan<sup>1,2</sup>, Yogi Sirodz Gaos<sup>2</sup>, Mulya Juarsa<sup>2</sup>, Hendro Tjahjono<sup>2</sup>,  
Hadi Kusuma<sup>2</sup>, Joko Prasetyo Witoko<sup>2</sup>, G. Heru<sup>2</sup>, Suhendra<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Konversi Energi  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor  
JL. KH. Soleh Iskandar KM.2 Bogor 16162  
[Erwin\\_Gunawan88@ymail.com](mailto:Erwin_Gunawan88@ymail.com)

<sup>2</sup>*Engineering Development for Energy  
Conversion and Conservation (EDfEC)Research Laboratory*  
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor  
JL. KH. Soleh Iskandar KM.2 Bogor 16162

<sup>3</sup>Laboratorium Termohidrolika Eksperimental  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK gedung 80, Serpong Tangerang-15310

### Abstrak

Untai Uji BETA (UUB) adalah untai uji termohidrolika skala kecil yang digunakan untuk mempelajari fenomena termohidrolika di teras reaktor, khususnya fenomena pendidihan sesaat setelah penggenangan kembali (*bottom reflooding*) berlangsung menyusul susutnya air di teras dimana peristiwa kecelakaan tersebut disebut juga *loss of coolant accident* (LOCA). Pemanas awal (*pre-heater*) digunakan untuk mengkondisikan temperatur air yang akan di sirkulasikan pada untai uji BETA sesuai dengan kebutuhan eksperimen. Tujuan penelitian untuk mengetahui karakteristik dan koefisien perpindahan kalor dari variasi debit aliran yang di pompa oleh pompa primer ke *pre heater*. Analisis perpindahan kalor pada *pre-heater* merupakan salah satu kegiatan pendukung untuk pengembangan dan penelitian keselamatan reaktor, dimana kegiatan ini menggunakan fasilitas untai uji BETA dan air sebagai media kerjanya. *Pre-heater* terdiri dari 10 elemen pemanas yang memiliki masing-masing daya yang berbeda, namun elemen pemanas yang digunakan hanya terdiri 6 elemen pemanas. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan temperatur air sebagai fluida kerja yaitu 40°C, 60°C dan 80°C. Laju aliran air terjadi dengan mensirkulasikan air pada loop primer dari tangki dengan variasi debit aliran 0,000377 m<sup>3</sup>/s, 0,000472 m<sup>3</sup>/s dan 0,000567 m<sup>3</sup>/s. Data direkam selama 10 menit sebelum *open loop* dan 10 menit sesudah *open loop* pada masing-masing debit. *Pre-heater* berfungsi memanaskan air yang mengalir dari pompa di dalam loop primer ke alat penukar kalor, perubahan temperatur air mengakibatkan adanya perbedaan temperatur akibat adanya variasi temperatur air pendingin. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa air yang masuk ke *pre-heater* saat *heater* di hidupkan dari debit 0,377 m<sup>3</sup>/s, 0,472 m<sup>3</sup>/s dan 0,567 m<sup>3</sup>/s mampu mencapai temperatur air rata-rata secara berturut-turut sebesar 66,12 °C, 65,13 °C, dan 65,93 °C. Perhitungan berdasarkan data eksperimen menunjukkan besar kalor yang diterima sekitar 22.363 watt, 23.842 watt dan 27.085 watt. Sedangkan panas yang hilang oleh fluida pada saat uji panas sekitar -1,291 watt, -2.461 watt dan -4.959 watt dimana pada saat keadaan *heater* di hidupkan kalor yang dipindahkan ke dalam air lebih besar di bandingkan dengan *heat loss*.

Kata kunci: perpindahan kalor, *pre-heater*, laju aliran, sisi primer, kalor

## Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan salah satu solusi yang tepat untuk mengatasi krisis ekonomi di Indonesia. Dengan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil serta dampaknya (terutama pemanasan global), maka penggunaan energi nuklir merupakan alternatif yang potensial. Dimana perkembangan nuklir semakin pesat dan dapat memberikan dampak positif dalam berbagai aspek kehidupan, hal ini memiliki pelayagunaan yang kuat untuk dikembangkan, salah satunya pengembangan dalam bidang energi yaitu dalam bentuk PNTN [1,2].

Aspek keselamatan masalah energi nuklir memiliki kelemahan yang cukup signifikan, dimana aplikasi sistem keselamatan pada teknologi reaktor nuklir merupakan hal yang sangat di utamakan. Selain itu energi nuklir pun dapat menimbulkan problema ketersediaan bahan bakar dan akumulasi limbah nuklir. Penyebaran radiasi reaktor nuklir sangat berbahaya untuk kelangsungan hidup manusia dan mahluk hidup lainnya. Kita dapat belajar dari kasus reaktor Fukushima Jepang, hal ini di sebabkan oleh adanya bencana alam yang berakibat ketidak mampuan sistem pendingin untuk menangani *decay heat* dan PNTN TMI-2 sehingga mengalami beberapa kejadian yang mengakibatkan kecelakaan paling serius dalam sejarah tenaga nuklir komersial di Amerika, yang salah satunya terjadi kecelakaan di sebabkan oleh peristiwa kehilangannya air pendingin atau yang di sebut *loss of coolant accident* (LOCA). Kehilangan air pendingin merupakan jenis kecelakaan penting yang menjadi dasar desain sistem keselamatan reaktor nuklir untuk mempelajari fenomena kecelakaan tersebut [3]. Untuk mengatasi hal ini, maka di butuhkan pencegahan yang serius, pengembangan dan penelitian keselamatan reaktor sebagai pendukung sangat di butuhkan. Salah satunya adalah adanya analisis perpindahan kalor pada *pre heater* di Untai Uji Beta (UUB) berdasarkan perbedaan variasi laju aliran di sisi primer. Sirkulasi fluida di UUB dengan perbedaan laju aliran yang bervariasi menyebabkan terjadinya perbedaan temperatur yang berakibat tekanan sirkulasi menjadi

naik. Dari aspek thermohidrolik, pemahaman perpindahan kalor yang terjadi di UUB sangat di perlukan. Perbedaan temperatur di antara dua medium bahan UUB mengindikasikan adanya perpindahan energi dari zat yang di panaskan. Perubahan aliran dari pompa primer dapat mengindikasikan adanya perpindahan kalor pada *pre heater* dan sirkulasi laju aliran di UUB. Kegiatan ini di lakukan untuk tujuan mengetahui karakterisasi dan koefisien perpindahan kalor pada *pre heater* yang di akibatkan oleh perbedaan laju aliran dan temperatur air yang di sirkulasikan oleh pompa primer.

## Metode Penelitian

Metode yang akan diterapkan dalam pelaksanaan penelitian diuraikan melalui pentahapan seperti berikut:

1. Melakukan eksperimen untuk mendapatkan data karakterisasi dan koefisien perpindahan kalor pada *pre heater* di untai uji Beta berdasarkan perbedaan variasi laju aliran air di sisi primer.
2. Menganalisis perpindahan kalor berdasarkan hasil data yang telah di dapatkan.

**Tabel I. Matriks Eksperimen**

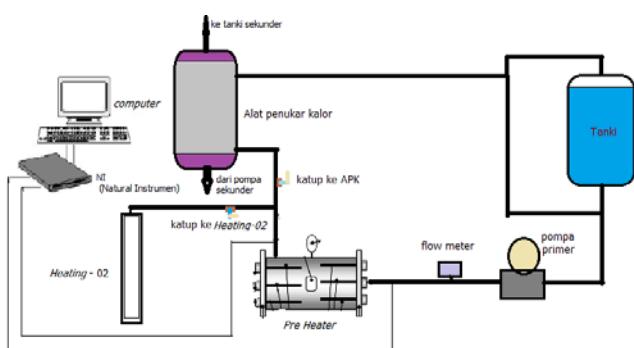
Temperatur Air (°C)	Debit Air m <sup>3</sup> /s
80 °C	0,000377
	0,000472
	0,000567

## Untai uji BETA (UUB)

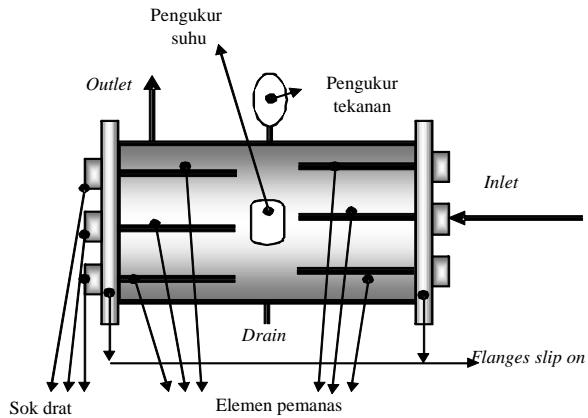
Analisis perpindahan kalor pada *Pre heater* di UUB alat dan bahan yang akan di gunakan yaitu: pipa-pipa SS304 berdiameter 278 mm, termokopel sebagai pengukur temperatur, *flow meter*, pompa sirkulasi primer, penukar kalor dan pemanas listrik (*heater*). Pemanas ini yang disebut pula pemanas awal (*pre-heater*), katup-katup manual atau selenoid, tangki air mineral dan bagian uji yang dapat diganti-ganti sesuai dengan kebutuhan. Pemasangan termokopel (TC) tipe K dan NI di gunakan untuk mengetahui perubahan temperatur aliran air yang di lihat dari sistem NI dan komputer.

## Prosedur eksperimen

Proses pengolahan data dilakukan dengan mengolah data temperatur setiap detik yang direkam oleh *National Instrument* (NI-DAQ). Pada penelitian ini alat yang di gunakan adalah alat UUB, laju aliran air terbentuk dengan mensirkulasikan air pada loop primer dari tangki dengan variasi debit aliran 0,000377 m<sup>3</sup>/s, 0,000472 m<sup>3</sup>/s dan 0,000567 m<sup>3</sup>/s . *Pre Heater* memanaskan air yang mengalir dari pompa primer ke alat penukar kalor. *Heater* terdiri dari 10 elemen pemanas dan hanya 6 pemanas yang digunakan dengan masing-masing daya yang berbeda. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan temperatur air sebagai fluida kerja yaitu 40°C, 60°C dan 80°C. Perhitungan berdasarkan data eksperimen menunjukkan besar kalor yang diterima dan panas yang hilang oleh fluida pada saat uji panas, dimana pada saat keadaan *heater* di hidupkan kalor yang dipindahkan ke dalam air lebih besar di bandingkan dengan *heat loss*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa air yang masuk ke *pre-heater* saat *heater* di hidupkan mampu mencapai temperatur air yang di inginkan pada saat pengujian. maka di butuhkan alat termokopel dan NI untuk mengetahui data yang terjadi selama perpindahan kalor di alat penukar kalor. Data tersebut kemudian digunakan dalam pembuatan kurva distribusi temperatur selama perpindahan kalor pada masing-masing titik termokopel. Dengan menghitung perpindahan kalor dari data analisis pada setiap titik termokopel, didapatkan kurva hasil analisis yang akan di bandingkan dengan kurva masing-masing temperatur yang berbeda.



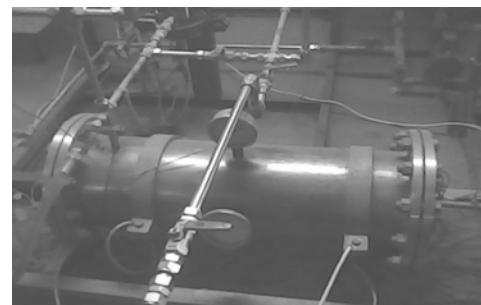
Gambar 1. Untai Uji BETA



Gambar 2. *Pre Heater*

Tabel 2. Spesifik *Pre Heater*

Spesifik <i>Pre heater</i>
<b>Bahan stainless Steel 304</b>
- <b>Diameter dalam 273 mm</b>
- <b>Diameter luar 278 mm</b>
- <b>Panjang 800 mm</b>



Gambar 3. Foto *Pre Heater*

Adapun pertimbangan analisis yang di pakai untuk perpindahan kalor yaitu panas yang di terima dan panas yang hilang oleh fluida didalam tabung *Pre heater* dengan menggunakan persamaan (1)

$$q_{air} = \dot{m}_{air} c_p (T_{out} - T_{in})$$

Sedangkan untuk mengetahui daya (watt), arus (A) dan tegangan (v) pada setiap elemen pemanas (*heater*) yang terjadi. Besar tegangan dan arus di dapatkan dari hasil pengukuran Voltmeter dan amperemeter pada masing-masing elemen *heater*. Daya *heater* di tunjukan pada persamaan (2)

$$q_{sumber} = V \cdot I$$

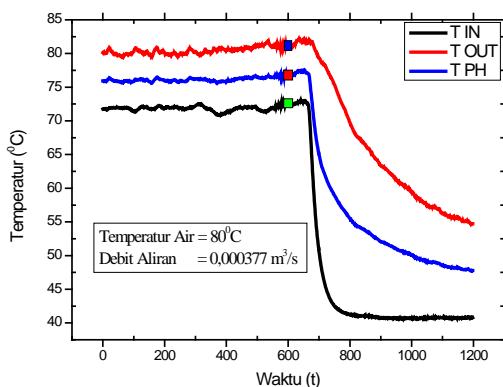
Dari persamaan di atas maka dapat diketahui *heat loss* dari daya *heater* ketika aliran air bersirkulasi. Perpindahan panas yang terjadi pada *heater* disaat menerima daya (Watt) mengindikasikan terjadinya perpindahan panas yang hilang, maka dibutuhkan korelasi untuk mengetahui *heat loss* dengan menggunakan persamaan (3)

$$q_{loss} = q_{sumber} - q_{air}$$

## Hasil dan Pembahasan

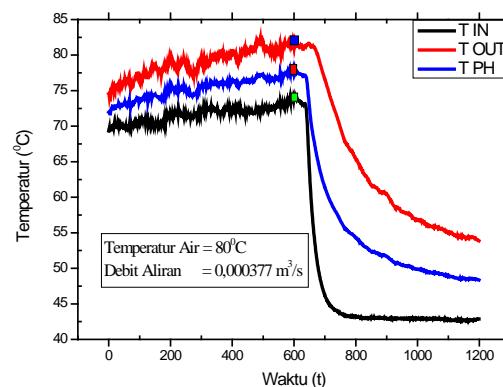
### Hasil Eksperimen

Hasil data eksperimen yang dilakukan berupa temperatur air yang masuk dan keluar dari *pre heater* dengan memvariasikan laju aliran air yaitu  $80^{\circ}\text{C}$ , dengan frekuensi pompa  $0,000377 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0,000472 \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $0,000567 \text{ m}^3/\text{s}$  pada saat *close loop* dan *open loop*, data diambil 10 menit sebelum *open loop* dan sesudah *open loop* ditunjukkan pada gambar 3, gambar 4, dan gambar 5.



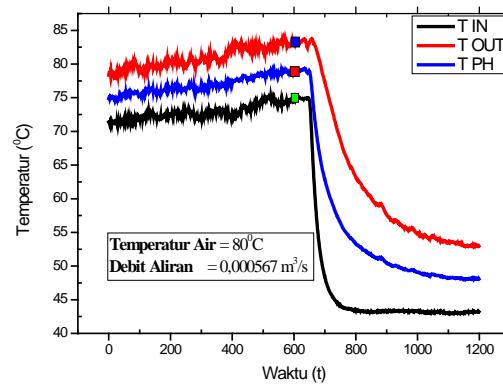
**Gambar 4. Kurva transien pre-heater dengan Temperatur air  $80^{\circ}\text{C}$  debit aliran air  $0,000377 \text{ m}^3/\text{s}$**

Gambar 4. kurva temperatur menunjukkan hasil kenaikan temperatur pada *heater* terhadap waktu pada temperatur akhir sebelum *open loop*. Temperatur air  $80^{\circ}\text{C}$  pada debit  $0,000377 \text{ m}^3/\text{s}$  untuk In menunjukkan kenaikan temperatur mencapai  $73^{\circ}\text{C}$ , temperatur *pre heater* (PH)  $76^{\circ}\text{C}$ , dan Out  $80^{\circ}\text{C}$ . kenaikan terjadi pada rata-rata waktu sebelum *open loop* yaitu 600 detik. Setelah *open loop* semua temperatur turun, untuk In mencapai  $41^{\circ}\text{C}$ , *pre heater*  $47^{\circ}\text{C}$ , dan Out  $55^{\circ}\text{C}$  sampai waktu 1200 detik.



**Gambar 5. Kurva transien *pre heater* dengan Temperatur air  $80^{\circ}\text{C}$  debit aliran air  $0,000472 \text{ m}^3/\text{s}$**

Gambar 5. kurva temperatur menunjukkan hasil kenaikan temperatur pada *heater* terhadap waktu pada temperatur akhir sebelum *open loop*. Temperatur air  $80^{\circ}\text{C}$  pada debit  $0,000472 \text{ m}^3/\text{s}$  untuk In menunjukkan kenaikan temperatur mencapai  $74^{\circ}\text{C}$ , temperatur *pre heater* (PH)  $77^{\circ}\text{C}$ , dan Out  $82^{\circ}\text{C}$ . kenaikan terjadi pada rata-rata waktu sebelum *open loop* yaitu 600 detik. Setelah *open loop* semua temperatur turun, untuk In mencapai  $42^{\circ}\text{C}$ , *pre heater*  $48^{\circ}\text{C}$ , dan Out  $58^{\circ}\text{C}$  sampai waktu 1200 detik.



**Gambar 6. Kurva transien *pre heater* dengan Temperatur air  $80^{\circ}\text{C}$  debit aliran air  $0,000567 \text{ m}^3/\text{s}$**

Gambar 6. kurva temperatur menunjukkan hasil kenaikan temperatur pada *heater* terhadap waktu pada temperatur akhir sebelum *open loop*. Temperatur air  $80^{\circ}\text{C}$  pada debit  $0,000567 \text{ m}^3/\text{s}$  untuk In menunjukkan kenaikan temperatur mencapai  $75^{\circ}\text{C}$ , temperatur *pre heater* (PH)  $78^{\circ}\text{C}$ , dan Out  $84^{\circ}\text{C}$ . kenaikan terjadi pada rata-rata waktu sebelum *open loop* yaitu 600 detik. Setelah *open loop* semua

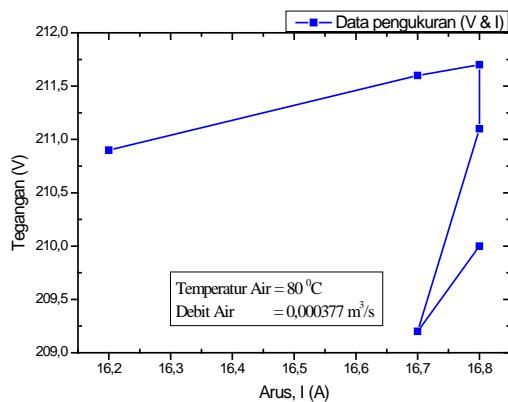
temperatur turun, untuk In mencapai  $43^{\circ}\text{C}$ , *pre heater*  $48^{\circ}\text{C}$ , dan Out  $58^{\circ}\text{C}$  sampai waktu 1200 detik.

### Perhitungan tegangan dengan arus pada *heater*

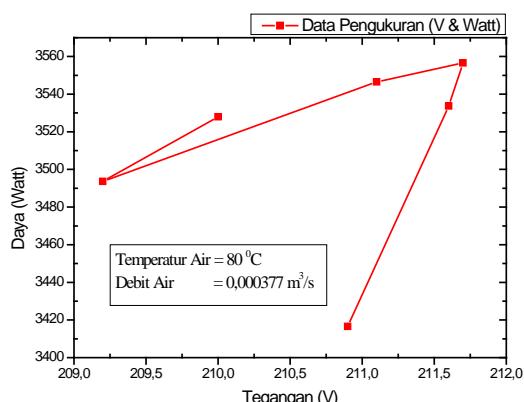
Data hasil pengukuran daya pada *pre heater* di lakukan dengan mengukur tegangan (v) dengan arus, I (A) pada masing-masing debit pada satu temperatur aliran air. Sehingga di dapatkan hasil pengukuran di perlihatkan oleh Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9.

**Tabel 3. Daya pada  $Q = 0,000377 \text{ m}^3/\text{s}$**

No	Arus (A)	Tegangan (v)	Daya (watt)
1	16,8	210	3528
2	16,7	209,2	3493,64
3	16,8	211,1	3546,48
4	16,8	211,7	3556,56
5	16,7	211,6	3533,72
6	16,2	210,9	3416,58



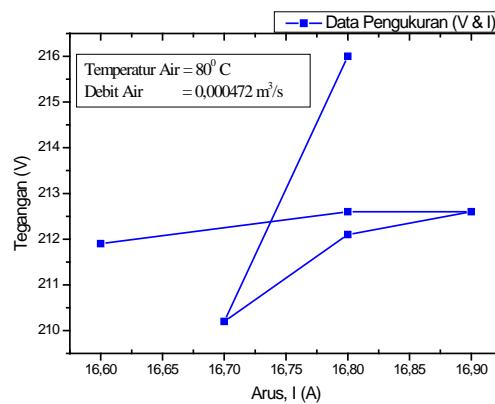
**Gambar 7. Kurva tegangan (v) dan arus I (A) pada temperatur  $80^{\circ}\text{C}$ , debit  $0,000377 \text{ m}^3/\text{s}$ .**



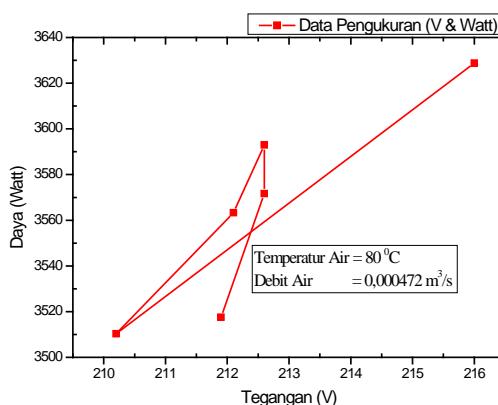
**Gambar 8. Kurva tegangan (v) dan daya (watt) pada temperatur  $80^{\circ}\text{C}$ , debit  $0,000377 \text{ m}^3/\text{s}$ .**

**Tabel 4. Daya pada  $Q = 0,000472 \text{ m}^3/\text{s}$**

No	Arus (A)	Tegangan (v)	Daya (Watt)
1	16,8	216	3628,8
2	16,7	210,2	3510,34
3	16,8	212,1	3563,28
4	16,9	212,6	3592,94
5	16,8	212,6	3571,68
6	16,6	211,9	3517,54



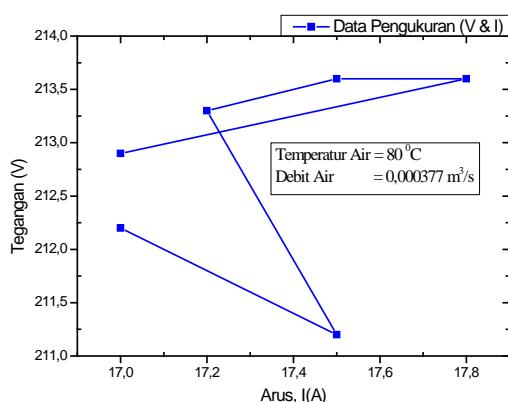
**Gambar 9. Kurva tegangan (v) dan arus I (A) pada temperatur  $80^{\circ}\text{C}$ , debit  $0,000472 \text{ m}^3/\text{s}$ .**



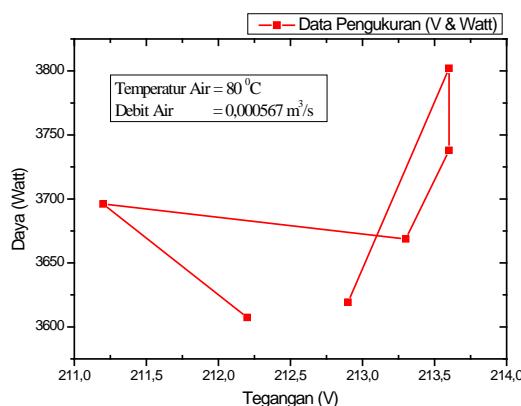
**Gambar 10. Kurva tegangan (v) dan daya (watt) pada temperatur  $80^{\circ}\text{C}$ , debit  $0,000472 \text{ m}^3/\text{s}$ .**

**Tabel. 5 Daya pada  $Q = 0,000567 \text{ m}^3/\text{s}$**

No	Arus (A)	Tegangan (v)	Daya (Watt)
1	17	212,2	3607,4
2	17,5	211,2	3696
3	17,2	213,3	3668,76
4	17,5	213,6	3738
5	17,8	213,6	3802,08
6	17	212,9	3619,3



**Gambar 11. Kurva tegangan (v) dan arus I (A) pada temperatur 80 °C, debit 0,000567 m<sup>3</sup>/s.**



**Gambar 12. Kurva tegangan (v) dan daya (watt) pada temperatur 80 °C, debit 0,000567 m<sup>3</sup>/s.**

Hasil pengukuran arus dan tegangan pada masing-masing debit menunjukkan terjadinya kenaikan daya yang di akibatkan oleh adanya perbedaan tegangan (v) dan arus (A). Hasil perhitungan daya (watt) dimana untuk debit 0,000377 m<sup>3</sup>/s tegangan yang masuk rata-rata 210 volt, arus 16,6 A dan daya 3513 watt, untuk debit 0,000472 m<sup>3</sup>/s tegangan yang masuk rata-rata 212 volt, arus 16,7 A daya 3564 watt dan untuk debit 0,000567 m<sup>3</sup>/s tegangan yang masuk rata-rata 212 volt, arus 17,3 A daya 3688 watt.

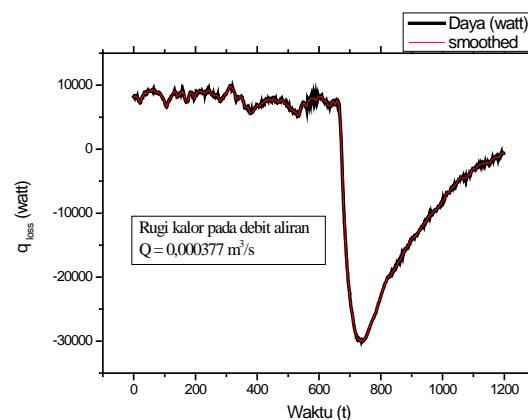
### Pembahasan heat loss

Data yang di hasilkan dari percobaan adalah berupa temperatur air masuk dan keluar *pre-heater* serta temperatur yang ada dalam *pre-heater* pada temperatur 80 °C dan debit aliran air 0,000377 m<sup>3</sup>/s, untuk mendapatkan hasil yang dinginkan maka kita dapat menggunakan persamaan (1), (2) dan (3).

$$q_{air} = \dot{m}_{air} c_p (T_{out} - T_{in})$$

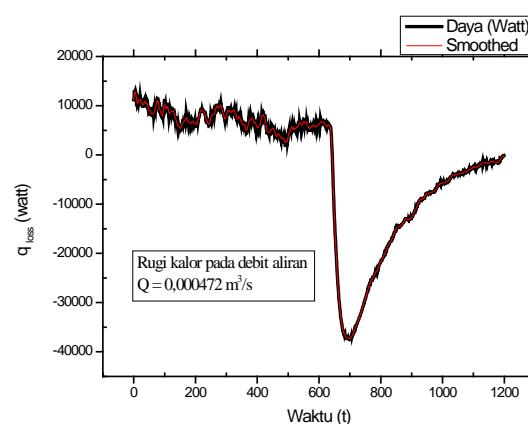
$$q_{sumber} = V \cdot I$$

$$q_{loss} = q_{sumber} - q_{air}$$



**Gambar 13. kurva rugi kalor terhadap waktu pada debit air 0,000377 m<sup>3</sup>/s**

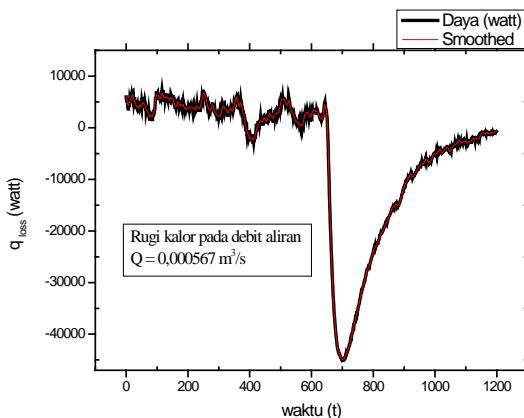
Gambar 13. Menunjukkan perbedaan temperatur sumber kalor dengan kalor yang diterima oleh air, hal ini mengakibatkan terjadinya naik turun pada kalor, pada detik 1 sampai 600 dengan daya tidak stabil yaitu rata-rata 8000 watt sebelum *open loop*. Penurunan daya terjadi setelah *open loop* pada detik 659 detik pada daya 7744 watt sampai detik 740 dengan daya -29900 watt. Setelah itu daya naik kembali sampai detik 1200 dengan daya -579 watt.



**Gambar 14. kurva rugi kalor terhadap waktu pada debit air 0,000472 m<sup>3</sup>/s**

Gambar 14. Menunjukkan kurva terjadinya penurunan daya terhadap waktu, dimana pada detik 1 sampai 600 detik daya turun dari 11226 watt sampai 6736 watt namun tidak stabil 10 menit sebelum *open loop*.

Penurunan daya terjadi setelah *open loop* pada detik 628 detik sampai detik 701 dengan daya -37268 watt. Setelah itu daya naik kembali sampai detik 1200 dengan daya -184 watt



**Gambar 15. kurva rugi kalor terhadap waktu pada debit air  $0,000567 \text{ m}^3/\text{s}$**

Gambar 15, Menunjukan kurva dimana penurunan terjadi pada detik 1 pada daya 5.952 watt sampai detik 600 tidak stabil, terjadi penurunan dan kenaikan daya. Penurunan daya terjadi setelah *open loop* pada detik 628 detik sampai detik 701 dengan daya -44947 watt. Setelah itu daya naik kembali sampai detik 1200 dengan daya -713 watt

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang dilakukan, dapat di ambil beberapa kesimpulan yang menyangkut karakterisasi perpindahan panas pada *heater* yaitu pada temperatur air  $80^\circ\text{C}$  dengan debit air  $0,000377 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0,000472 \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $0,000567 \text{ m}^3/\text{s}$  temperatur rata-rata air naik sebelum *open loop* dan setelah *open loop* temperatur mengalami penurunan drastis hingga detik terakhir.

Kenaikan daya *heater* dipengaruhi oleh naiknya tegangan dan arus, semakin besar naiknya tegangan yang dihasilkan oleh *heater*, maka semakin besar pula temperatur yang dihasilkan.

Hasil perhitungan di tampilkan pada kurva rugi kalor  $q_{loss}$  terhadap waktu ( $t$ ) di mana pada masing-masing debit mengalami penurunan kalor karena ada perbedaan temperatur dan naik kembali pada masing-masing daya terhadap waktu.

## Ucapan terimakasih

Allhamdulillah penulis sampaikan dengan rasa syukur pada Tuhan yang Maha Esa, dengan terselesaikannya karya tulis ini. Terima kasih kepada bapak Dr. Yogi Sirodz Gaos (pembimbing utama), Mulya Juarsa, S.Si., MSc, Dr. Hendro Tjajono (pembimbing pendamping), orang tua dan keluarga, serta teman-teman Lab.EDFEC UIKA Bogor dan Crew Lab.Thermohidrolika BOFA PTRKN BATAN.

## Nomenklatur

$q$	Daya kalor (Watt)
$Cp$	Panas jenis (kj/Kg)
$\dot{m}$	Laju aliran masa (kg/s)
$V$	Tegangan (v)
$I$	Arus (A)
$P$	Daya (Watt)

## Referensi

Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006 tentang *Kebijakan Energi Nasional*, 2006

Dewan Riset Nasional, *Agenda Riset Nasional 2006 – 2009*, 2006.

Juarsa, Mulya dkk, *Laporan Analisis Keselamatan Eksperimen Post-LOCA menggunakan bagian uji QUEEN-II*, PTRKN BATAN, Serpong, 2007.

Handoyo, Ismu dkk, *Karakterisasi Perubahan Tekanan Dan Temperatur Pada Untai Uji Beta (UUB) Berdasarkan Variasi Debit Aliran*, PTRKN BATAN, Serpong, 2011.

F.Kreith (editor), “*The CRC Handbook Of Thermal Engineering*”, CRC Press, 2000.

Oronzo Manca, dkk, (2002), *Effect on Natural Convection of the distance Between an Inclined Discretely Heated Plate and a Parallel Shroud Below*, Journal Heat Transfer, ASME