

Heat Effectiveness Rate Of Heater Tank Based On Temperature Variation in Pre-Fassip-02 Mod.01 Loop

Soelistianingsih Amelia Ramadhani Atmohadikusumo¹, M. Hadi Kusuma², Sri Poernomo Sari¹, Iwan Setyawan¹, G. Bambang Heru K.², dan Mulya Juarsa²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Depok

²Pusat Teknologi dan Kesehatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Kawasan PUSPITEK, Setu, Tangerang Selatan, Banten 15310

*Corresponding author: atmohadikusumo98@gmail.com

Abstract. Energy demand in Indonesia is increasing rapidly every year and the use of fossil fuels on a continuous basis can reduce the availability of fuel. To meet the energy needs in Indonesia, the utilization of alternative energy sources such as nuclear energy can be a potential solution because it can produce electricity up to thousands of megawatts. However, the use of nuclear energy must pay attention to safety aspects in its use. Reactor accidents due to the failure of active cooling or using a pump can occur, for this reason the researchers created a passive cooling innovation that utilizes natural circulation without using electric power. One of these studies was named the Pre-FASSIP02 Mod.01. Pre-FASSIP02 Mod.01 strand has a height of 3.5m and a width of 1m consisting of a heater, cooler and piping component in the form of a pyrex pipe with a diameter of 1 / 2inch. The value of heating effectiveness is needed to determine the value of effectiveness in the variation of temperature power in the heating tank Pre-FASSIP02 Mod.01 based on variations in temperature power at the heater (40 ° C, 50 ° C, 60 ° C, 70 ° C, 80 ° C, and 90 ° C) using predetermined equations. From the data and results in the form of graphs and heat transfer values obtained the value of heating effectiveness, the highest effectiveness is at heater temperature 50 ° C with an average heating effectiveness value of 63.87% while the lowest effectiveness is at temperature 90 ° C with an average value heating effectiveness by 23.44%

Abstrak. Kebutuhan energi di Indonesia meningkat pesat setiap tahunnya dan penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus dapat menyebabkan berkurangnya ketersediaan bahan bakar. Untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia, pemanfaatan sumber energi alternative seperti energi Nuklir dapat menjadi solusi yang cukup potensial karena dapat menghasilkan energi listrik hingga ribuan megawatt. Namun, penggunaan energi nuklir harus memperhatikan aspek keselamatan dalam penggunaannya. Kecelakaan reaktor akibat gagalnya pendinginan secara aktif atau menggunakan pompa dapat terjadi, untuk itu para peneliti menciptakan inovasi pendinginan pasif yang memanfaatkan sirkulasi alami tanpa menggunakan daya listrik. Salah satu penelitian ini diberi nama Untai Pre-FASSIP02 Mod.01. Untai Pre-FASSIP02 Mod.01 memiliki tinggi 3,5m dan lebar 1m yang terdiri dari komponen heater, cooler dan komponen perpipaan berupa pipa *pyrex* dengan diameter 1/2inch. Nilai efektivitas pemanasan sangat dibutuhkan untuk mengetahui nilai efektivitas pada variasi daya temperature di tangki pemanas Untai Pre-FASSIP02 Mod.01 berdasarkan variasi daya temperatur pada *heater* (40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, dan 90°C) dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah ditentukan. Dari data dan hasil berupa grafik dan nilai perpindahan panas diperoleh nilai efektivitas pemanasan, efektivitas tertinggi ada pada temperatur heater 50°C dengan rata-rata nilai efektivitas pemanasan sebesar 63,87% sedangkan efektivitas terendah ada pada temperatur 90°C dengan rata-rata nilai efektivitas pemanasan sebesar 23,44%

Kata kunci: energi nuklir, perpindahan kalor, efektivitas pemanasan, sistem pendingin pasif, variasi temperatur, Untai Pre-FASSIP-02 Mod.01

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia meningkat pesat setiap tahunnya dan penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus dapat menyebabkan berkurangnya ketersediaan bahan bakar. Untuk

memenuhi kebutuhan energi di Indonesia, pemanfaatan sumber energi alternatif seperti energi nuklir dapat menjadi solusi yang cukup potensial karena dapat menghasilkan energi listrik hingga ribuan megawatt[1]. Namun, penggunaan energi

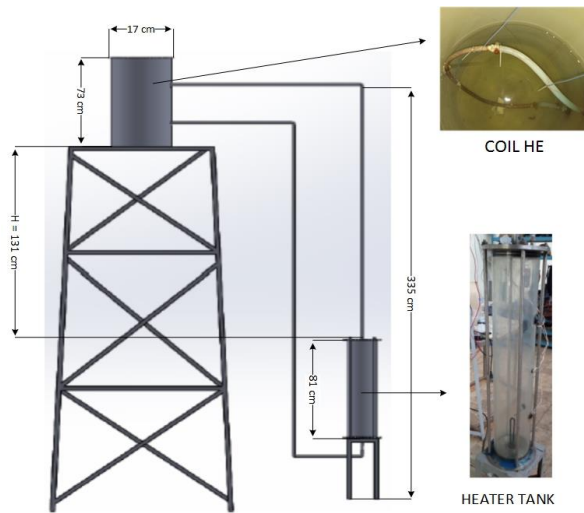
nuklir juga harus memperhatikan aspek keselamatan dalam penggunaannya. Beberapa kecelakaan pada reaktor nuklir Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pada umumnya disebabkan oleh kehilangan pendingin reaktor (*Loss of Coolant Accident*) dan kehilangan aliran pendingin (*Loss of Flow Accident*) atau yang terparah adalah pelelehan pada teras reaktor. Salah satu contoh kecelakaan reaktor terparah adalah pada PLTN jenis *Pressure Water Reactor Three Mile Island* unit-2 di Pennsylvania USA pada Maret 1979 yang disebabkan oleh berhentinya *feed water pump* dan disusul dengan *reactor shutdown* dan turbin trip pada sistem sekundernya[2]. Berdasarkan kecelakaan tersebut meninggalkan prosedur keselamatan untuk di teliti lebih lanjut dan menghasilkan rancangan desain keselamatan reaktor yang lebih evolusioner, inovatif dan aman dengan aplikasi konsep pasif untuk pembuangan kalor peluruhan dan kalor sisa dari teras reaktor. Sistem keselamatan pasif ini memanfaatkan proses sirkulasi alami dimana perbedaan kerapatan atau densitas pada dua titik fluida yang memiliki perbedaan ketinggian sebagai tenaga penggerak bekerjanya sistem[3]. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menginvestigasi fenomena sirkulasi alami selama proses pendinginan menggunakan sistem pendingin pasif baik dilakukan secara simulasi software ataupun eksperimen langsung. Antariksawan dkk telah melakukan studi numerik tentang karakteristik sirkulasi alami pada fasilitas eksperimen Pre-FASSIP-02 (Preliminary Fasilitas Simulasi Sistem Pendingin Pasif 02) menggunakan RELAP5 dan dua variabel yaitu heat flux dan diameter pompa[4]. Juarsa dkk melakukan investigasi awal pada aliran sirkulasi alami menggunakan software CFD berbasis perhitungan pada Pre-FASSIP-02 dan memberikan hasil bahwa aliran sirkulasi alami meningkat setelah di beri kalor selama 75 menit[5]. Sofyan, Ahmad Rofiq dkk melakukan estimasi perubahan kalor selama kenaikan temperature air di untai Pre-FASSIP-02 yang menunjukkan proses pemanasan yang terjadi pada tabung *heater* semakin lama menyebabkan kenaikan temperature air[6]. Berdasarkan penelitian diatas maka PTKRN-BATAN bekerja sama dengan Fakultas Teknik Universitas Indonesia melalui proyek hibah riset program INSINAS membuat suatu fasilitas simulasi keselamatan yang diberi nama Untai Pre-FASSIP-02 yang dibangun bertujuan sebagai simulasi sistem pendingin pasif pada reaktor nuklir yang digunakan untuk melihat dan mempelajari fenomena sirkulasi alam yang terjadi. Untai Pre-FASSIP-02 terdiri dari pipa berbahan *pyrex* dan sambungan berbahan selang dan memiliki komponen utama berupa *heater tank* dan *coil heat*

exchanger. Untuk mengetahui apakah untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 bekerja dengan baik, maka harus diketahui juga efektivitas pemanasan pada tangki pemanas di untai Pre-FASSIP-02 Mod.01. Penelitian bertujuan untuk memperoleh karakteristik terkait perubahan temperature air pada bagian tangki pemanas berdasarkan perubahan daya pada *heater* dan analisis perhitungan efektivitas pemanasan pada tangki pemanas akibat adanya perubahan daya pada *heater*. Penelitian ini difokuskan pada analisa perhitungan efektivitas pemanasan pada tangki pemanas dengan metode yaitu variasi daya yang berbeda sebagai variabel yang dibutuhkan *heater* untuk memanaskan air. Hasil penelitian dapat menjadi data yang akan digunakan dalam *improvement* terhadap alat yang sudah ada demi perkembangan penelitian mengenai keselamatan pemanfaatan energi nuklir di masa mendatang.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan meliputi pengujian menggunakan Untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 dengan penentuan matriks eskperimen dan pemasangan termokopel yang sudah ditentukan yang akan di bahas sebagai berikut.

Untai Pre-FASSIP-02 Mod.01. Fasilitas Simulasi Sitem Pasif merupakan alat pengujian untuk menginvestigasi sirkulasi alami pada sistem pendingin reaktor. Untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 memiliki komponen utama yang terpasang yaitu tangki pemanas berdiameter 10 cm sebagai *heater* yang berfungsi membangkitkan kalor, tangki pendingin yang di dalamnya memiliki *coil heater* berdiameter ½ inch sebagai *cooler* yang berfungsi sebagai pembuang kalor dari sistem dan disambung dengan beberapa pipa *pyrex* transparan untuk mengetahui laju aliran dalam sirkulasi tanpa adanya bantuan pompa[7]. Aliran yang terjadi karena adanya perbedaan tekanan yang ditimbulkan oleh air yang di beri kalor pada tangki pemanas dan mengalami fenomena *boiled* yang menyebabkan gaya apung sehingga air mengalir menuju tangki pendingin untuk menyerap kalor dan terjadi proses perpindahan panas lalu mengalirkan air bertemperatur lebih rendah kembali menuju tangki pemanas yang disebabkan karena gaya gravitasi yang akan ditunjukkan pada Gambar 1.



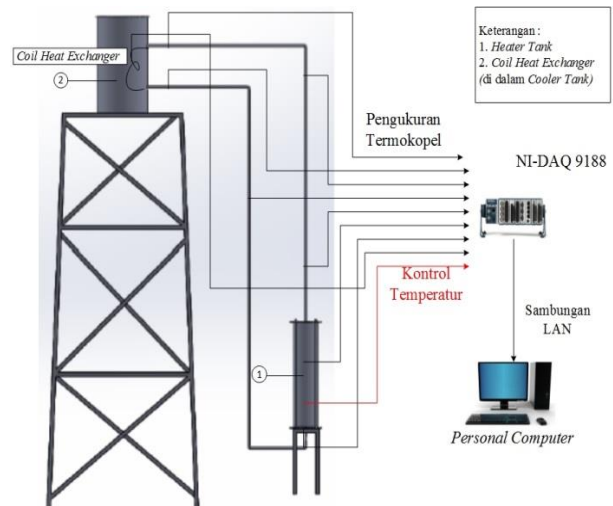
Gambar 1. Desain untai Pre-FASSIP-02 Mod.01

Tabel 1. Data Geometri Loop

Alat	Bentuk	Ukuran/Material
Water Cooling Tank	Silinder	Diameter 17cm, Tinggi 73cm (Plastik)
Heater Tank	Silinder	Diameter 10cm, Tinggi 81cm (Akrilik)
Coil Heat Exchanger	Silinder	Diameter 1/2inch, panjang 75cm (Tembaga)
Pipa Pyrex	Silinder	Diameter 1/2inch (Kaca)
Perbedaan Ketinggian (H)	-	1,31m
Loss Koefisien (K)	-	7,6 (4 Elbow 45°, 2 Tee, 2 Valve)
Total Panjang Pipa (L)	-	5,81m

Tabel 1 menunjukkan data geometri loop yang berisikan ukuran dan material serta bentuk dari masing-masing komponen penyusun Untai Pre-FASSIP-02 Mod.01

Eksperimental Setup. Penelitian ini dilakukan menggunakan untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 yang melakukan sirkulasi alami sebagai alat pengujian terhadap sistem pendingin pasif reaktor. Pengambilan data temperatur dilakukan dengan melakukan pemasangan termokopel tipe k pada 12 titik yang telah ditentukan pada komponen Untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 dan memasang kontrol untuk temperatur heater dengan menggunakan solid state relay. Pada 12 titik pemasangan termokopel terhubung dengan National Instrument dan disambung dengan kabel LAN menuju personal computer yang memvisual data temperatur melalui software LabView. Gambar eksperimental setup pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



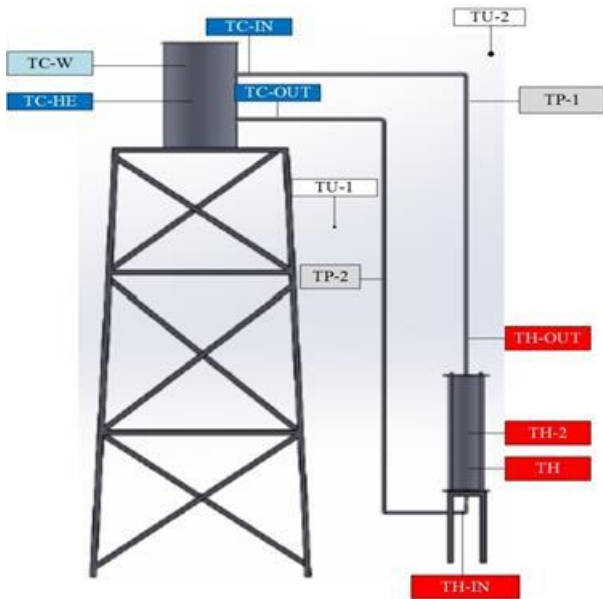
Gambar 2. Eksperimental Setup

Matriks Eksperimen. Matriks eksperimen yang ditentukan dan digunakan pada penelitian ini untuk menghitung efektivitas pemanasan pada tangki pemanas berdasarkan variasi daya temperatur pemanas pada Untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 menggunakan solid state relay untuk mengatur variasi daya yang diberikan. Adapun variasi daya yang dilakukan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Geometri Loop

No.	Lama waktu Pengambilan data (Detik)	Temperatur Heater (°C)
1	9000	90
2	9000	80
3	9000	70
4	9000	60
5	9000	50
6	9000	40

Posisi Pemasangan Termokopel. Titik pemasangan termokopel terdapat pada bagian heater sebanyak 4 buah termokopel yang terpasang pada inlet heater, coil heater, heater tank, dan outlet heater. 2 buah termokopel terpasang pada pipa loop pyrex. Pada udara terpasang termokopel sebanyak 2 buah. Pada bagian cooler terpasang 4 buah termokopel yang terpasang pada inlet cooler, coil heat exchanger, outlet cooler, dan pada air pendingin. Titik pemasangan termokopel pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Titik Pemasangan Termokopel

Efektivitas pemanasan pada tangki pemanas di untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 dipengaruhi oleh perpindahan kalor yang terjadi di tangki pemanas dibandingkan dengan daya keseluruhan maksimum perpindahan kalor pada untai [7]. Untuk mendapatkan besaran nilai efektivitas pemanasan menggunakan beberapa persamaan seperti yang ditunjukkan pada Pers. 1 hingga Pers.7

$$\rho_{Th} = 1004,789042 - 0,046283(1,8T) - 0,00079738 (1,8T)^2 \quad (1)$$

Pers. 1 digunakan untuk menentukan nilai densitas air pada heater dan dilanjutkan dengan menentukan nilai viskositas dinamik pada heater dengan menggunakan Pers. 2.

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

Nilai densitas air dan viskositas dinamik diperlukan untuk menentukan nilai kecepatan aliran pada heater dengan menggunakan Pers. 3.

$$v = \frac{-64 \mu L + \sqrt{(64 \mu L)^2 + 8gHK \rho(\rho_h - \rho_c)D^4}}{2 D^2 \rho K} \quad (3)$$

Untuk menentukan nilai laju aliran massa yang ditunjukkan pada Pers. 5, dibutuhkan nilai luas penampang pada heater tank yang ditunjukkan pada Pers. 4.

$$A = \pi r^2 \quad (4)$$

$$\dot{m}_h = \rho \cdot v \cdot Ah \quad (5)$$

Nilai laju aliran massa yang ditunjukkan pada Pers.5 hasilnya dibutuhkan untuk menentukan nilai perpindahan kalor seperti ditunjukkan pada Pers.6

$$q = \dot{m} \times C_p \times (T_{out} - T_{in}) \quad (6)$$

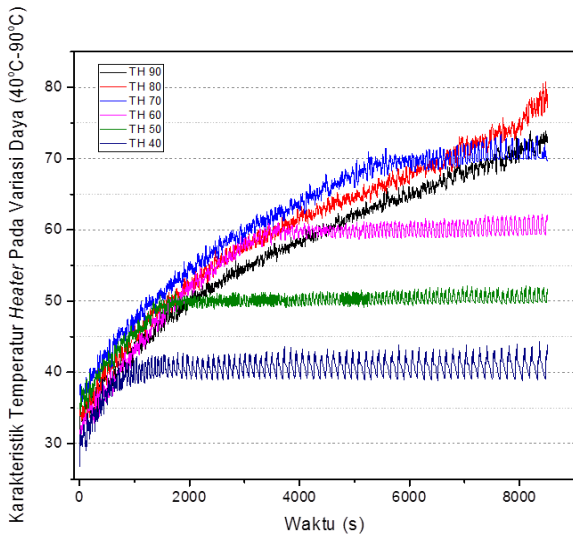
Pers.6 digunakan untuk menentukan besaran nilai analisa perpindahan kalor pada variasi daya 90°C, 80°C, 70°C, 60°C, 50°C, dan 40°C. Nilai kalor spesifik (Cp) ditentukan menggunakan *table properties of saturated water* berdasarkan temperatur rata-rata pada heater. Nilai perpindahan kalor dibandingkan dengan nilai perpindahan kalor total pada daya sebesar 1000 watt untuk mendapatkan nilai efektivitas yang ditunjukkan pada Pers.7

$$\varepsilon = \frac{q_h}{qt} \times 100\% \quad (7)$$

Hasil dan Pembahasan

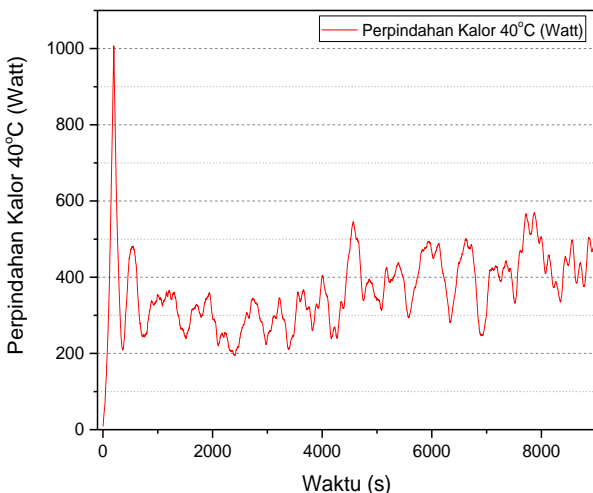
Hasil dari penelitian ini meliputi karakteristik temperatur heater berdasarkan variasi daya heater, analisa perpindahan kalor di heater berdasarkan variasi daya heater, dan efektivitas pemanasan pada heater berdasarkan variasi daya di heater yang akan di bahas berikut ini.

Karakteristik Temperatur. Karakteristik perubahan temperatur dilakukan dengan menggunakan variasi daya temperature heater yang berbeda yaitu 40°-90°C. Data diperoleh melalui perekaman data temperatur secara digital menggunakan NI-DAQ yang dihubungkan ke personal komputer melalui sambungan LAN yang direkam dari temperatur air pada suhu normal atau suhu ruangan ($\pm 25^\circ\text{C}$) sampai pada temperatur yang telah disetting dan direkam selama 9000 detik hingga kondisi *steady*. Karakterisasi temperatur pada heater tank disajikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4 dengan penyajian temperatur heater 40°C grafik berwarna biru tua, temperatur heater 50°C grafik berwarna hijau, temperatur heater 60°C grafik berwarna merah muda, temperatur heater 70°C grafik berwarna biru muda, temperatur heater 80°C grafik berwarna merah, dan temperatur heater 90°C grafik berwarna hitam.



Gambar 4. Grafik Karakterisasi Temperatur Heater Perhitungan Efektivitas Pemanasan. Perhitungan analisa efektivitas pemanasan pada tangki pemanas ditentukan menggunakan Pers.1 hingga Pers.7 dan dilakukan pada setiap variasi daya temperature pada heater..Dengan data geometri berupa panjang total loop (L)= 5,81 m; beda ketinggian (H) = 1,31 m; diameter prex (D_p) = 0,0127 m; diameter heater tank (D_h) = 0,1 m; tinggi heater tank (t_h) = 0,81 m; dan loss koefisien (K) = 7,6. Hal ini dilakukan untuk menganalisa pada variasi daya temperatur berapa efektivitas pemanasan pada tangki pemanas terjadi.

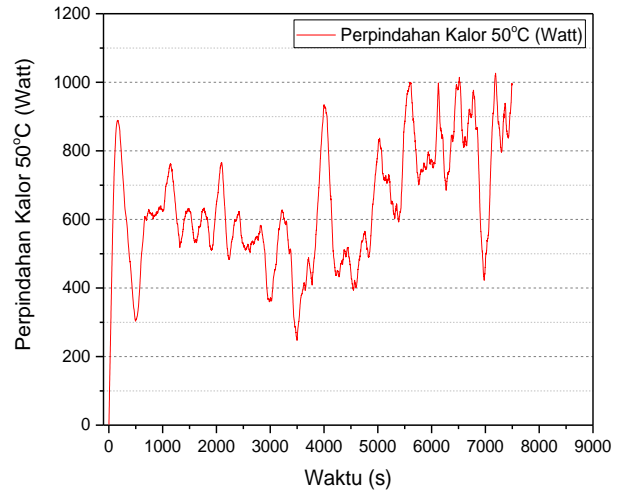
Analisis Perpindahan Kalor. Perpindahan kalor yang terjadi pada heater merupakan hasil dari perhitungan laju aliran massa dengan kalor spesifik dan perubahan suhu pada heater. Grafik analisa perpindahan panas pada variasi daya temperatur heater sebesar 40°C-90°C ditunjukkan pada Gambar 5 hingga Gambar 10.



Gambar 5. Grafik Perpindahan Kalor Pada Temperatur 40°C

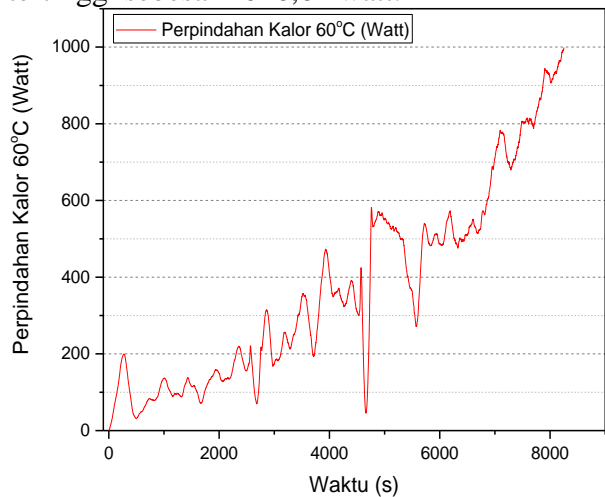
Gambar 5 menunjukkan grafik perpindahan kalor pada daya temperatur 40°. Grafik menunjukkan diawal waktu pemanasan, perpindahan kalor langsung mencapai angka

1007,086 watt. Hal ini disebabkan oleh pemanasan yang sudah dilakukan sebelum mengambil data pengujian yang menyebabkan coil heater (sumber kalor) pada tabung heater sudah bertemperatur tinggi dan mulai stabil di perpindahan kalor sebesar 200-500 watt setelah beberapa detik karena reaksi eksoterm (kalor dari dalam sistem berpindah ke lingkungan).



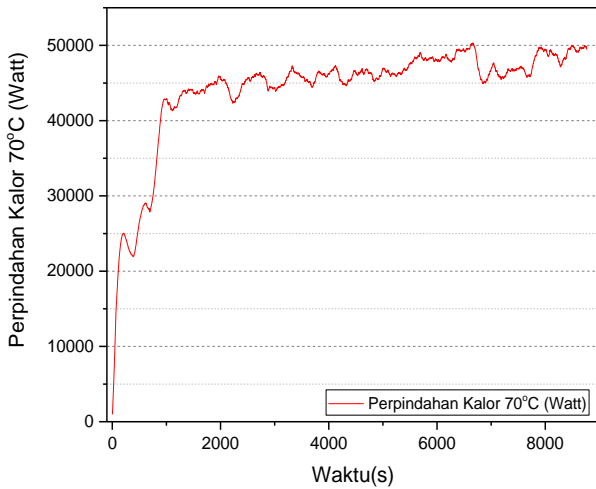
Gambar 6. Grafik Perpindahan Kalor Pada Temperatur 50°C

Gambar 6 menunjukkan grafik perpindahan kalor pada settingan daya heater 50°C. Grafik tersebut menunjukkan perpindahan kalor naik turun selama waktu 9000 detik hal ini disebabkan reaksi endoterm dan eksoterm. Perpindahan panas pada daya temperatur 50°C tertinggi sebesar 1026,62 watt.



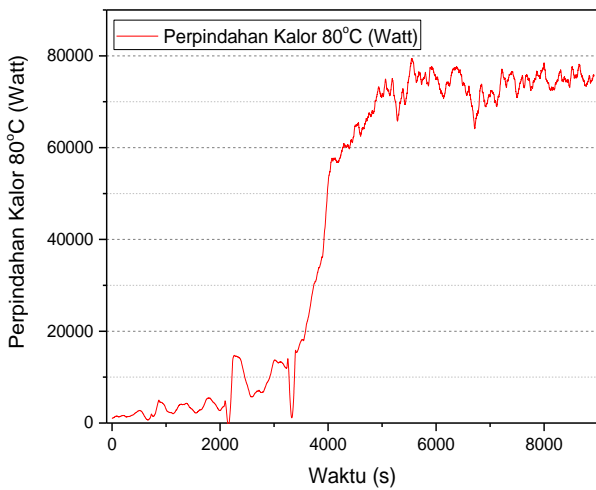
Gambar 7. Grafik Perpindahan Kalor Pada Temperatur 60°C

Gambar 7 menunjukkan grafik perpindahan kalor pada settingan daya heater 60°C. Grafik tersebut menunjukkan perpindahan kalor mengalami peningkatan secara signifikan karena reaksi endoterm. Panas dari lingkungan ikut terserap ke dalam sistem sehingga perpindahan kalor meningkat dan bernilai tertinggi sebesar 998,62 watt.



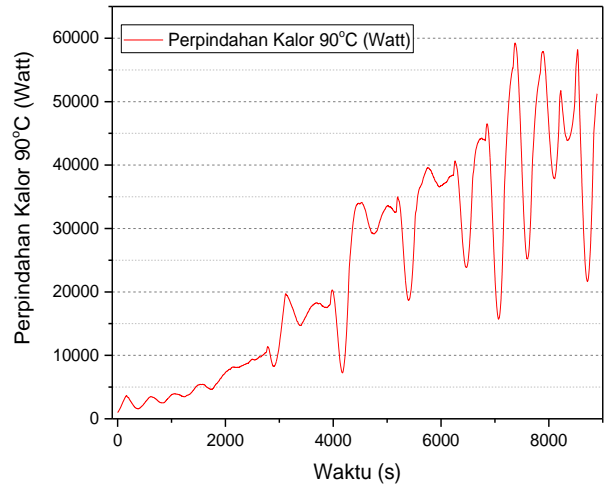
Gambar 8. Grafik Perpindahan Kalor Pada Temperatur 70°C

Gambar 8 menunjukkan grafik perpindahan kalor pada setingan daya heater 70°C. Grafik tersebut menunjukkan perpindahan kalor yang stabil terus naik hingga mencapai nilai perpindahan kalor tertinggi sebesar 50316,65 watt hal ini dikarenakan reaksi endoterm, yaitu sistem menyerap panas dari luar dan menyebabkan nilai perpindahan panas terus naik selama 9000 detik.



Gambar 9. Grafik Perpindahan Kalor Pada Temperatur 80°C

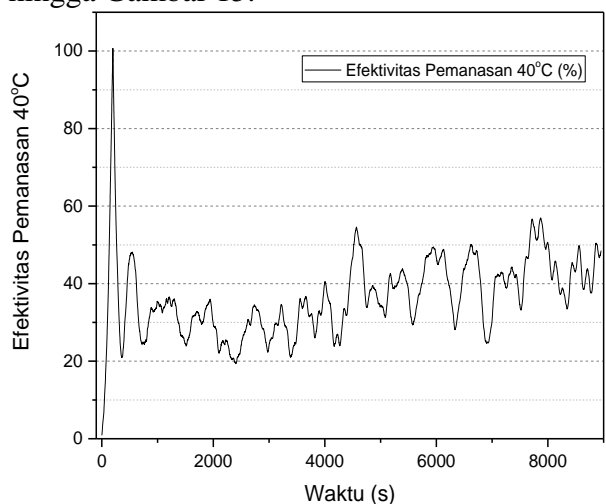
Gambar 9 menunjukkan grafik perpindahan kalor pada setingan daya heater 80°C. Grafik tersebut menunjukkan perpindahan kalor mengalami peningkatan secara signifikan karena reaksi endoterm. Panas dari lingkungan ikut terserap ke dalam sistem sehingga perpindahan kalor meningkat dan mengalami kenaikan ekstrim pada detik ke 3000 hingga perpindahan panas tertinggi sebesar 79420,43 watt.



Gambar 10. Grafik Perpindahan Kalor Pada Temperatur 90°C

Gambar 10 menunjukkan grafik perpindahan kalor pada setingan daya heater 90°C. Grafik tersebut menunjukkan perpindahan kalor mengalami peningkatan secara signifikan karena reaksi endoterm. Panas dari lingkungan ikut terserap ke dalam sistem sehingga perpindahan kalor meningkat dan nilai perpindahan kalor tertinggi sebesar 59251,5 watt

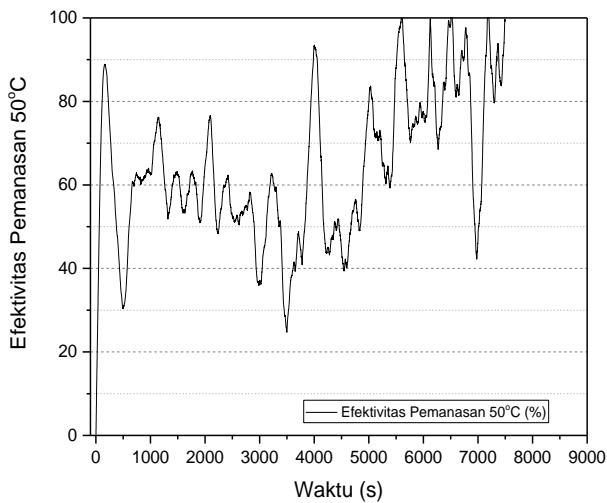
Analisa Efektivitas Pemanasan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya temperatur berapa yang memiliki efektivitas pemanasan yang baik selama proses pendinginan pasif. Nilai efektivitas pemanasan di dapatkan dari perbandingan nilai perpindahan panas berdasarkan data analisa dengan perpindahan panas total maksimum loop. Grafik efektivitas disajikan pada Gambar 11 hingga Gambar 15.



Gambar 11. Grafik Efektivitas Pemanasan Pada Temperatur 40°C

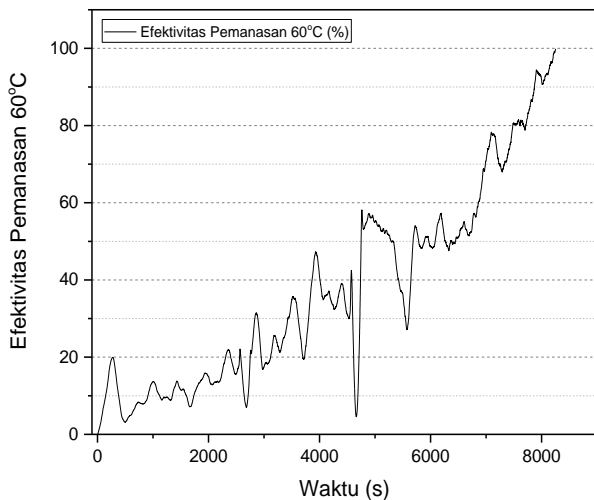
Gambar 11 menunjukkan grafik efektivitas pemanasan pada temperatur 40°C seperti pada grafik perpindahan panasnya, kenaikan efektivitas sangat tinggi di awal pengujian dikarenakan reaksi

endoterm. Nilai rata-rata efektivitas pemanasan pada temperatur 40°C sebesar 36,59%



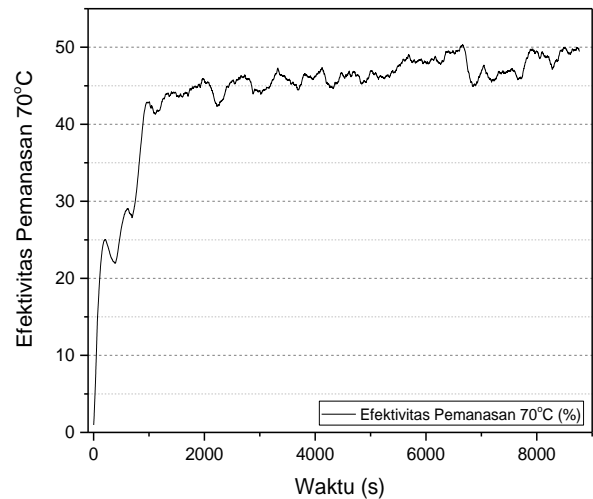
Gambar 12. Grafik Efektivitas Pemanasan Pada Temperatur 50°C

Gambar 12 menunjukkan grafik efektivitas pemanasan pada temperatur 50°C seperti pada grafik perpindahan panasnya, naik turunnya efektivitas pemanasan dikarenakan reaksi endoterm dan eksoterm. Nilai rata-rata efektivitas pemanasan pada temperatur 50°C sebesar 63,87%



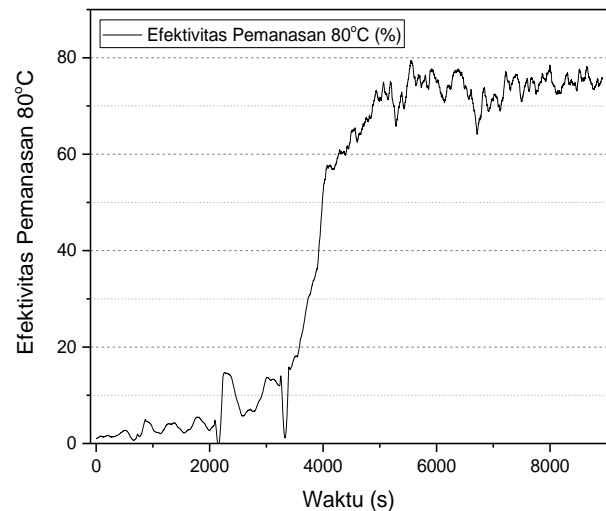
Gambar 13. Grafik Efektivitas Pemanasan Pada Temperatur 60°C

Gambar 13 menunjukkan grafik efektivitas pemanasan pada temperatur 60°C seperti pada grafik perpindahan panasnya, naiknya efektivitas pemanasan secara signifikan dikarenakan reaksi endoterm. Nilai rata-rata efektivitas pemanasan pada temperatur 60°C sebesar 37,4%



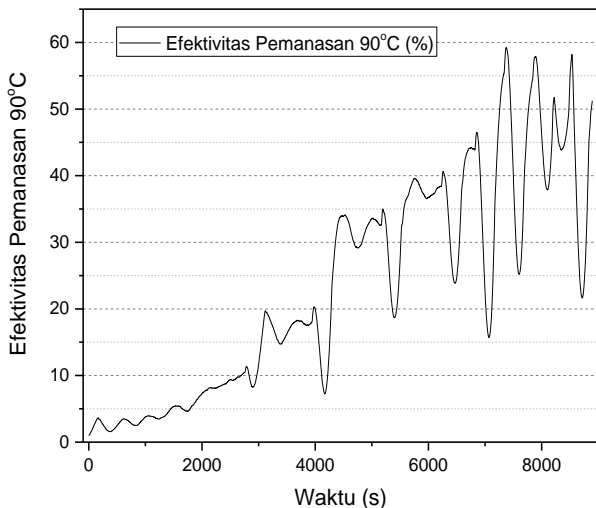
Gambar 14. Grafik Efektivitas Pemanasan Pada Temperatur 70°C

Gambar 14 menunjukkan grafik efektivitas pemanasan pada temperatur 70°C seperti pada grafik perpindahan panasnya, naiknya efektivitas pemanasan secara signifikan dikarenakan reaksi endoterm. Nilai rata-rata efektivitas pemanasan pada temperatur 70°C sebesar 44,18%



Gambar 15. Grafik Efektivitas Pemanasan Pada Temperatur 80°C

Gambar 15 menunjukkan grafik efektivitas pemanasan pada temperatur 80°C seperti pada grafik perpindahan panasnya, naiknya efektivitas pemanasan secara signifikan dikarenakan reaksi endoterm. Nilai rata-rata efektivitas pemanasan pada temperatur 80°C sebesar 43,45%



Gambar 16. Grafik Efektivitas Pemanasan Pada Temperatur 90°C

Gambar 16 menunjukkan grafik efektivitas pemanasan pada temperatur 90°C seperti pada grafik perpindahan panasnya, naiknya efektivitas pemanasan secara signifikan dikarenakan reaksi endoterm. Nilai rata-rata efektivitas pemanasan pada temperatur 90°C sebesar 23,44%

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data penelitian yang sudah dijabarkan, didapatkan nilai rata-rata efektivitas pemanasan tertinggi pada *heater* terjadi pada variasi daya *heater* 50°C yaitu sebesar 63,87% dan mengalami penurunan nilai efektivitas pemanasan pada variasi daya yang semakin tinggi. Hal ini dibuktikan pula dengan nilai rata-rata efektivitas pemanasan terendah terjadi pada variasi daya *heater* 90°C yaitu 23,44%. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanasan pada *heater* Untai Pre-FASSIP-02 Mod.01 akan efektif pada daya *heater* yang rendah. Nilai efektivitas tertinggi tidak terjadi pada variasi daya *heater* 40°C dikarenakan kesalahan pada saat pengujian, yaitu kondisi *coil heater* sudah panas sebelum pengujian dimulai akibat kegagalan pengujian sebelumnya. Hal ini masih perlu dibuktikan lebih lanjut pada penelitian lain yang akan datang dengan memberikan variasi daya yang semakin tinggi untuk membuktikannya.

Penghargaan

Ucapan terima kasih dihaturkan kepada Kepala PTKRN-BATAN atas izinnya untuk pelaksanaan penelitian tugas akhir. Terima kasih pula dihaturkan kepada staf Laboratorium Termodinamika PTKRN-BATAN dan Laboratorium Mekanika Struktur FTS-UIKA Bogor atas bantuannya selama penelitian tugas akhir. Kegiatan penelitian ini didanai oleh program

INSINAS Flagship dari KEMENRISTEKDIKTI dengan nomor kontrak 06/INS-1/PPK/E4/2019.

Referensi.

- [1] Lubis, A., 2011. Energi terbarukan dalam pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Teknologi Lingkungan.*, vol.8., no.2.
- [2] Juarsa, M. dan A. R. Antariksawan. Penelitian Fenomena Perpindahan Panas Pendidihan Dalam Peristiwa Kecelakaan Reaktor Nuklir *Three Mile Island* Unit 2. *Sigma Epsilon*, ISSN, pp. 853-9103
- [3] Joyosukarto, P.M., 2000. Prakiraan Laju Aliran Massa Pada Model Fungsional Sistem Pendinginan Relung Reaktor (RCCS) MHTGR. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir.*, vol.2., no.3.
- [4] Antariksawan, A.R. et al., 2018. "Numerical study on natural circulation characteristics in FASSIP-02 experimental facility using RELAP5 code" in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.*, vol.105., no.1., p.12090.
- [5] Juarsa, M. et al., 2019. "Preliminary Investigation on Natural Circulation Flow using CFD and Calculation Base on Experimental Data Pre-FASSIP-02" in *Journal of Physics: Conference Series.*, vol.1198., no.2., p.22073.
- [6] Sofyan, A.R. et al., 2018. "Estimasi Perubahan Kalor Selama Kenaikan Temperatur Air Di Untai Pre-Fassip-02" *Sigma Epsilon-Buletin Ilmu Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir.*, vol.22., no.1.
- [7] Noufal, M. et al., 2016. "Analisis unjuk kerja pemanas dan pendingin di untai fasilitas simulasi sistem pendingin pasif" *Sigma Epsilon- Jural Ilmu Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir.*, vol.19., no.2.