

Karakterisasi Alat Penukar Kalor Berdasarkan Perubahan Laju Aliran Air di sisi Primer Untai Uji BETA

Suhendra^{1,2}, Yogi Sirodz Gaos², Mulya Juarsa^{2,3}, Bambang Heru³, Edi Marzuki²,
Hendro Cahyono³, Hadi Kusuma³, Joko Prasetyo³

¹Mahasiswa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. KH. Soleh Iskandar KM.2 Bogor 16162
Suhe_engineering@yahoo.com

²*Engineering Development for
Energy Conversion and Conservation (ED²EC) Research Laboratory*
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. KH. Soleh Iskandar KM.2 Bogor 16162

³Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir BATAN
Gedung 80 Kawasan PUSPIPTEK, Tangerang Selatan 15310 BANTEN

Abstrak

Kecelakaan yang disebabkan kelebihan kalor akibat gagalnya proses pendingin pernah terjadi pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Seperti yang terjadi pada Reaktor TMI-2 Amerika tahun 1979 dan Reaktor Fukushima Daiichi Jepang tahun 2011. Proses pendinginan menjadi proses yang penting dalam keselamatan reaktor, terlebih karena penggunaan energi nuklir sebagai pembangkit listrik memiliki potensi kecelakaan yaitu lepasnya bahan radio aktif dan kecelakaan itu merupakan jenis kecelakaan penting yang dalam dasar desain sistem keselamatan reaktor nuklir. Fasilitas Untai Uji BETA merupakan fasilitas eksperimen untuk menginvestigasi fenomena termohidrolika baik untuk kondisi transien (kecelakaan) maupun kondisi tunak (operasi normal) untuk simulasi PLTN skala lokal. komponen Untai uji BETA terdiri dari pre-heater, pompa primer dan sekunder, alat penukar kalor, *reservoir tank* dan *cooling tower*. UUB juga dapat digunakan sebagai media distribusi fluida, baik sebagai pendingin maupun fluida kerja yang kemudian dikoneksikan dengan bagian uji lain, seperti HeaTiNG-01, HeaTiNG-02, QUEEN-I dan QUEEN-II. Salah satu pengembangan yang dilakukan untuk meningkatkan performa eksperimen pada untai uji BETA adalah mengganti alat penukar kalor pada tahun 2011. Sehingga karakterisasi untuk mengetahui performa alat penukar kalor perlu dilakukan, pada kondisi untai tertutup (*closed loop*). Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan debit aliran sebanyak 3 macam, yaitu: 0,377 l/s, 0,472 l/s, dan 0,567 l/s dan temperatur air 80°C. Sedangkan, debit aliran air di sisi sekunder untai uji BETA ditentukan dengan harga konstan yaitu 0,567 l/s. Karakterisasi difokuskan untuk memperoleh efektifitas temperatur dan efisiensi pada alat penukar kalor untuk kondisi untai uji tertutup. Hasil penelitian dengan kondisi untai tertutup menunjukkan bahwa pada debit aliran 0,377 l/s di dapat perbedaan temperatur rata-rata di sisi primer sebesar 13,08°C dan di sisi sekunder sebesar 2,32°C. Sedangkan nilai efisiensi alat penukar kalor sebesar 57% dengan nilai efektifitas sebesar 0,34. Kemudian Pada debit aliran 0,472 l/s di dapat perbedaan temperatur rata-rata di sisi primer sebesar 9,88°C dan di sisi sekunder 3,54°C sedangkan nilai efisiensi alat penukar kalor sebesar 81,31% dengan nilai efektifitas sebesar 0,28, dan pada debit aliran 0,567 di dapat perbedaan temperatur rata-rata di sisi primer 8,22°C dan pada sisi sekunder 4,27°C sedangkan nilai efisiensi alat penukar kalor sebesar 98,1% dengan nilai efektifitas sebesar 0,24. Karakterisasi menunjukkan bahwa laju aliran air mempengaruhi perubahan temperatur masukan dan keluaran di sisi primer maupun di sisi sekunder. Dimana semakin besar debit aliran maka semakin turun kalor yang di lepas dan semakin naik kalor yang di serap. Demikian juga efisiensi dan efektifitas pada alat penukar kalor di pengaruhi oleh perubahan laju aliran air. Dimana semakin besar laju aliran air maka semakin besar juga efisiensinya, sedangkan pada nilai efektifitas terjadi hal yang sebaliknya.

Kata kunci: karakterisasi, alat penukar kalor, laju aliran, temperatur, primer

Pendahuluan

Alat penukar kalor merupakan alat yang berfungsi untuk memindahkan kalor (bisa secara konduksi, konveksi dan radiasi) antara dua atau lebih fluida dari medium panas ke medium dingin (AAIS Komala Dewi, 2007), dan tidak adanya alat pemindah kalor maka bisa menyebabkan naiknya temperatur pada sistem pendinginan dalam suatu instalasi pembangkit yang mengarah pada kejadian kecelakaan. Kecelakaan yang disebabkan kelebihan kalor akibat gagalnya proses pendingin pernah terjadi pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Seperti yang terjadi pada Reaktor TMI-2 Amerika tahun 1979 dan Reaktor Fukushima Daiichi Jepang tahun 2011 (Mulya Juarsa, 2007). Proses pendinginan menjadi proses yang penting dalam keselamatan reaktor, terlebih penggunaan energi nuklir sebagai pembangkit listrik memiliki potensi kecelakaan yaitu lepasnya bahan radioaktif dan kecelakaan itu merupakan jenis kecelakaan penting yang dalam dasar desain sistem (*design basic accident*, DBA) keselamatan reaktor nuklir. Kemudian dalam rangka mempelajari fenomena kecelakaan tersebut, Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) memiliki untai uji BETA. Fasilitas untai uji BETA merupakan fasilitas eksperimen untuk menginvestigasi fenomena termohidrolika baik untuk kondisi transien (kecelakaan) maupun kondisi tunak (operasi normal) untuk simulasi PLTN skala lokal. Untai uji BETA terdiri dari komponen *pre-heater*, pompa primer dan sekunder, alat penukar kalor, *reservoir tank* dan *cooling tower*. Serta bagian pokoknya adalah bagian uji (*test section*) yang dapat digunakan oleh beberapa alat eksperimen, seperti HeaTiNG-01, HeaTiNG-02, QUEEN-I dan QUEEN-II [3]. Salah satu pengembangan yang dilakukan untuk meningkatkan performa eksperimen pada untai uji BETA adalah mengganti alat penukar kalor pada tahun 2011. Sehingga karakterisasi untuk mengetahui performa alat penukar kalor perlu dilakukan, baik pada kondisi untai tertutup (*closed loop*). Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan karakterisasi perubahan temperatur inlet dan outlet pada alat penukar kalor yang berdasarkan variasi debit aliran, dan juga memperoleh hasil analisis untuk menentukan efisiensi alat penukar kalor yang berdasarkan perubahan laju aliran di sisi primer Untai Uji BETA.

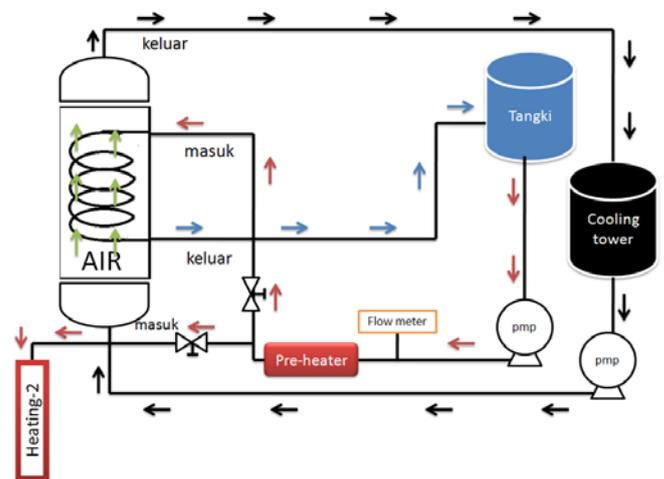
Metodologi Penelitian

Adapun dalam penelitian untuk mengetahui performa karakterisasi alat penukar kalor menggunakan metodologi eksperimen dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- Mengambil data dengan melakukan eksperimen perpindahan kalor pada Untai Uji BETA khususnya pada alat penukar kalor dengan memvariasi temperatur air dan variasi debit aliran.
- Melakukan analisa terhadap hasil yang telah di dapatkan pada eksperimen
- Menarik sebuah kesimpulan terhadap hasil analisa yang telah di lakukan.

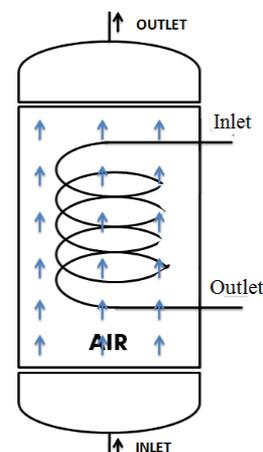
Peralatan dan Prosedur Eksperimen

Skematik pengujian pada Untai Uji BETA ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Eksperimental setup

Alat penukar kalor yang digunakan dalam eksperimen ini terpasang pada UUB, dimana alat ini merupakan alat penukar kalor jenis spiral yang dipasang pada tahun 2011. Alat penukar kalor ini bekerja secara sirkulasi dengan aliran air berawal dari tangki yang mengalir melalui pipa dan disirkulasikan oleh pompa primer menuju *preheater* yang kemudian mengalir pada alat penukar kalor. Desain alat penukar kalor jenis spiral yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alat Penukar Kalor

Karakterisasi alat penukar kalor dilakukan secara eksperimental dengan memvariasikan debit aliran air dimana matrikseksperimen dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks Eksperimen

Temperatur air	Debit Aliran Air, Q [l/s]
80°C	0,377
	0,472
	0,567

Efektifitas perubahan temperatur pada alat penukar kalor dapat didefinisikan sebagai berikut dengan menentukan fluida maximum, jika fluida dingin merupakan fluida maximum maka dapat di gunakan persamaan sebagai berikut (Zainudin,dkk, 2005) :

$$\varepsilon = \frac{q_s}{q_{max}}$$

$$\varepsilon = \frac{(T_{so} - T_{si})}{(T_{pi} - T_{si})}$$

Sedangkan untuk fluida panas merupakan fluida maximum maka di gunakan persamaan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{q_p}{q_{max}}$$

$$\varepsilon = \frac{(T_{pi} - T_{po})}{(T_{pi} - T_{si})}$$

Dan kita perlu mengetahui efisiensi dari suatu alat penukar kalor dengan menggunakan persamaan berikut (Hadi Surachman, dkk, 2008) :

$$\eta = \frac{q_s}{q_p} \cdot 100\%$$

dengan,

$$q_p = \dot{m}_p \cdot c_{p_p} \cdot \Delta T_p$$

$$q_s = \dot{m}_s \cdot c_{p_s} \cdot \Delta T_s$$

Prosedur Eksperimen

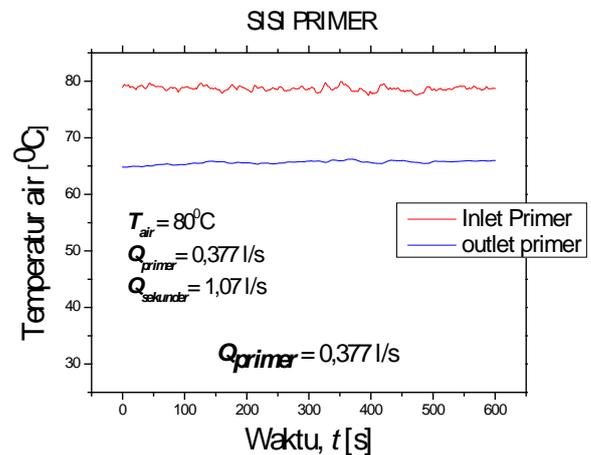
Prosedur eksperimen diawali dengan memastikan semua listrik dan panel UUB ada pada posisi ON. Kemudian pemanasan air pada *pre-heater* di lakukan dengan mensirkulasikan air dari tangki ke dalam

untai dengan pompa pada sisi primer hingga temperatur air konstan. Kemudian mulai mensirkulasikan air dengan pompa sekunder pada sisi sekunder hingga temperatur air dan debit aliran konstan. Perekaman data temperatur selama eksperimen dilakukan dengan menggunakan data akuisisi system dari *National Instrument* (NI-DAQ) dengan laju perekaman 1 data per-detik. NI-DAQ mulai merekam data setelah kondisi temperatur air konstan baik di sisi primer dan sekunder juga pada saat pompa sekunder mulai di hidupkan. Perekaman data dihentikan setelah 10 menit kemudian.

Hasil dan Pembahasan

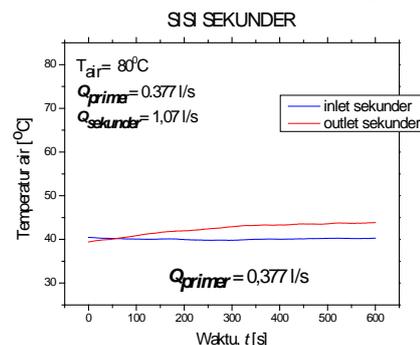
Pembacaan temperatur

Pengukuran temperatur inlet dan outlet pada sisi primer pada gambar 3 menunjukkan bahwa inlet lebih besar di banding dengan outlet, dan kondisi ini menunjukkan pada kondisi normal.



Gambar 3. Temperatur inlet dan outlet pada sisi primer untuk laju aliran 0,377 l/s

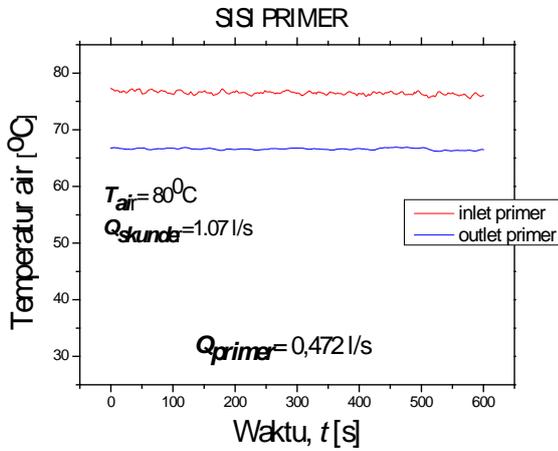
pada Gambar 4, menunjukkan inlet dan outlet di sisi sekunder dimana ada fenomena yang berbanding terbalik dengan teori, dimana di temperatur awal kondisi outlet lebih besar di banding dengan inlet dan terjadi hanya beberapa detik saja, kemudian temperatur outlet naik secara perlahan hingga kondisi menunjukan outlet lebih besar di banding inlet.



Gambar 4. Temperatur inlet dan outlet

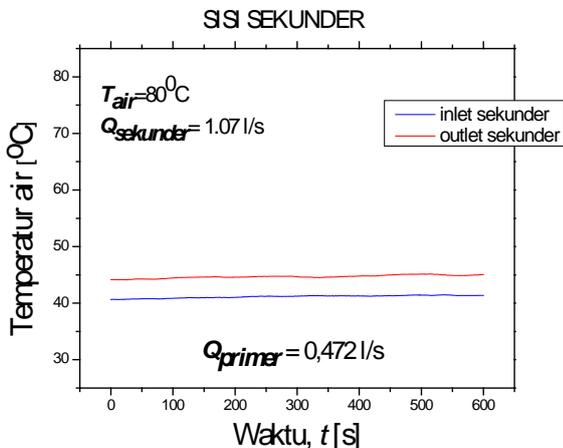
pada sisi sekunder untuk laju aliran 1,07 l/s

Pengukuran temperatur inlet dan outlet pada sisi primer pada gambar 5 menunjukkan bahwa inlet lebih besar di banding dengan outlet dan pada temperatur inlet ada penurunan temperatur dan pada outlet temperatur, dikarena dipengaruhi oleh laju aliran.



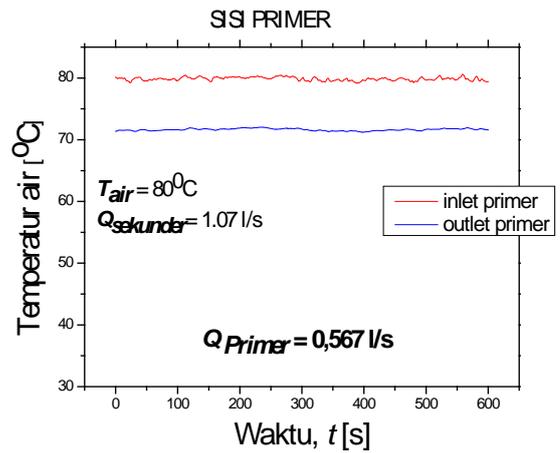
Gambar 5. Temperatur inlet dan outlet pada sisi primer untuk laju aliran 0,472 l/s

Gambar 6 menunjukkan bahwa inlet lebih besar di banding dengan outlet, dan ada kenaikan temperatur yang di serap karena pengaruh laju aliran pada sisi primer dan kondisi ini menunjukkan pada kondisi normal.



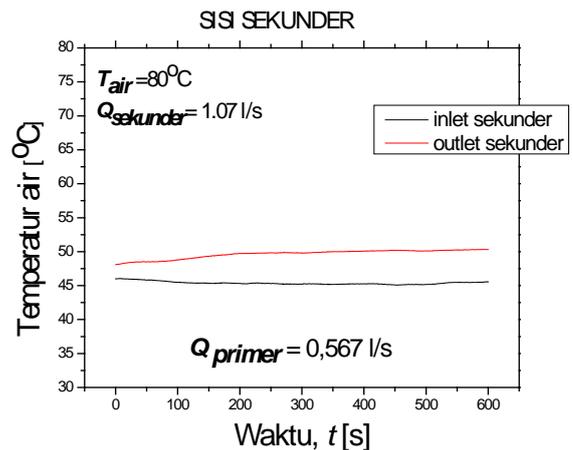
Gambar 6. Temperatur inlet dan outlet pada sisisekunder untuk laju aliran 1,07 l/s

Gambar 7, menunjukkan bahwa outlet pada sisi primer ada kenaikan temperatur karena dipengaruhi oleh laju aliran, sehingga ada perbedaan dengan pada laju aliran yang pertama.



Gambar 7. Temperatur inlet dan outlet pada sisi primer untuk laju aliran 0,567 l/s

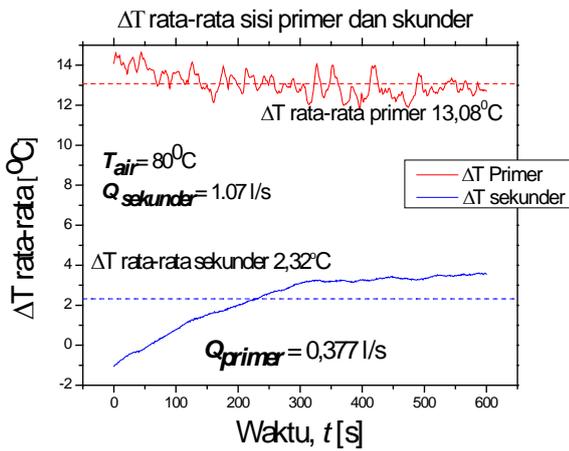
Gambar 8 menunjukkan bahwa inlet lebih besar di banding dengan outlet, dan ada kenaikan temperatur yang di serap karena pengaruh laju aliran pada sisi primer dan kondisi ini menunjukkan pada kondisi normal



Gambar 8. Temperatur inlet dan outlet pada sisisekunder untuk laju aliran 1,07 l/s

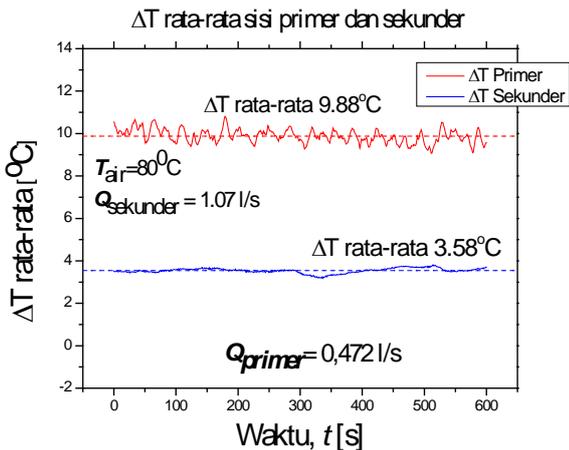
Pengolahan data

Hasil olah data menunjukkan bahwa rata-rata temperatur pada sisi primer lebih besar di banding dengan sisi sekunder meski pada sisi primer ada penurunan tetapi tidak signifikan dan pada sisi sekunder disetiap detik temperatur naik dan semua ini di pengaruhi oleh laju aliran, dimana di tunjukan pada Gambar 9.



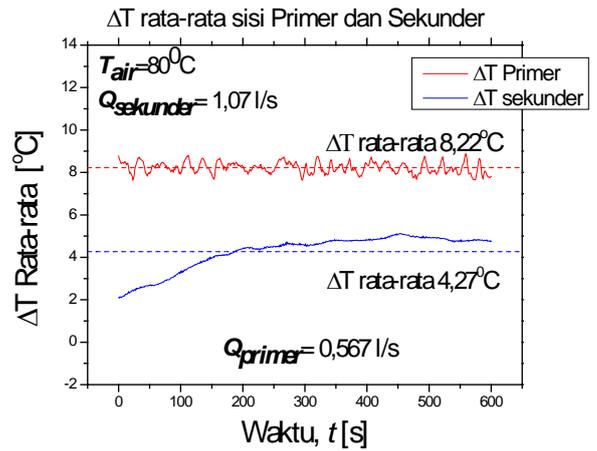
Gambar 9. ΔT rata-rata pada sisi primer dan sisi sekunder laju aliran primer 0,377 l/s

Gambar 10, menunjukkan bahwa laju aliran berpengaruh terhadap perpindahan kalor dimana kita bisa lihat rata-rata temperatur pada primer lebih besar di banding dengan sekunder meski pada primer ada penurunan sedangkan sisi sekunder ada kenaikan temperatur.



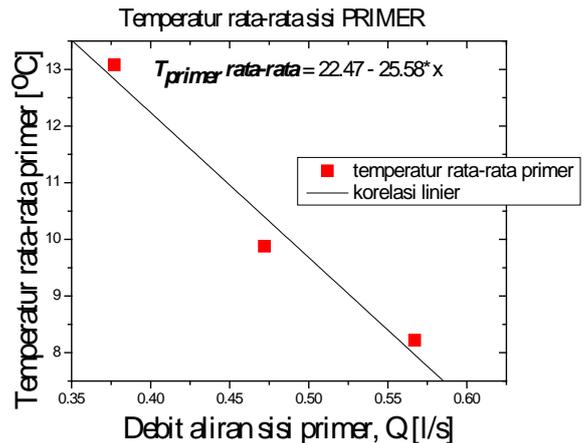
Gambar 10. ΔT rata-rata pada sisi primer dan sisi sekunder laju aliran primer 0,472 l/s

Gambar 11, menunjukkan bahwa laju aliran berpengaruh terhadap perpindahan kalor dimana kita bisa lihat rata-rata temperatur pada primer lebih besar di banding dengan sekunder meski pada primer ada penurunan sedangkan sisi sekunder ada kenaikan temperatur.

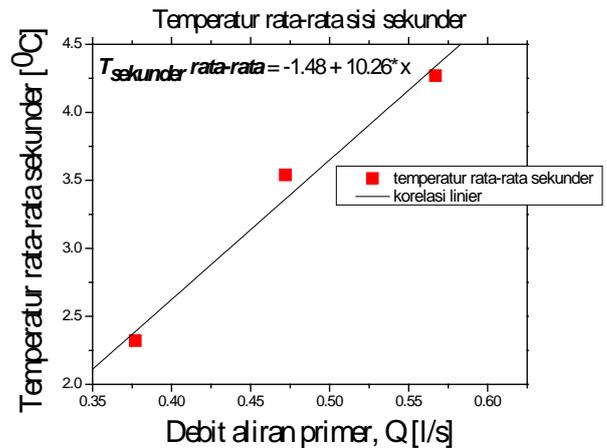


Gambar 11. ΔT rata-rata pada sisi primer dan sisi sekunder laju aliran primer 0,567 l/s

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan bahwa laju aliran berpengaruh terhadap perpindahan kalor dimana kita bisa lihat rata-rata temperatur pada sisi primer dan sisi sekunder menunjukkan semakin besar laju aliran maka semakin turun kalor yang di lepas dan semakin naik kalor yang di serap.



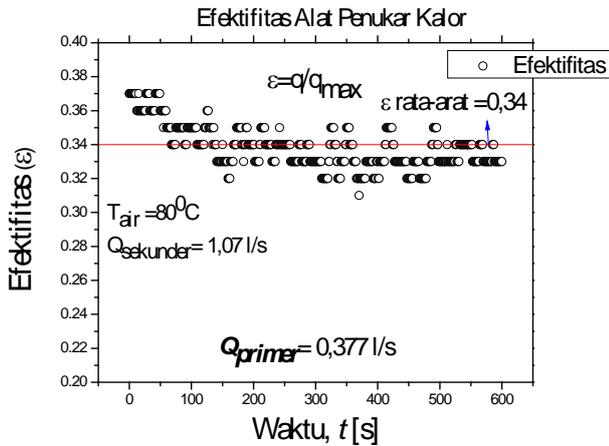
Gambar 12. ΔT rata-rata pada sisi primer



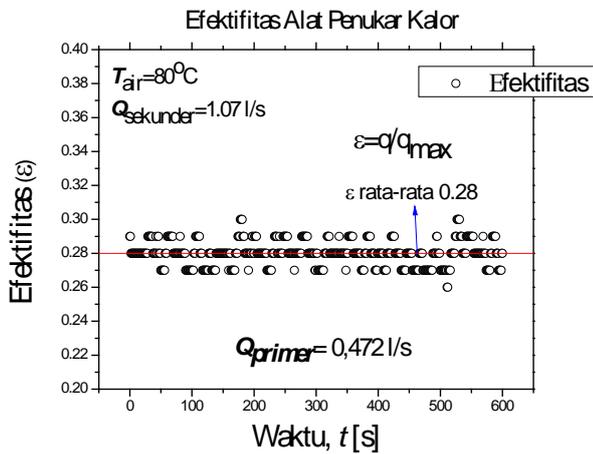
Gambar 13. ΔT rata-rata pada sisi primer

Begitupun pada efektifitas laju aliran berpengaruh sehingga di setiap laju aliran berbeda efektifitasnya,

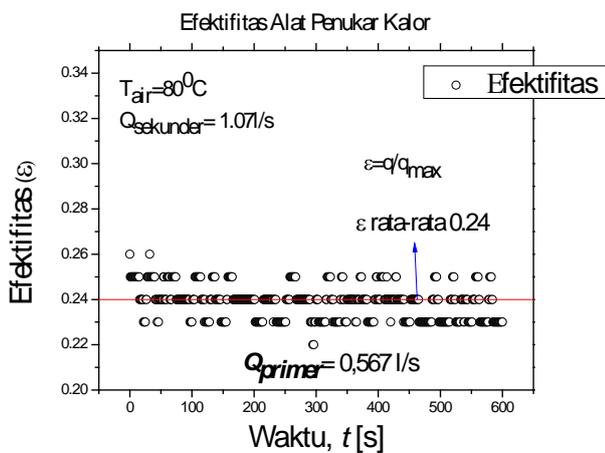
dimana semakin besar laju aliran maka semakin kecil efektifitasnya begitupun sebaliknya, dimana di tunjukan oleh Gambar 12, Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 14. Efektifitas alat penukar kalor untuk laju aliran primer 0,377 l/s

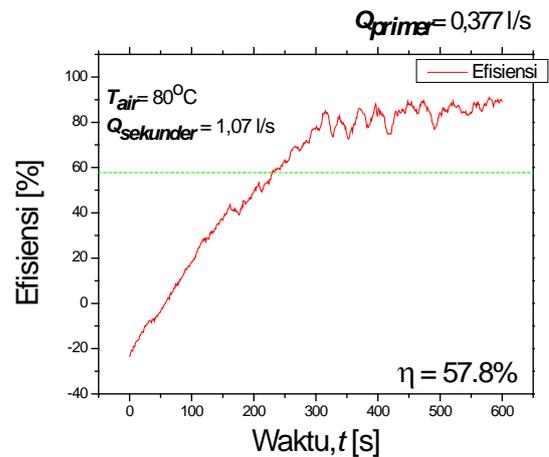


Gambar 15. Efektifitas alat penukar kalor untuk laju aliran primer 0,472 l/s

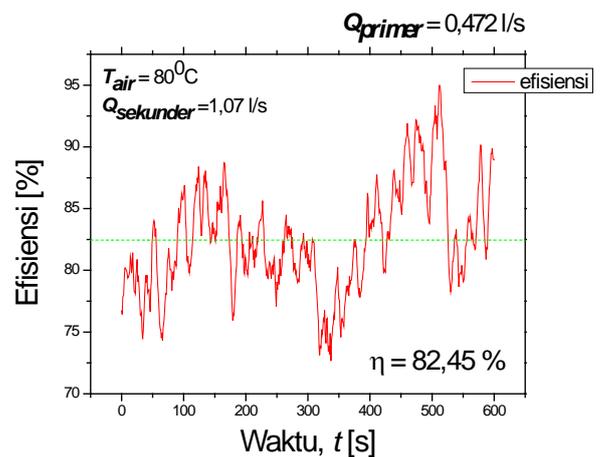


Gambar 16. Efektifitas alat penukar kalor untuk laju aliran primer 0,567 l/s

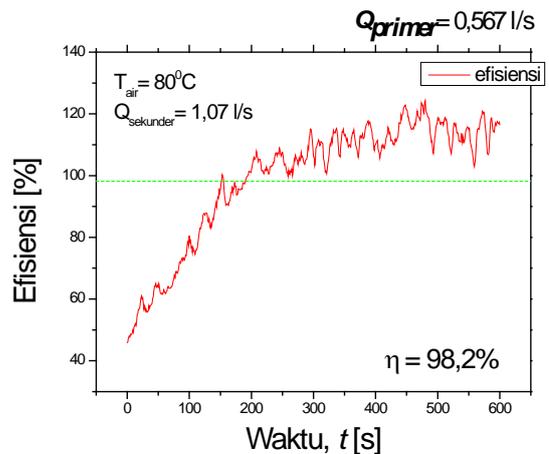
laju aliran akan berbeda efisiensinya, dimana semakin besar laju aliran maka semakin besar efisiensinya dan begitupun sebaliknya, dimana di tunjukan oleh gambar 16, gambar 17 dan gambar 18.



Gambar 17. Efisiensi alat penukar kalor untuk laju aliran primer 0,377 l/s



Gambar 18. Efisiensi alat penukar kalor untuk laju aliran primer 0,472 l/s



Gambar 19. Efisiensi alat penukar kalor untuk laju aliran primer 0,567 l/s

Dan begitupun pada efisiensi laju aliran berpengaruh pada efisiensi alat penukar kalor sehingga di setiap

Pembahasan

Pengaruh laju aliran terhadap perubahan temperatur sangat lah berpengaruh besar kita bisa lihat pada gambar 3, gambar 4, dan gambar 5 disana adalah merupakan temperatur inlet dan outlet baik di sisi primer ataupun di sisi sekunder dimana pada sisi primer, posisi temperatur inlet akan selalu lebih besar di banding dengan posisi temperatur outlet, berbeda dengan sisi sekunder dimana temperatur inlet lebih kecil di dibandingkan dengan temperatur outlet, karena jika pada sisi primer merupakan fluida panas sehingga pada sisi primer ini yang melepaskan panas sedangkan di sisi sekunder ini merupakan fluida dingin yang menyerap panas dari sisi primer. Gambar 6 merupakan perbandingan ΔT rata-rata, dimana laju aliran sangat mempengaruhi pada perpindahan kalor yaitu dimana semakin besar laju aliran maka akan semakin turun panas yang dilepaskan dan semakin naik juga kalor yang di serap. Sehingga kita dapat (η) dalam persentase bahwa dalam debit aliran 0,377 l/s itu efisiensinya (η)=57%, pada debit aliran 0,472 l/s dengan efisiensi (η)=81,1% dan pada debit aliran 0,567 l/s di dapat efisiensi 98.1% dengan temperatur air yang sama yaitu: 80°C dan debit aliran pada sekunder pun sama yaitu: 1,07 l/s, jadi jelas debit aliran sangat mempengaruhi pada efisiensi perpindahan kalor pada alat suatu penukar kalor. Tetapi berbeda terbalik dengan efektifitas penukar kalor semakin besar debit aliran maka akan semakin kecil efektifitasnya terlihat pada Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14 di atas.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian di lapangan dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Laju aliran (debit aliran) sangat mempengaruhi terhadap perpindahan panas pada alat penukar kalor yang terdapat pada UUB, dimana semakin besar laju aliran maka semakin turun kalor yang dipindahkan dan semakin naik juga kalor yang di serap.
2. Laju aliran pun mempengaruhi terhadap efektifitas alat penukar kalor dimana semakin besar laju aliran maka akan semakin kecil efektifitas penukar kalornya.
3. Begitupun pada efisiensi laju aliran sangat mempengaruhi terhadap nilai efisiensi, dimana semakin besar laju aliran maka akan semakin besar nilai efisiensi penukar kalornya.
4. Presentase hasil analisa dimana di hasilkan pada debit aliran 0,377 l/s di dapat ΔT temperatur rata-rata di sisi primer 13,08°C dan ΔT temperatur rata-rata di sisi sekunder 2,32°C, sehingga di dapat efisiensi (η) 57% dan pada debit aliran 0,472 di dapat ΔT temperatur rata-rata di primer 9,88°C dan

di sisi sekunder 3,54°C hingga di dapat efisiensi 81,31%, dan pada debit aliran 0,567 di dapat ΔT temperatur rata-rata di primer 8,22°C dan pada sisi sekunder 4,27°C hingga di dapat efisiensi 98,1%.

Ucapan Terima kasih

Alhamdulillah dengan rahmat Allah yang maha kuasa, penulis sampaikan terimakasih Kepada Kasub Termohidrolika, Kabid BOFa dan Ka.PTRKN BATAN, atas dukungan dan fasilitas yang telah di berikan hingga tulisan ini bisaterselesaikan.

Nomenklatur

Q	Debit aliran (l/s)
q	Perpindahan kalor (joule/s)
\bullet	Laju aliran (kg/s)
m	
T_{pi}	Temperatur fluida panas masuk (°C)
T_{po}	Temperatur fluida panas keluar (°C)
T_{si}	Temperatur fluida dingin masuk (°C)
T_{so}	Tempertaur fluida dingin keluar (°C)
η	Efisiensi (%)
ε	Efektifitas

Greek letters

\square	Laju aliran (joule/s)
-----------	-----------------------

Subsripts

max	Maximum
-----	---------

Referensi

AAIS Komala Dewi, "Analisis Variasi jarak pembuluh terhadap unjuk kerja Kondensor", Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol 1 No.1, Desember 2007 (36-41).

Mulya Juarsa, "Simulasi Eksperimental kecelakaan parah pada pemahaman aspek manajemen kecelakaan", Jurnal TPL 2007, ISSN 1410-9585

Ir. F Akbari, dkk "Kaji eksperimental karakteristik penukar kalor kompak dengan air sebagai fluida panas", JTM FT UNAND (www.repository.unand.ac.id)

Zainudin, dkk, *Studi Eksperimental Alat penukar Kalor shell and tube dengan memanfaatkan Gas buang mesin Diesel sebagai pemanas Air*, MTM FT ITM, juni 2005.

Hadi surachman, dkk, *Pengembangan dan pengujian kinerja termal pengering lorong hybrid energy suya-biomassa terpadu*, B2TE, BPPT, Puspitek-serpong, tanggerang. Desember 2008.