

Efek Perubahan Sudut Kemiringan dan Beda Diameter Pipa Terhadap Laju Perpindahan Kalor di Bagian Heater Akibat Kenaikan Daya Selama Aliran Sirkulasi Alamiah

Rizqi Faizal Muttaqin^{1,2}, Mohammad Farid^{1,2}, Budi G. Juarsa^{1,2},
Sigit Herlambang^{1,2}, Yanuar Akbar², Edi Marzuki², Mulya Juarsa², Yogi Sirodz Gaos²

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

²*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

Abstrak

Alat pemanas (*heater*) difungsikan untuk mensimulasikan fenomena simulasi alamiah yang menyebabkan perpindahan kalor dari heater ke dalam air. Perpindahan kalor yang terjadi akibat kenaikan daya untuk mensimulasikan fenomena sirkulasi alamiah perlu diketahui, sehingga diperoleh desain heater yang tepat untuk mensimulasikan fenomena sirkulasi alamiah dalam hal ini yaitu USSA FT-02. Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah (USSA FT-02) terdiri dari komponen pipa SUS 304 berdiameter 3/4" dan 1", rangka penyangga, busur derajat, tangki ekspansi, heater, cooler. Pada penelitian ini komponen heater terdiri dari kawat heater dengan kapasitas daya 1000 watt, balok ceramik, dan ceramic blanket. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik perubahan temperatur T_{s1} dan T_i serta nilai laju perpindahan kalor total akibat kenaikan daya di bagian heater. Penelitian dilakukan dengan melakukan eksperimen yaitu dengan memvariasikan tegangan masuk yaitu mulai 20 volt sampai dengan 220 volt dengan rentang waktu 5 menit setiap kenaikan tegangan, dan sudut kemiringan untai yaitu 0°, 45°, dan 90° pada diameter pipa 3/4" dan 1". Hasil karakterisasi daya heater yang menyebabkan kenaikan temperatur luar tertinggi dicapai pada sudut 90° adalah 368,63°C pada pipa berdiameter 1" dan terendah 318°C pada pipa berdiameter 1" dan temperatur air terbesar 79,34°C. Dari hasil eksperimen dengan daya terbesar 1000 watt pada pipa berdiameter 3/4" didapat 625,04 watt, 593,28 watt, dan 649,29 watt, kemudian pada diameter 1" yaitu; 614,73 watt, 663,25 watt, dan 672,04 watt. Perbandingan pada penelitian ini menunjukkan bahwa sudut kemiringan dan luas permukaan pipa mengakibatkan perbedaan perpindahan kalor, semakin kecil kecil permukaan maka semakin cepat perpindahan kalor, kemudian sudut kemiringan yang mengakibatkan perbedaan ketinggian, serta selisih temperatur antara temperatur permukaan luar pipa (T_{s1}) dan temperatur air dalam pipa (T_i) di bagian heater.

Kata-kata kunci: temperatur , daya, kalor, sudut kemiringan, diameter

Pendahuluan

Peralatan pemindah kalor berupa loop tertutup (*thermosyphon loop*) memiliki kemampuan untuk memindahkan kalor dari suatu sumber kalor ke area yang lebih dingin lain dengan jarak tertentu. Kondisi ini dapat digambarkan dengan *loop* tertutup yang diisi fluida kerja (air), dengan salah satu bagian dipanaskan dan bagian lainnya didinginkan, maka kerapatan air di bagian yang panas akan lebih rendah dibandingkan dengan bagian yang dingin. Aliran tanpa adanya intervensi mekanik seperti pompa atau kendali aliran, disebut fenomena sirkulasi alamiah (*Natural Circulation*) (Mulya Juarsa dkk, 2011). Alat ini dipasang *heater* sebagai sumber pemanas untuk mensimulasikan sirkulasi alamiah, dimana kenaikan daya divariasikan dengan mengubah tegangan masuk *heater* mengakibatkan kenaikan temperatur. Kenaikan daya *heater* menimbulkan perpindahan kalor pada bagian *heater*, semakin besar kenaikan daya *heater* semakin besar pula kenaikan temperatur permukaan, temperatur fluida, dan perpindahan kalor yang terjadi. Makalah membahas tentang perpindahan kalor yang terjadi pada bagian *heater* akibat kenaikan daya. Alat ini dapat diaplikasikan dalam pendinginan reaktor nuklir karena tanpa menggunakan alat bantu yang bergerak seperti pompa dan lain-lain, sehingga kerusakan pada alat bantu dapat dihindari. Kurangnya optimalisasi pemanfaatan dari sirkulasi alamiah, khususnya dalam rangka penghematan energi masih dirasakan belum optimal.

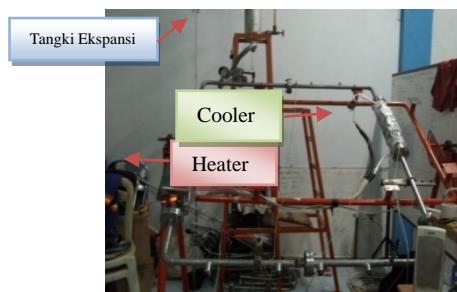
Para peneliti seperti Vijayan dan Nayak telah mempelajari keuntungan dan tantangan dari sirkulasi alamiah menggunakan untai atau *loop* terbuka (Vijayan P.K dkk, 1992). Misale dan kawan-kawan juga telah mempelajari sirkulasi alamiah satu fasa menggunakan untai kecil (Misale dkk, 2002). Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Andika yaitu USSA FT-01 yang menggunakan untai tertutup dengan diameter 3/4" dan 1" serta panjang *loop* 1500 mm mempelajari laju aliran massa dengan variasi sudut kemiringan 0°, 45°, 90°, menghasilkan aliran tertinggi pada sudut 90° yaitu 0,09804 kg/s (Andika Nurcahyo, 2010).

Makalah ini mengandung tujuan penelitian yaitu memperoleh watak kenaikan temperatur permukaan pipa dan fluida air didalamnya serta nilai perpindahan kalor yang terjadi akibat kenaikan daya *heater* berdasarkan variasi sudut kemiringan untai dan diameter pipa.

Metode Eksperimen

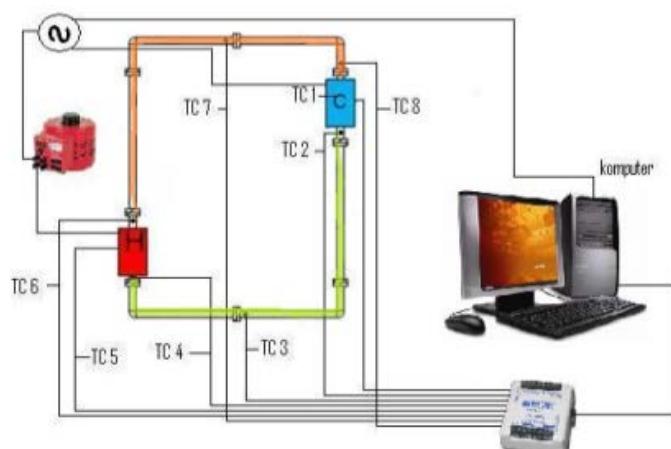
Fasilitas Eksperimen

Fasilitas eksperimen yang ada berada dilaboratorium EDfEC (Engineering and Device for Energy Conversion) di FT UIKA Bogor, telah dikonstruksi pada tahun 2009 dan dilakukan modifikasi pada panjang *loop* serta desain ulang *heater* pada tahun 2011. Untai simulasi sirkulasi alamiah (USSA FT-02) didesain berbentuk persegi panjang dengan panjang 1,5 meter dan lebar 1 meter berbahan SUS304 dengan diameter masing-masing 25,4 mm dan 19,05 mm serta tebal 3 mm. Sisi panjang terdiri dari 2 pipa yang pada ujung-ujungnya dipasang *flange*, tangki ekspansi untuk menjaga stabilitas tekanan pada untai, *heater*, dan *cooler*. Foto lengkap USSA FT-02 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Foto Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah

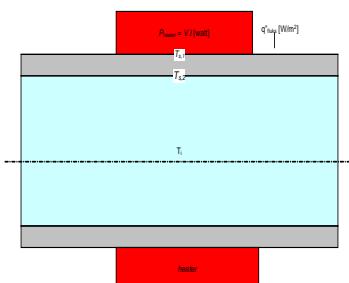
Variasi sudut kemiringan untai dilakukan dengan merubah kedudukan USSA FT-02 pada engsel yang bertumpu pada bearing pada suatu rangka penopang beban pipa CS. Busur derajat dipasang pada salah satu engsel untuk mengetahui posisi kemiringan untai. Gambar susunan lengkap dari fasilitas eksperimen seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Susunan rangakain USSA FT-02

Tegangan masuk divariasikan dengan menggunakan *slide regulator voltage* dan kemudian diukur menggunakan tang amper. Data pengukuran temperatur menggunakan termokopel tipe K, kemudian data pengukuran direkam melalui sistem akuisisi data

(DAS) WinDAQ T1000 dengan sampling data 1 data per-detik pada 8 kanal (dalam makalah ini data hanya ditampilkan untuk T_{s1} dan T_i). Gambar sistem pemanas atau *heater* untuk pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem pemanas atau *heater*

Prosedur Eksperimen

Eksperimen didahului dengan mengisi untai dengan air melalui katup *inlet* menggunakan selang air dan pompa sampai loop terisi penuh air dan tangki ekspansi terisi 75%, kemudian diberikan tekanan hidrostatik hingga mencapai 1 bar lebih (untuk menguji kebocoran). Setting sistem instrumentasi dan kelistrikan dilakukan setelah untai terisi air dan pengecekan adakah kebocoran listrik atau tidaknya dengan menggunakan test pen. Posisi sudut kemiringan untai dirubah berdasarkan sudut kemiringan yang ditentukan, dalam eksperimen ini yaitu 0° , 45° , dan 90° . Langkah pertama yang dilakukan yaitu memanaskan air pada tangki ekspansi mencapai lebih dari 70°C untuk mendapatkan kesetabilan tekanan, kemudian menghidupkan *cooler* hingga temperatur konstan sekitar $\pm 10^\circ\text{C}$. Setelah itu daya *heater* dinaikkan dengan memvariasikan tegangan masuk pada *slide regulator voltage*. Tegangan masuk dinaikkan mulai dari 20 volt dengan selisih 20 volt setiap kenaikan daya setiap 5 menit sampai dengan tegangan maksimal yaitu 220 volt, untuk setiap kenaikan tegangan dilakukan pengukuran arus menggunakan tang amper. Saat *heater* dihidupkan, maka DAS mulai merekam data. Eksperimen dilakukan untuk setiap perubahan sudut untai kemudian mengganti diameter pipa setelah selesai eksperimen semua sudut pada diameter $3/4"$ dan $1"$.

Perhitungan

Dalam teori kelistrikan dinyatakan bahwa besarnya daya merupakan perkalian antara tegangan (V) dengan arus (I). Besar tegangan dan arus didapatkan dari hasil pengukuran Voltmeter dan amperemeter pada *voltage regulator*. Daya *heater* ditunjukkan pada persamaan (1).

$$P = V \cdot I \quad \dots \dots \dots \quad (1),$$

dengan P [W] adalah daya, V [V] adalah tegangan, dan I [A] adalah arus. Setelah pada daya *heater* diketahui kemudian dilanjutkan dengan penentuan koefisien perpindahan konveksi air berdasarkan temperatur hasil pengukuran yang dihitung dengan persamaan (2) (James R., 2002).

$$h = 4,36 \times \frac{k}{D} \quad \dots \dots \dots \quad (2),$$

dengan h [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$] merupakan koefisien perpindahan kalor konveksi air, k [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$] adalah konduktivitas termal air yang didapat dari tabel propertis dengan melakukan interpolasi untuk mendapatkan konduktivitas termal air setiap perubahan temperatur, dan D [m] adalah diameter dalam pipa. Setelah koefisien perpindahan kalor konveksi air diketahui, kemudian digunakan untuk menghitung laju perpindahan kalor total. Sesuai hukum fourier tentang perpindahan kalor konduksi maka perpindahan kalor yang terjadi ditunjukkan pada persamaan (3) (J.P Holman, 1918).

$$q = -k(2\pi rl) \frac{dt}{dr} \quad \dots \dots \dots \quad (3),$$

dengan q [W] adalah perpindahan kalor konduksi, k [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$] adalah koefisien perpindahan kalor konduksi pipa SUS304, dan dt/dr adalah gradien temperatur. Perpindahan kalor total merupakan perpindahan kalor secara radial, maka persamaan (3) untuk arah radial pada pipa seperti ditunjukkan persamaan (4).

$$q = \frac{(T_{s1} - T_i)}{R_1 + R_2} \quad \dots \dots \dots \quad (4),$$

dengan T_{s1} [$^\circ\text{C}$] adalah temperatur permukaan luar pipa pada bagian *heater*, T_i adalah temperatur air pada pipa di bagian *heater*, R_1 adalah tahanan termal pipa, dan R_2 adalah tahanan termal air. Dengan analogi terhadap kasus dinding datar dan hukum ohm, maka R_1 yang merupakan tahanan termal ditunjukkan oleh persamaan (5).

$$R_1 = \frac{\ln(r_1 / r_2)}{2\pi kl} \quad \dots \dots \dots \quad (5),$$

dengan r_1 [m] adalah jari-jari luar pipa, r_2 [m] adalah jari-jari dalam pipa, dan l adalah panjang pipa yang terkena bagian *heater* untuk R_2 yaitu tahanan termal air ditunjukkan oleh persamaan (6).

$$R_2 = \frac{1}{h_{air} \cdot A} \quad \dots \dots \dots \quad (6),$$

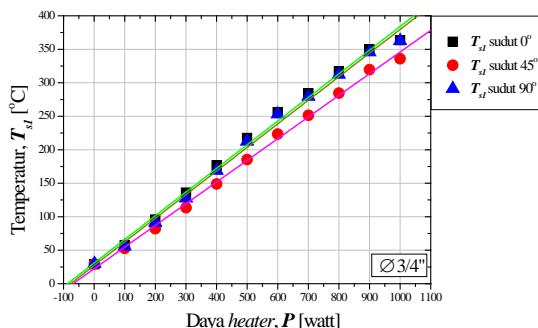
dengan A [m^2] adalah luas permukaan pipa bagian dalam. Kemudian untuk memperoleh perpindahan kalor total air persamaan (5) dan (6) disubtitusikan ke dalam persamaan (4), maka diperoleh persamaan seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (7).

$$q_{total} = \frac{(T_{s1} - T_i)}{\ln(r_1 / r_2)} + \frac{1}{2\pi k l} \cdot h_{air} \cdot A \quad \dots \quad (7),$$

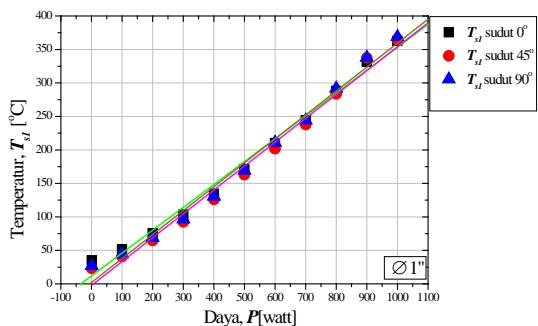
Hasil dan Pembahasan

Pengukuran perubahan temperatur di permukaan pipa

Kenaikan daya mengakibatkan kenaikan temperatur pada untai. Hasil pengukuran temperatur dilakukan pada 8 titik pengukuran, untuk penelitian ini hanya 2 titik saja yang ditampilkan. Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7 menyajikan hasil pengukuran T_{s1} dan T_i berdasarkan sudut kemiringan untai yaitu 0° , 45° , dan 90° pada diameter pipa $3/4''$ dan $1''$.



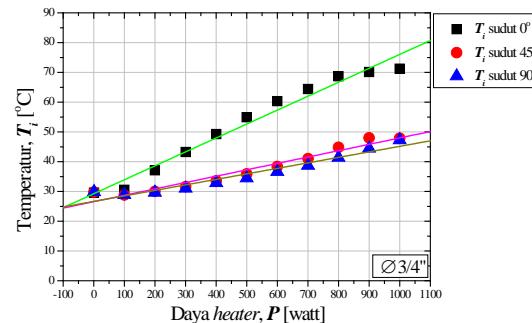
Gambar 4 Karakteristik perubahan temperatur permukaan pipa diameter $3/4''$ terhadap kenaikan daya heater



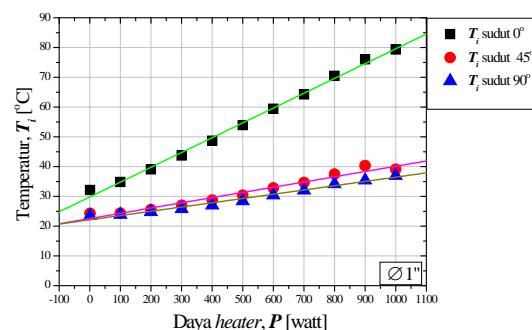
Gambar 5 Karakteristik perubahan temperatur permukaan pipa diameter $1''$ terhadap kenaikan daya heater

Gambar 4 dan Gambar 5 menjelaskan temperatur permukaan luar pipa (T_{s1}) diameter pipa $3/4''$ dan $1''$ pada bagian *heater* dapat dijelaskan bahwa, kenaikan temperatur yang terjadi pada seluruh sudut

kemiringan akibat kenaikan daya terjadi secara linear. Gambar 6 menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dirata-rata pada pipa diameter $3/4''$ lebih besar dari pada diameter $1''$.



Gambar 6 Karakteristik perubahan temperatur air di dalam pipa diameter $3/4''$ terhadap kenaikan daya heater



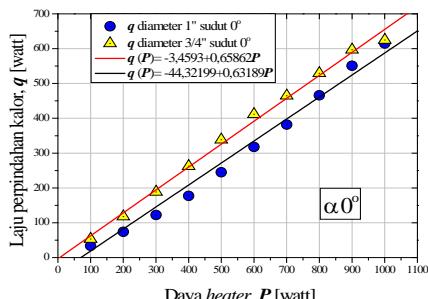
Gambar 7 Karakteristik perubahan temperatur air di dalam pipa diameter $1''$ terhadap kenaikan daya heater

Gambar 6 dan Gambar 7 memperlihatkan temperatur air pada bagian *heater* (T_i) dapat dijelaskan bahwa kenaikan temperatur terjadi secara linier. Pada sudut 0° kenaikan temperatur tertinggi dari pada temperatur yang pada sudut lainnya. Hal ini disebabkan oleh *heat transport* pada sudut 0° tidak terjadi dikarenakan temperatur pada bagian *heater* tidak terlalu dipengaruhi oleh temperatur *cooler*, maka untuk sudut 0° *heat loss* yang terjadi lebih kecil dari pada sudut kemiringan lainnya.

Efek Perubahan Sudut Kemiringan dan Beda Diameter Pipa Terhadap Laju Perpindahan Kalor di Bagian Heater

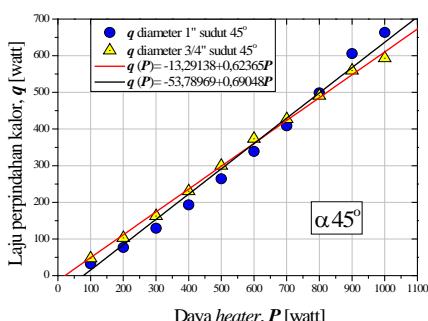
Berdasarkan hasil pengukuran temperatur permukaan luar pipa pada bagian *heater* dan temperatur air pada bagian *heater* yang ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, serta Gambar 6 dan Gambar 7 kemudian nilai konduktivitas termal SUS304 yang didapat dari tabel propertis sifat fisik material dan sifat fisik air dilakukan interpolasi berdasarkan temperatur. Konduktifitas termal air didapat dari

persamaan (2), kemudian data-data tersebut dimasukkan ke persamaan (7). Hasil perhitungan laju perpindahan kalor terhadap daya *heater* kemudian dilakukan perbandingan antara diameter pipa 3/4" dan 1" pada sudut kemiringan 0°, 45°, dan 90° berturut-turut ditunjukkan dalam bentuk kurva pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



Gambar 8 Perbandingan laju perpindahan kalor antara pipa berdiameter 3/4" dan 1" pada sudut kemiringan 0° terhadap kenaikan daya

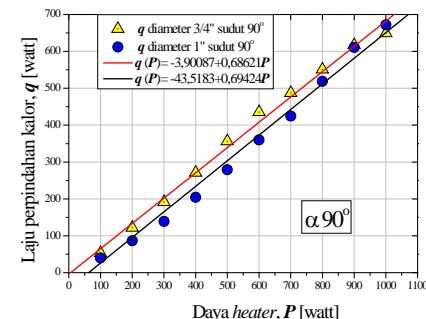
Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahwa laju perpindahan kalor dipengaruhi oleh kenaikan daya diameter pipa dan sudut kemiringan. Pada sudut 0° didapat bahwa laju perpindahan kalor rata-rata lebih besar pada diameter 3/4", dan terbesar pada diameter 3/4" dibanding dengan diameter pipa 1". Hal ini dipengaruhi oleh luas penampang, sehingga kalor yang dibawa melalui air dan juga pipa pada diameter 3/4" tidak begitu besar. Pada kenaikan daya 1000 watt terjadi penurunan laju perpindahan kalor, dikarenakan temperatur *cooler* sudah merambat atau terdistribusi sehingga laju perpindahan kalor pada pipa berdiameter 3/4" menurun.



Gambar 9 Perbandingan laju perpindahan kalor antara pipa berdiameter 3/4" dan 1" pada sudut kemiringan 45° terhadap kenaikan daya

Berdasarkan Gambar 9 menunjukkan bahwa laju perpindahan kalor yang dipengaruhi oleh kenaikan daya. Pada sudut 45° didapat bahwa laju perpindahan kalor rata-rata hampir sama untuk tiap-tiap diameter, akan tetapi untuk perpindahan kalor terbesar didapat oleh diameter 1". Pada sudut kemiringan 45° terjadi keuniikan dimana pada daya 550 watt terjadi persilangan pada perpindahan kalor. Hal ini

dipengaruhi oleh ketebalan tekanan pada tangki ekspansi dengan ditandai temperatur pada tangki ekspansi saat eksperimen pada diameter 1" terlalu besar dikarenakan tidak terdapat alat kontrol daya pada *heater* ditangki ekspansi sehingga temperturnya terlalu tinggi dan mempengaruhi laju aliran fluida yang membawa kalor. Pada selisih temperatur terhadap daya menunjukkan bahwa efek termohidrolik mempengaruhi laju perpindahan kalor di bagian *heater* ke air, sehingga kalor yang diterima oleh air dari *heater* terjadi persilangan pada perpindahan kalor dan juga efek pendinginan pada luas penampang mempengaruhi pendinginannya, lebih besar luas penampang maka pendinginan pun lebih kecil begitupun pula sebaliknya.



Gambar 10 Perbandingan laju perpindahan kalor antara pipa berdiameter 3/4" dan 1" pada sudut kemiringan 90° terhadap kenaikan daya

Berdasarkan Gambar 10 menunjukkan bahwa laju perpindahan kalor yang dipengaruhi oleh kenaikan daya. Untuk sudut 90° didapat bahwa laju perpindahan kalor rata-rata lebih besar pada diameter 3/4", akan tetapi untuk perpindahan kalor terbesar didapat oleh diameter 1". Hal ini menunjukkan bahwa laju perpindahan kalor dibagian *heater* dipengaruhi juga oleh luas penampang yang menyebabkan resistansi atau hambatan termal lebih kecil pada diameter 3/4". Laju perpindahan kalor terbesar didapat oleh pipa berdiameter 1", hal disebabkan oleh temperatur *cooler* pada pipa berdiameter 1" mampu mendinginkan pada temperatur yang tinggi dikarenakan luas penampang juga mempengaruhi pendinginan sehingga terjadi kenaikan yang signifikan pada saat *heater* mencapai temperatur tertinggi yang mengakibatkan selisih temperturnya lebih tinggi, begitupun pula berbanding sebaliknya pada pipa berdiameter 3/4" di sudut 90°. Pada selisih temperatur terhadap daya antara diameter 3/4" dan 1" pada sudut 90° menunjukkan bahwa efek termohidrolik mempengaruhi laju perpindahan kalor di bagian *heater* ke air.

Kesimpulan

Hasil studi eksperimental laju perpindahan kalor pada bagian *heater* akibat kenaikan daya berdasarkan variasi sudut kemiringan dan diameter pipa, menyimpulkan bahwa:

1. Kenaikan temperatur pada permukaan luar pipa dan temperatur air dalam untai di bagian *heater* dipengaruhi oleh kenaikan daya dan sudut kemiringan untai, dimana sudut kemiringan untai menyebabkan perbedaan ketinggian antara *heater* dan *cooler* berbeda-beda pada setiap variasi sudut.
- 2) Laju perpindahan kalor disebabkan oleh kenaikan temperatur akibat kenaikan daya *heater*. Laju perpindahan kalor pada diameter pipa 3/4" tertinggi pada sudut 0°, 45°, 90° yaitu; 625,04 watt, 593,28 watt, dan 649,29 watt, kemudian pada diameter 1" yaitu; 614,73 watt, , 663,25 watt, dan 672,04 watt. Analisis efek perubahan sudut dan beda diameter terhadap laju perpindahan kalor di bagian *heater* pada tiap sudut kemiringan dan diameter pipa dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: gaya apung akibat perbedaan kerapatan dibagian *heater* dan *cooler* dari perbedaan temperatur yang menyebabkan aliran air sehingga memindahkan kalor, luas permukaan pipa dan pada pipa 3/4" yang lebih kecil mempunyai perpindahan kalor lebih besar dari pada pipa berdiameter 1", sehingga kalor yang dipindahkan lebih cepat kemudian sudut kemiringan yang menyebabkan perbedaan ketinggian antara *heater* dan *cooler*, serta efek termohidrolik juga mempengaruhi perpindahan kalor pada tiap sudut kemiringan dan diameter pipa, hal ini dibuktikan oleh selisih kenaikan temperatur (ΔT) antara temperatur luar pipa (T_{sl}) dan temperatur air dalam pipa (T_i) dibagian *heater* yang memiliki pola yang berbeda pada tiap sudut kemiringan dan memiliki pola yang sama dengan perpindahan kalornya.

Ucapan Terimakasih

Penulis menucapkan terima kasih kepada kelompok riset USSA FT-01 yang banyak membantu dalam referensi serta desain. Para teman-teman yang tergabung dalam EdfEC grup yang masih TA maupun alumni, kami ucapkan terima kasih atas kerja samanya dan kerja kerasnya. Terimakasih kepada Hibah Bersaing Nasional DIKTI TA.2011 atas dukungan dananya.

Notasi

P	daya <i>heater</i>	[W]
V	tegangan	[V]
I	arus	[A]
R_1	tahanan termal pipa	
R_2	tahanan termal fluida air	
A	luas penampang	[m ²]
T_s	temperatur luar pipa di	[°C]
i	bagian <i>heater</i>	
T_i	temperatur air dibagian <i>heater</i>	[°C]
h	koefisien perpindahan kalor konveksi air	[W/m ² .K]
k	koefisien perpindahan kalor bahan	[W/m.K]
q	laju perpindahan kalor total	[W]

Daftar Pustaka

Mulya Juarsa,, dkk, *Studi Eksperimental Laju Aliran Massa Air Berdasarkan Perubahan Sudut Kemiringan Untai Pada Kasus Sirkulasi Alamiah Menggunakan Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah (USSA-FT01)*, Jurnal Material dan Energi Indonesia, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Padjajaran, Vol. 01, 22-30, 2011.

Vijayan P.K, Nayak A.K dkk, *Effect of loop diameter on the stability of single phase natural circulation in rectangular loops*, Proc. 5th Int. Topical Meet on *Reactor Thermalhydraulics*, Nureth-5, Salt Lake City, UT, Vol.1, pp.261-267, 1992.

Misale M, dkk, *Sistemi a Circolazione Naturale*, Department of Production Engineering, Thermoenergetics and Mathematical Models, University of Genoa, Genoa, Italy,2002.

Nurcahyo, Andika, *Analisis Laju Aliran Massa Air Berdasarkan Variasi Sudut Kemiringan Pada Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah (USSA FT-01)*, [Skripsi], Fakultas Teknik, Unversitas Ibn Khaldun Bogor, Bogor, 2010..

J.P Holman, *Heat Transfer (fifth edition)*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1981.

James R. dkk, *Dasar-dasar Fenomena Transport volume 1 Transfer Momentum edisi ke empat*, diterjemahkan oleh: _____, Erlangga, Jakarta, 2002