

Pengaruh Fraksi Hampa Pada Pipa Sempit Dengan Permukaan Dalam Berbentuk Spiral Terhadap Perpindahan Kalor Dua Fasa Pola Aliran Gelembung

Wardoyo¹, Supria Wiganda², Arif Wahrudin³

Educational Mechanical Engineering, State University of Jakarta (UNJ)¹
wardoyo_mt@yahoo.co.id

Educational Mechanical Engineering, State University of Jakarta (UNJ)²
Studen of Educational Mechanical Engineering, State University of Jakarta (UNJ)³

ABSTRAK

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, jumlah penduduk Indonesia meningkat sangat pesat dari tahun 2000 hingga 2010 sebesar 31.376.731 jiwa. Peningkatan jumlah penduduk berbanding lurus dengan konsumsi listrik. Untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik pemerintah membangun berbagai pembangkit listrik, salah satunya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Upaya peningkatan potensi efisiensi PLTU dilakukan dengan meningkatkan koefisien perpindahan kalor dua fasa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh debit air, debit udara dan kemiringan pipa terhadap koefisien perpindahan kalor dua fasa pola aliran gelembung. Penelitian ini dilakukan dengan mengalirkan udara dengan debit 20 cm³/menit, 40 cm³/menit dan 60 cm³/menit. Mengalirkan air dengan debit 2 LPM, 4 LPM dan 6 LPM. Peneliti menggunakan pipa tembaga panjang 2.200 mm dengan diameter dalam 14 mm dan diameter luar 16 mm. Pipa tersebut dipanaskan dengan nikelin berdiameter 0,8 mm yang dibuat melingkari pipa sepanjang 2.000 mm. Pada pipa tersebut dipasang 4 buah termokopel untuk membaca suhu yaitu input air, output air, input dinding pipa tembaga, dan output dinding pipa tembaga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh positif fraksi hampa pada pipa sempit dengan permukaan dalam berbentuk spiral terhadap koefisien perpindahan kalor. Pertambahan nilai fraksi hampa menghasilkan gelembung yang jumlahnya lebih banyak, keberadaan permukaan dalam berbentuk spiral mengakibatkan gerakan gelembung semakin acak dan lebih merata pada permukaan melintang pipa. Dua faktor ini menghasilkan peningkatan koefisien perpindahan kalor.

Kata kunci: Koefisien Perpindahan Kalor, Dua Fasa, Aliran Gelembung

1. Pendahuluan

Aliran dua –fasa merupakan bagian dari aliran multi-fasa, studi tentang aliran dua fasa dapat dibedakan menjadi beberapa bagian, yaitu : wujud fasa (udara–cair, cair–padat, dan padat–padat), arah aliran (searah ke atas, searah ke bawah, dan berlawanan arah), dan kedudukan saluran (mendatar, tegak atau miring).

Berbagai fenomena perpindahan kalor aliran dua fasa banyak dijumpai di sekitar kehidupan kita sehari-hari maupun di dalam industri, seperti pada ketel uap, kondensor, alat penukar kalor (*heat exchangers*), reaktor nuklir, pencairan gas alam. Untuk aliran dua fasa dua komponen dapat kita jumpai pada industri pengeboran minyak, dalam proses pengeboran diperoleh gas alam dan minyak mentah yang mengalir secara bersamaan di dalam pipa. Perpindahan kalor yang terjadi

ditentukan oleh koefisien perpindahan kalor yang dalam hal ini dipengaruhi oleh hubungan yang sangat kompleks antara properti fluida, dimensi, kedudukan pipa dan kondisi permukaan pipa serta pola aliran dua fasa yang terjadi.

Inovasi-inovasi yang dilakukan terhadap perpindahan kalor dari alat penukar kalor bertujuan untuk mengatasi beberapa permasalahan seperti laju perpindahan kalor, faktor gesekan, karakteristik aliran fluida, luas permukaan perpindahan kalor, daya pompa, serta jenis material yang digunakan untuk memindahkan kalor pada penukar kalor.

Clemen C. tang dan Afshin J Ghajar (2007) meneliti perpindahan kalor dua fasa air-udara dengan berbagai pola aliran pada pipa miring mulai dari posisi Horisontal, 2^o, 5^o, 7^o menggunakan pipa *stainless steel* berdiameter 27,9 mm, perbandingan panjang

dan diameter 95 dengan jumlah total data yang dihasilkan 763 data. Selanjutnya korelasi yang dihasilkan divalidasi dengan 6 korelasi yang dihasilkan beberapa peneliti sebelumnya dan disimpulkan bahwa korelasi yang dihasilkan akurasi masuk akal ($\pm 30\%$) serta dapat diaplikasikan untuk beberapa pola aliran dan sudut kemiringan pipa ($0^0, 2^0, 5^0, 7^0$)

Ishak, et al meneliti tentang pengaruh ketebalan *inner-helical fin* terhadap performa dan karakteristik pada *head exchanger* dengan ketebalan *inner-helical fin* 1mm, 2mm dan 3mm. Secara keseluruhan laju perpindahan kalor dan bilangan Nusselt mengalami peningkatan berturut-turut sebesar 148,023%, 152,164% dan 156,759% dari *plain tube* pada laju aliran volumetrik air panas yang sama 900lpm. Pada debit yang sama (900lpm) faktor gesekan juga mengalami peningkatan. Untuk *inner-helical fin* dengan ketebalan $t = 3\text{mm}$ faktor gesekan mengalami peningkatan rata-rata 63% dari *plain tube* tepatnya pada $f = 0,093$.

Berbagai upaya sudah dilakukan untuk memprediksi dinamika fluida dan koefisien perpindahan kalor pada aliran dua fasa dengan beberapa bentuk pola aliran telah banyak dilakukan secara analitis maupun eksperimental, namun pada aliran dua fasa dengan kedudukan pipa horisontal yang berkontur ulir di dalam belum begitu banyak literatur yang membahas. Fenomena dinamika fluida dan perpindahan kalor aliran dua fasa pada pipa berkontur ulir dalamnya dengan variasi kemiringan pipa $0^0, 10^0, 20^0, 30^0, 40^0, 50^0$ dari posisi horisontal menarik untuk diteliti.

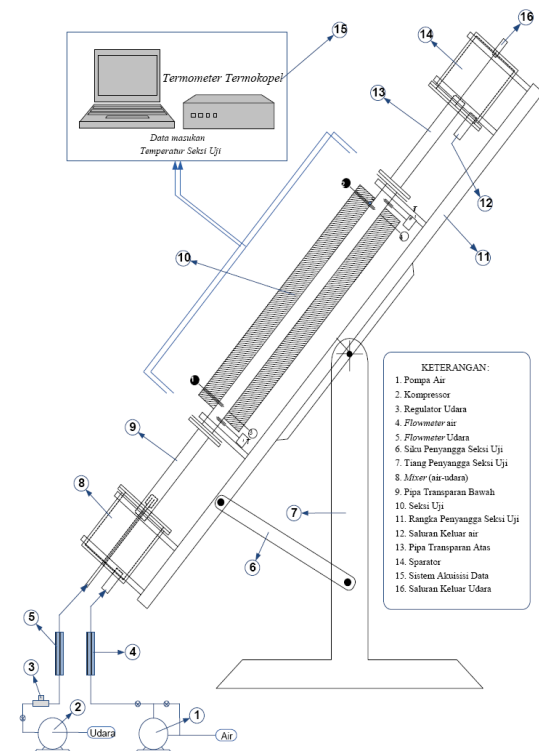
2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen, dilakukan di Laboratorium Otomotif, Jurusan Otomotif Universitas Negeri Jakarta. Peneliti merancang desain sebuah alat untuk membantu jalannya penelitian ini, skemanya seperti yang terlihat pada gambar-1. Sebagai seksi uji dipilih pipa tembaga berdiameter 14mm dengan panjang keseluruhan 2200mm, panjang yang seksi uji yang dipanaskan 2000m.

Pemanas yang digunakan terbuat dari kawat nikelin berdiameter 0,9mm yang dibungkus cincin keramik berdiameter 5mm, selanjutnya dibungkus dengan sabuk asbes

setebal 15mm, lapisan berikutnya glaswoll setebal 25mm, dan lapisan selanjutnya aluminium foil sebanyak tiga lapis. Untuk menjaga teperatur seksi uji pada nilai tertentu digunakan thermostat yang akan memutus aliran listrik ke pemanas jika temperatur yang diinginkan telah tercapai.

Air yang digunakan adalah air tanah dari sumur yang berada disekitar Laboratorium Otomotif, setelah melewati seksi uji terparatur air akan naik sehingga tidak disirkulasikan lagi. Udara yang digunakan bersumber dari kompressor yang terletak di Laboratorium Otomotif.



Gambar-1. Skema seksi uji

2.1 Metode Pengumpulan Data

Gelembung udara pada percobaan ini sepenuhnya dihasilkan oleh pembangkit gelembung *airator* aquarium yang dipasang pada *mixer*, diharapkan gelembung yang terbentuk dapat menyebar merata dalam aliran. Untuk mengamati bentuk dan distribusi gelembung dalam aliran, pada alat percobaan dipasang pipa transparan pada *inlet* dan *outlet* seksi uji.

Pada pipa tembaga yang digunakan sebagai seksi uji panjangnya 2200 mm dan berdiameter 14 mm dipasang lima

termokopel untuk mengukur temperatur dinding pipa dan lima termokopel untuk mengukur temperatur fluida pada lima titik. Pemanas listrik yang digunakan berkekuatan maksimum 2,2 kW. Temperatur aliran diukur dengan dua termokopel dipasang ditengah-tengah aliran pada *inlet* dan *outlet* seksi uji. Pipa tembaga dipanaskan hanya sampai temperatur jenuh fluida, agar tidak terjadi *nucleate boiling* yang akan mengganggu aliran gelembung yang sedang diteliti.

Debit aliran tiap fasa diatur dengan kran dan regulator serta diukur dengan *flowmeter*. Keseluruhan peralatan percobaan seperti terlihat pada gambar - 1.

2.2 Metode Analisis Data

Secara eksperimental, koefisien perpindahan kalor dua fasa dapat ditentukan dari hukum Newton tentang pendinginan, yaitu:

$$h_{tp} = \frac{q''}{T_w - T_f} \dots\dots\dots (13)$$

dengan :

- q'' = fluks kalor (W/m²)
- T_w = suhu dinding saluran
- T_f = suhu fluida

Fluks kalor didefinisikan sebagai besarnya kalor yang diserap oleh fluida pada saat mengalir di sepanjang seksi uji persatuan luas penampang yang dilaluinya, sehingga besarnya fluks kalor dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$q'' = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (14)$$

dengan :

- Q = Kalor yang dapat diserap oleh fluida
- A = Luas permukaan dalam pipa uji

Besarnya kalor yang dapat diserap oleh fluida diperoleh dari persamaan berikut :

$$Q = \dot{m} c_{p_{tp}} (T_{out} - T_{in}) \dots\dots\dots (15)$$

dengan :

- \dot{m} = Laju aliran massa total
- T_{in} = Temperatur fluida masuk seksi uji
- T_{out} = Temperatur fluida keluar seksi uji
- c_{p_{tp}} = Kalor jenis dua fasa

$$c_{p_{tp}} = \omega_a c_{p_a} + \omega_l c_{p_l} \dots\dots\dots (16)$$

dengan

- ω_a = fraksi massa udara

$$\omega_a = \frac{\rho_a}{\rho_a + \rho_l} \dots\dots\dots (17)$$

ω_l = fraksi massa air

$$\omega_l = \frac{\rho_l}{\rho_a + \rho_l} \dots\dots\dots (18)$$

3. Hasil dan Pembahasan

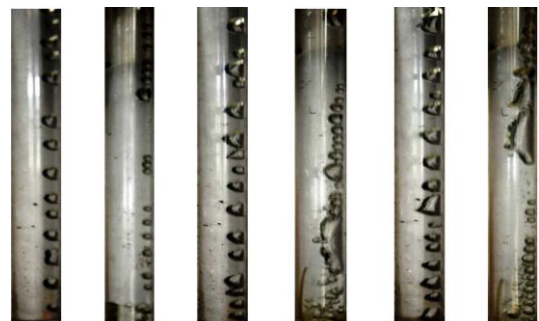
3.1 Bentuk pola aliran

Variasi bentuk pola aliran berubah seiring dengan pertambahan fraksi hampa. Hal ini dimungkinkan karena semakin besar fraksi hampa, semakin besar pula volume udara yang masuk seksi uji.

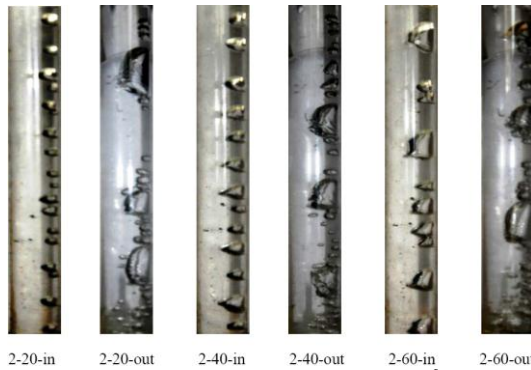
Pada sisi masuk seksi uji bentuk gelembung cenderung bulat membesar, setelah melewati seksi uji dan gelembung terbentur spiral yang terpasang di dalamnya sehingga gelembung pecah menjadi butiran yang lebih kecil. Akibat lain dari benturan gelembung dengan spiral yang ada dalam seksi uji menyebabkan butiran gelembung lebih menyebar ketengah pipa.



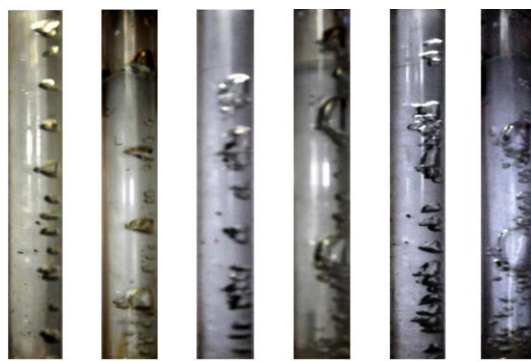
Gambar-2. Sudut kemiringan pipa 0°



Gambar-3. Sudut kemiringan pipa 10°



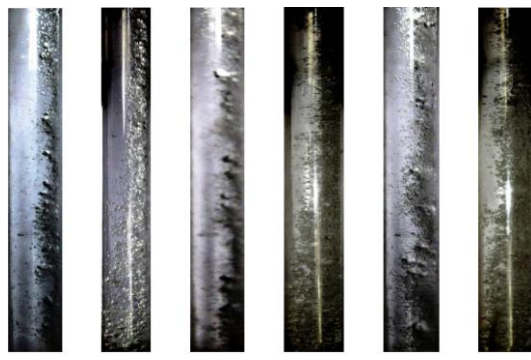
Gambar-4. Sudut kemiringan pipa 20°



Gambar-5. Sudut kemiringan pipa 30°



Gambar-6. Sudut kemiringan pipa 40°



Gambar-7. Sudut kemiringan pipa 50°

Pada saat posisi pipa horizontal, gelembung udara mengalami gaya pengapungan ke atas, tegak lurus terhadap arah aliran air dalam pipa, sehingga gelembung mengalir di sisi dalam bagian atas sepanjang pipa. Gerakan gelembung bergesekan dengan dinding pipa dan tidak lancar. Gelembung yang awalnya keluar dari aerator aquarium berbentuk butiran halus kemudian terjadi penggabungan sehingga berukuran lebih besar. Dengan ada penghalang berupa spiral di dalam pipa, maka gelembung pecah dan sedikit bergeser ke tengah. Sesaat setelah gelembung melewati spiral terjadi penggabungan kembali dan berukuran lebih besar.

Pada penelitian ini sudut kemiringan pipa di variasi mulai posisi horizontal(0°), 10°, 20°, 30°, 40°, 50°. Semakin bertambah sudut kemiringan pipa maka gaya pengapungan akan semakin sejajar dengan arah aliran air dalam pipa, hal ini menyebabkan pergerakan gelembung akan semakin lancar, butiran yang terbentuk berukuran semakin kecil dan gerakannya akan semakin ke tengah di sepanjang pipa.

3.2 Koefisien perpindahan kalor dua fasa

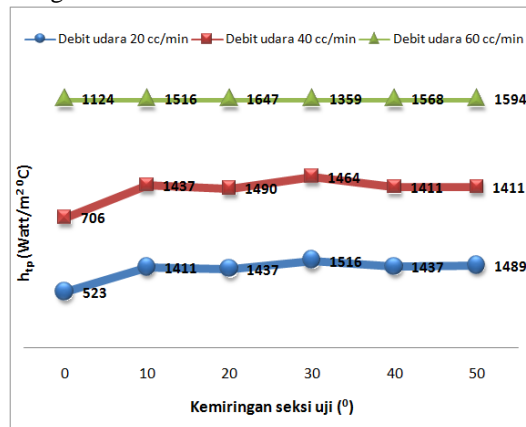
Setelah dilakukan perhitungan secara seksama diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 1: Perpindahan kalor dua fasa pada pipa miring

Debit udara (cc/min)	Kemiringan pipa	Fluks kalor (q")	H _{fp} (Watt/m ² °C)
20	0°	1,059.76	522.62
	10°	2,861.36	1,411.08
	20°	2,914.35	1,437.21
	30°	3,073.32	1,515.61
	40°	2,914.35	1,437.21
	50°	3,020.33	1,489.48
40	0°	1,430.85	705.63
	10°	2,914.70	1,437.39
	20°	3,020.69	1,489.65
	30°	2,967.70	1,463.52
	40°	2,861.71	1,411.25
	50°	2,861.71	1,411.25
60	0°	2,279.04	1,123.91
	10°	3,074.06	1,515.97
	20°	3,339.06	1,646.57
	30°	2,756.05	1,359.15
	40°	3,180.06	1,568.25
	50°	3,233.06	1,594.38

Untuk memudahkan menganalisa kecenderungan perubahan koefisien perpindahan kalor dua fasa, selanjutnya hasil

penelitian ini disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar-8. Skema seksi uji Debit air 2 lpm

Berdasarkan grafik di atas, pengaruh kemiringan seksi uji menghasilkan koefisien perpindahan kalor yang bervariasi. Seperti yang terlihat pada debit air 6 liter/menit menghasilkan koefisien perpindahan kalor tertinggi dibandingkan debit air lainnya. Dan pada debit air 4 liter/menit koefisien perpindahan kalor tertinggi ada pada sudut 20° pada sudut 30° dan seterusnya mengalami penurunan koefisien perpindahan kalor.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian eksperimen, analisa perhitungan dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

Terdapat pengaruh kemiringan pipa berulir-dalam terhadap koefisien perpindahan kalor.

Penambahan debit udara menghasilkan gelembung yang jumlahnya lebih banyak dengan ukuran yang lebih besar.

Penambahan debit air menghasilkan gelembung yang lebih sedikit jumlahnya dengan ukuran yang mengecil.

Kemiringan pipa menghasilkan gelembung dengan posisi dan bentuk yang bervariasi karena semakin besar sudut kemiringan pipa, semakin kecil gaya gravitasi yang mempengaruhi gelembung sehingga bentuk gelembungnya menjadi lebih pipih.

Penambahan debit udara pada debit air yang tetap menghasilkan peningkatan koefisien perpindahan kalor.

Semakin acak posisi gelembung, perpindahan kalor yang terjadi akan semakin baik. Hal ini karena perpindahan kalor dari dinding pipa ke gelembung lalu menuju ke air akan semakin cepat.

Semakin pipih bentuk gelembung yang terbentuk, perpindahan kalor yang terjadi semakin

baik. Hal ini karena luas penampang gelembung yang semakin besar sehingga proses perpindahan kalor menjadi lebih cepat.

Debit air 6 liter/menit pada sudut 0° menghasilkan koefisien perpindahan kalor yang terbesar dibandingkan debit air yang lain.

Daftar Pustaka

- [1] Artono, Raldi K., Sasanti Proborini. *Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*. Jakarta : Salemba Teknik, 1994.
- [2] Ghajar, Afsin J., Clement C. Tang. "Advances in Void Fraction Flow Pattern Maps and Non-Boiling Heat Transfer Two-Phases Flow in Pipes with Various Inclination," *Advance in Multiphase Flow and Heat Transfer*, Vol.1 (2009), hal. 1-52.
- [3] Ghajar, Afsin J., Clement C. Tang. "Validation of a General Heat Transfer Correlation For Non-Boiling Two Phase Flow with Different Flow Patterns and Pipe Inclination Angles," *ASME-JSME Thermal Engineering Summer Heat Transfer Conference*, Vol.2 (Januari, 2007), hal. 205-218.
- [4] Ghajar, Afsin J., Clement C. Tang. "Void Fraction and Flow Patterns of Two-Phase in Upward and Downward Vertical and Horizontal Pipes," *Advance in Multiphase Flow and Heat Transfer*, Vol.4 (2012), hal. 175-201.
- [5] Incopera, Frank P. *Introduction to Heat Transfer*. Indiana: John Wiley & Sons, 2011.
- [6] Kreith, Frank. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, terj Arko Prijono. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1997.
- [7] Lunde, Peter J. *Solar Thermal Engineering : Space Heating and Hot Water Systems*. New York: John Wiley & Sons, 1980.
- [8] Mahasiswa Pascasarjana Departemen Teknik Mesin FTUI. *Perpindahan Kalor Pendidihan dan Aliran Dua Fase*. Depok: Departemen Teknik Mesin-Fakultas Teknik Universitas Indonesia. 2012.

- [9] Usman, Ishak. “Pengaruh Ketebalan *Inner-Helical Fin* Terhadap *Characteristic of Performance* Pada *Head Exchanger*,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol.1 (2010), hal 108-114.