

Efek Perbedaan Diameter Pipa dan Beda Ketinggian Terhadap Rugi Tekanan di Sepanjang Pipa Selama Aliran Sirkulasi Alamiah

Mochammad Farid^{1,2}, Budi Gusnawan Juarsa^{1,2}, Rizqi Faizal Muttaqin^{1,2},
Sigit Herlambang^{1,2}, Januar Akbar^{1,2}, Yogi Sirodz Gaos², Edi Marzuki², Mulya Juarsa²

¹Mahasiswa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. KH. Soleh Iskandar Bogor
Mochamed.farid@gmail.com

²*Engineering Development for Energy Conversion and Conservation (EDfEC)*
Research Laboratory
Fakultas Teknik Univeristas Ibn Khaldun Bogor
Jl. KH. Soleh Iskandar Bogor

Abstrak

Optimalisasi pemanfaatan energi untuk efisiensi dilakukan selain dengan merancang bangun alat konversi energi yang baru, juga memanfaatkan hukum-hukum alam yang berlaku seperti fenomena sirkulasi alamiah. Konsep sirkulasi alamiah dapat diimplementasikan dalam kehidupan sehari-hari dalam rangka optimalisasi sumber energy dan energi buang. Selain itu, sistem pasif dalam reaktor nuklir juga memanfaatkan fenomena natural sirkulasi, untuk melakukan tanpa menggunakan pompa. Studi eksperimental dilakukan untuk memahami fenomena natural sirkulasi dengan menghitung rugi tekanan berdasarkan data perubahan temperatur pada bagian dingin dan bagian panas di Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah (USSA FT-02). Konstruksi USSA FT-02 terdiri dari komponen pipa SUS 304 berdiameter 1 Inchi dan 0,75 Inchi, *heater*, *cooler* dan tangki ekspansi. Hasil eksperimen dan perhitungan menggunakan beberapa korelasi menunjukkan, rugi tekanan memiliki harga ketebalan pada pipa diameter 1 Inchi yang secara berturut-turut adalah 0,044 mbar, 0,054 mbar, 0,063 mbar dan 0,21 mbar sedangkan pada pipa diameter 0,75 Inchi adalah 0,066 mbar, 0,076 bar, 0,11 mbar dan 0,29 bar berdasarkan perubahan ketinggian antara *heater* dan *cooler* yaitu 0,257 meter, 0,389 meter, 0,476 meter dan 0,55 meter serta perbedaan diameter yaitu diameter 1 Inchi dan 0,75 Inchi sedangkan pengaruh terhadap kecepatan aliran air menyebabkan kenaikan dari $2,6 \times 10^{-3}$ m/s hingga $1,4 \times 10^{-2}$ m/s sehingga rugi tekanan tertinggi terjadi pada pipa diameter 0,75 Inchi untuk ketinggian 0,55 meter antara *heater* dan *cooler* akibat dari perbedaan temperatur pada pipa diameter 0,75 Inchi lebih besar karena diameter pipa yang lebih kecil yaitu pipa diameter 0,75 Inchi akan menyebabkan perpindahan kalor yang besar dibandingkan dengan pipa diameter 1 Inchi. Efek gaya-gaya yang mempengaruhi rugi tekanan memiliki karakteristik berbeda untuk setiap perbedaan ketinggian *cooler* dan *heater*.

Kata kunci: ketinggian, laju aliran, rugi tekanan, diameter, pipa

Pendahuluan

Sebuah sistem yang salah satu bagiannya dipanaskan dan bagian lainnya didinginkan, akan menyebabkan kerapatan air di bagian yang panas lebih rendah dibandingkan dengan bagian dingin. Perbedaan tekanan hidrostatik karena kerapatan akan mengakibatkan gradien kerapatan yang menggerakkan air untuk mengalir di dalam *loop*. Kemampuan pergerakan molekul air karena beda kerapatan dan adanya perbedaan ketinggian akan menimbulkan aliran di dalam *loop*. Stabilitas aliran diharapkan akan timbul apabila terjadi perbedaan temperatur yang stabil antara bagian dingin dan bagian panas. Aliran tanpa adanya intervensi mekanik seperti pompa atau kendali aliran, disebut fenomena aliran sirkulasi alamiah. Aplikasi dari sirkulasi alamiah seperti pada teknologi pemanas surya, konversi energi, pembangkit listrik tenaga nuklir dan termal control untuk komponen elektronik (Juarsa, Mulya, dkk, 2011).

Beberapa penelitian terkait fenomena sirkulasi alamiah seperti yang dilakukan oleh Welander (Vijayan P.K., Nayak A.K., 2007) telah mempertimbangkan aspek penggerak (*driven*) dalam aliran yang timbul karena gaya apung (*buoyancy*), perbedaan tekanan dan hambatan oleh gaya gesekan pada pipa. Kasus fluida laminar pada fasa tunggal oleh Dobson (Vijayan P.K., 207), menjelaskan skema formulasi yang sederhana yang mampu menangkap perilaku non-liner dan transien pada loop. Instabilitas aliran yang muncul belum dapat dijelaskan. Penelitian lainnya seperti yang dilakukan oleh K.Chen (Setianto, Agus Putra, 2010) dan P.K. Vijayan (M. Misale et al., 2006) menjelaskan instabilitas osilasi aliran dan stabilitas yang muncul pada loop yang dilakukan melalui eksperimen dan simulasi komputer, meskipun kondisi batasnya belum didefinisikan secara baik. Instabilitas aliran dapat disebabkan faktor rugi tekanan yang muncul di dalam pipa. Perubahan tekanan dalam aliran fluida terjadi karena adanya perbedaan ketinggian, perbedaan kecepatan aliran fluida akibat perubahan atau perbedaan penampang, dan gesekan fluida.

Metode Eksperimental

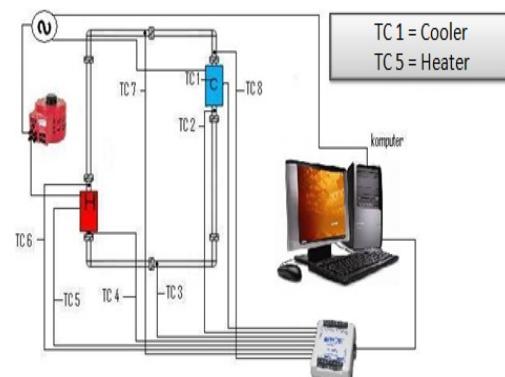
Fasilitas Eksperimen

Fasilitas eksperimen yang disebut Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah (USSA FT-02) dibuat dengan bentuk segi empat, dengan panjang 1,2 meter dan lebar 1,0 meter dibuat dengan menggunakan pipa SUS 304 dengan diameter 1 Inchi (2,54 cm). Sisi panjang terdiri dari 2 pipa dan sisi lebar terdiri dari 2 pipa yang pada setiap ujungnya dipasang *flange*, dengan tujuan agar ukuran untai dapat di variasikan sesuai kebutuhan eksperimen. Perubahan sudut

kemiringan untai dilakukan dengan merubah kedudukan USSA FT-02 pada suatu penopang persegi empat (berbahan CS), dimana penopang disambungkan dengan engsel. Busur derajat dipasang pada salah satu engsel dengan tujuan untuk mengetahui posisi sudut kemiringan untai pada saat dilakukan variasi sudut. Ketinggian (H) diperoleh dengan persamaan,

$$H(\alpha) = L \sin \alpha$$

dengan L (meter) adalah jarak pada pipa antara *cooler* dan *heater*, α adalah sudut kemiringan untai.



Gambar 1 Fasilitas eksperimen USSA FT-02

Sistem instrumentasi adalah dengan mengendalikan temperatur melalui *regulator voltage* yang terhubung dengan *heater*, dimana tegangan *heater* akan dinaikkan setiap selang waktu 5 menit. Data pengukuran temperatur menggunakan termokopel tipe K, kemudian data pengukuran direcord melalui sistem akuisisi data (DAS) WinDAQ T1000 dengan *sampling rate* 1 data per-detik pada 8 kanal (dalam makalah ini data hanya ditampilkan untuk T_H dan T_C). Gambar 2 menunjukkan fasilitas eksperimen USSA FT-02.

Prosedur eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan mengisi air terlebih dahulu menggunakan katup *inlet*, kemudian *preheater* pada tangki ekspansi dinyalakan dengan tujuan memberikan tekanan secara hidrostatik hingga mencapai 1 bar (untuk menguji kebocoran). Setelah mencapai tekanan 1 bar dan tidak terjadi kebocoran, eksperimen dilanjutkan dengan men-setting alat instrumentasi. Kemudian posisi untai dirubah berdasarkan sudut kemiringan yang ditentukan. Dalam eksperimen ini menggunakan sudut 30° , 45° , 60° dan 90° . Langkah pertama menghidupkan *cooler* hingga temperatur minimal tercapai, sekitar -12°C . Kemudian tegangan *heater* dinaikkan secara gradual melalui *regulator voltage*. Persentase daya adalah sebesar 20% untuk setiap 5 menit. Daya maksimal *heater* adalah 300 watt. Saat *heater* dihidupkan, maka DAS mulai me-record data. Eksperimen dilakukan untuk setiap

perubahan sudut untai.

Perhitungan

Hasil pengamatan perbedaan temperatur pada *heater* dan *cooler* di konversikan menjadi densitas air untuk memperoleh perbedaan densitas air pada untai dari sifat fisik air, sehingga dapat digunakan untuk menghitung laju aliran massa air yang terjadi di dalam untai USSA FT-02, menggunakan korelasi (1).

$$\dot{m}^2 = \frac{2gH(\rho_c - \rho_h)\rho}{R} \dots\dots\dots(1),$$

Dengan \dot{m} (kg/s) adalah laju aliran massa air, H (meter) adalah ketinggian antara *cooler* dan *heater*, ρ (kg/m³) adalah massa jenis air dan R adalah resistensi hidrodinamika (m⁴). Hasil perkalian antara Q (m³/s) debit air dengan densitas air adalah laju aliran massa air, seperti yang diuraikan pada persamaan (2).

$$\dot{m} = Q\rho \dots\dots\dots(2),$$

dengan A (m²) luasan hidrodinamika, v (m/s) kecepatan aliran air Kemudian korelasi (1) disubstitusikan ke dalam persamaan (2), sehingga diperoleh persamaan (3), sebagai berikut;

$$v^2 = \frac{2gH(\rho_c - \rho_h)}{R\rho A^2} \dots\dots\dots(3),$$

persamaan (4) menunjukkan faktor gesek Fanning. Faktor gesek Darcy Weishbach (f_D) mempunyai besar empat kali faktor gesek fanning (f_f), sehingga ($f_D = 4f_f$) seperti pada persamaan (5).

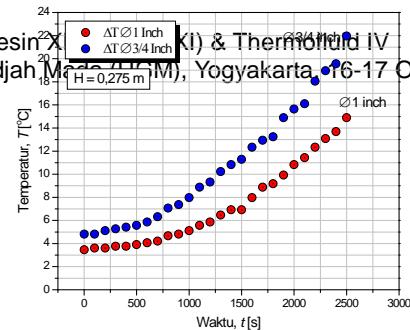
$$f_f = \frac{16\mu}{D\rho v} \dots\dots\dots(4),$$

$$f_D = \frac{64\mu}{D\rho v} \dots\dots\dots(5),$$

Kemudian harga resistensi termohidrolik ditunjukkan pada persamaan (6)[12].

$$R = \frac{64\mu L + K\rho v D^2}{\rho v A^2 D^2} \dots\dots\dots(6).$$

dengan L (meter) panjang total untai, D (meter) diameter dalam pipa. Untuk memperoleh kecepatan rata-rata yang terjadi di dalam untai adalah dengan mensubstitusikan persamaan (6) ke dalam persamaan (3), dengan menggunakan rumus abc diperoleh korelasi (7), sebagai berikut.



$$v = \frac{-64\mu L + \sqrt{(64\mu L)^2 + 8gHK\rho D^4(\rho_c - \rho_h)}}{2K\rho D^2} \quad (7).$$

Kerugian tekanan mayor adalah rugi tekanan akibat gesekan pada sistem aliran tube lurus yang dapat dihitung dengan persamaan(8).

$$\Delta P_{major} = 2f \frac{l}{d} \rho v^2 \dots\dots\dots(8),$$

dengan f faktor gesek. Selain kerugian tekanan akibat gesekan pada sistem aliran *tube* lurus, terjadi juga rugi tekanan akibat gesekan yang terjadi akibat adanya belokan, pelebaran dan penyempitan penampang, sambungan-sambungan, katup, dan aksesoris lainnya. Kerugian tekanan minor berdasarkan koefisien kehilangan adalah:

$$\Delta P_{min_or} = \rho K_L \frac{v^2}{2} \dots\dots\dots(9),$$

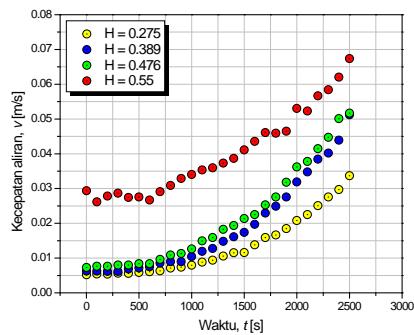
Dengan K_L koefisien kehilangan. Berdasarkan hal tersebut maka untuk menghitung kerugian tekanan (*pressure drop*) pada *loop* USSA FT-02 dapat di gunakan persamaan:

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{minor} + \Delta P_{major} \dots\dots\dots(10).$$

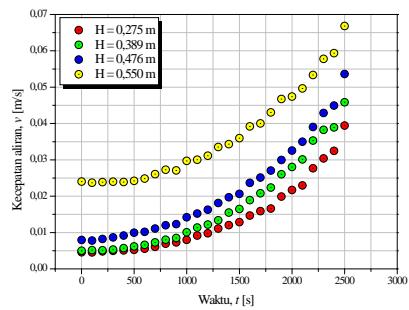
Pembahasan

Kecepatan aliran air

Berdasarkan data pengukuran perbedaan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler* seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7. Kemudian harga massa jenis air berdasarkan tabel sifat fisik air, lalu data tersebut dimasukkan ke dalam persamaan (7).



Gambar 2. Kecepatan aliran air berdasarkan waktu pada pipa diameter 1 Inchi

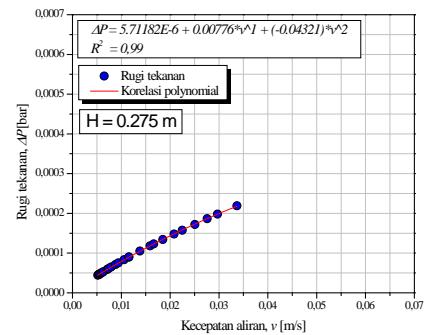


Gambar 3. Kecepatan aliran air berdasarkan waktu pada pipa diameter 0,75 Inchi

Gambar 2 dan Gambar 3 memiliki karakteristik yang berbeda sesuai dengan perubahan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler*. Stabilitas kecepatan aliran pada pipa diameter 1 Inchi (Gambar 7) rata-rata terjadi pada waktu 0 hingga 500 detik. Sedangkan pada waktu 500 hingga 2500 detik kecepatan naik drastis hingga mencapai 6.2×10^{-2} m/s yang terjadi pada ketinggian 0,55 yaitu ketinggian yang paling maksimal, sedangkan kecepatan terendah terjadi pada ketinggian 0,275 m yaitu 3×10^{-2} m/s. Hal tersebut sangat sesuai dengan Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 yaitu kenaikan perbedaan temperatur (ΔP).

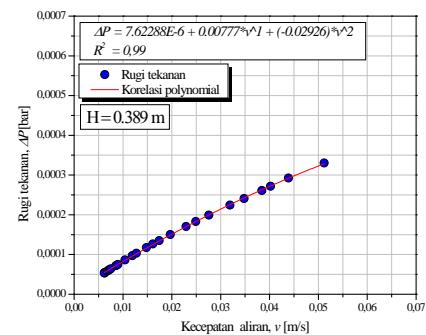
b. Rugi tekanan

Perhitungan rugi tekanan dilakukan dengan menggunakan persamaan (8), persamaan (9) dan persamaan (10) dengan memasukkan nilai koefisien gesek, massa jenis air dan kecepatan aliran air sebagai fungsi dari temperatur. Hasil perhitungan dari rugi tekanan pada pipa diameter 1 Inchi disajikan pada Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12 dan Gambar 13 berturut-turut untuk ketinggian 0,275 m, ketinggian 0,389, ketinggian 0,476 dan ketinggian 0,55 m, sedangkan rugi tekanan pada pipa diameter 0,75 Inchi disajikan pada Gambar 14, Gambar 15, Gambar 16 dan Gambar 17.



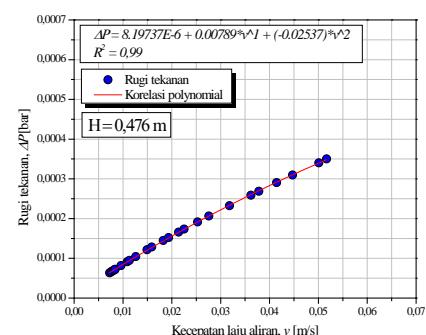
Gambar 4. Hubungan rugi tekanan terhadap kecepatan untuk ketinggian 0,275 m pada pipa diameter 1 Inchi

Berdasarkan Gambar 4 ditunjukkan, kecepatan yang timbul akibat perbedaan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler* akan berpengaruh pada rugi tekanannya. Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin tinggi pula rugi tekanan yang terjadi. Rugi tekanan yang semula 0,044 mbar naik menjadi 0,21 mbar.



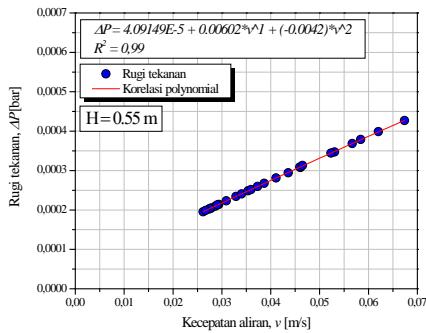
Gambar 5. Hubungan rugi tekanan terhadap kecepatan untuk ketinggian 0,389 m pada pipa diameter 1 Inchi

Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan, kecepatan yang timbul akibat perbedaan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler* akan berpengaruh pada rugi tekanannya. Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin tinggi pula rugi tekanan yang terjadi. Rugi tekanan yang semula 0,054 mbar naik menjadi 0,33 mbar.



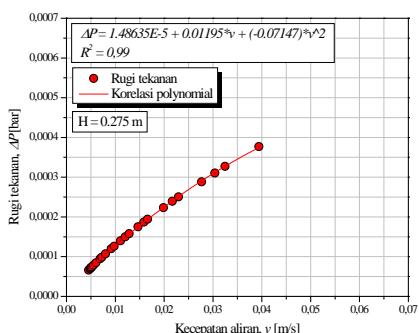
Gambar 6. Hubungan rugi tekanan terhadap kecepatan untuk ketinggian 0,476 m pada pipa diameter 1 Inchi

Berdasarkan Gambar 6 ditunjukkan, kecepatan yang timbul akibat perbedaan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler* akan berpengaruh pada rugi tekanannya. Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin tinggi pula rugi tekanan yang terjadi. Rugi tekanan yang semula 0,063 mbar naik menjadi 0,35 mbar. Perbedaan densitas air mempengaruhi kecepatan aliran, semakin tinggi densitas air maka semakin besar pula kecepatan alirannya terlihat bahwa rugi tekanan terus meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran air.



Gambar 7. Hubungan rugi tekanan terhadap kecepatan untuk ketinggian 0,55 m pada pipa diameter 1 Inchi

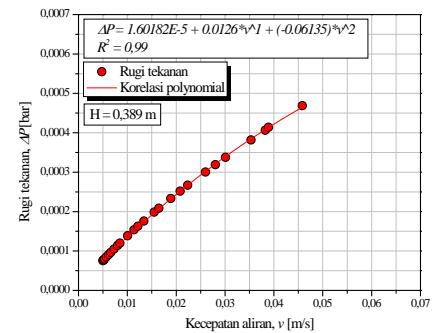
Berdasarkan Gambar 7 ditunjukkan, kecepatan yang timbul akibat perbedaan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler* akan berpengaruh pada rugi tekanannya. Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin tinggi pula rugi tekanan yang terjadi. Rugi tekanan yang semula 0,21 mbar naik menjadi 0,42 mbar.



Gambar 8. Hubungan rugi tekanan terhadap kecepatan untuk ketinggian 0,275 m pada pipa diameter 0,75 Inchi

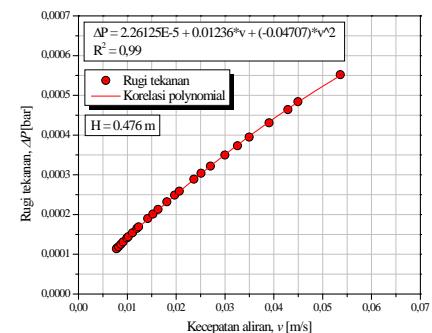
Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan, kecepatan yang timbul akibat perbedaan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler* akan berpengaruh pada rugi tekanannya. Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin tinggi pula rugi tekanan yang terjadi. Rugi tekanan yang semula 0,066 mbar naik menjadi 0,37 mbar. Perbedaan densitas air mempengaruhi kecepatan aliran, semakin tinggi densitas air maka semakin besar pula kecepatan alirannya terlihat bahwa

rugi tekanan terus meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran air.



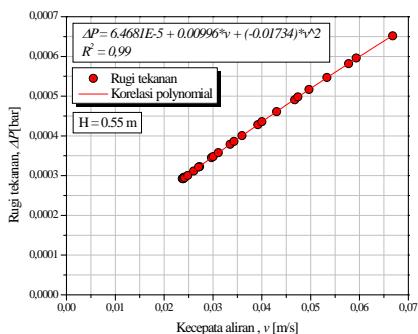
Gambar 9. Hubungan rugi tekanan terhadap kecepatan untuk ketinggian 0,389 m pada pipa diameter 0,75 Inchi

Berdasarkan Gambar 9 ditunjukkan, kecepatan yang timbul akibat perbedaan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler* akan berpengaruh pada rugi tekanannya. Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin tinggi pula rugi tekanan yang terjadi. Rugi tekanan yang semula 0,067 mbar naik menjadi 0,46 mbar. Perbedaan densitas air mempengaruhi kecepatan aliran, semakin tinggi densitas air maka semakin besar pula kecepatan alirannya terlihat bahwa rugi tekanan terus meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan aliran air.



Gambar 10. Hubungan rugi tekanan terhadap kecepatan untuk ketinggian 0,476 m pada pipa diameter 0,75 Inchi

Berdasarkan Gambar 10 ditunjukkan, kecepatan yang timbul akibat perbedaan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler* akan berpengaruh pada rugi tekanannya. Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin tinggi pula rugi tekanan yang terjadi. Rugi tekanan yang semula 0,11 mbar naik menjadi 0,55 mbar.

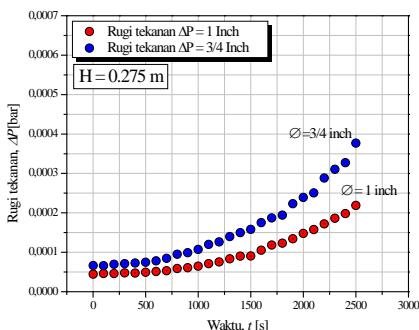


Gambar 11. Hubungan rugi tekanan terhadap kecepatan untuk ketinggian 0,55 m pada pipa diameter 0,75 Inchi

Berdasarkan Gambar 11 ditunjukkan, kecepatan yang timbul akibat perbedaan temperatur pada daerah *heater* dan *cooler* akan berpengaruh pada rugi tekanannya. Semakin tinggi kecepatan maka akan semakin tinggi pula rugi tekanan yang terjadi. Kasus serupa juga terjadi untuk ketinggian 0,275 meter, 0,389 meter, 0,476 meter dan 0,55 meter yaitu ketinggian yang memiliki nilai beda ketinggian (*H*) paling besar diantara ketinggian lainnya menyebabkan kenaikan kecepatan yang cukup signifikan, hal tersebut terjadi karena densitas air yang disebabkan oleh perpindahan kalor pada daerah *cooler* cukup besar sehingga menimbulkan perbedaan densitas pada daerah *heater* dan *cooler* yang cukup tinggi pula.

Perbandingan rugi tekanan

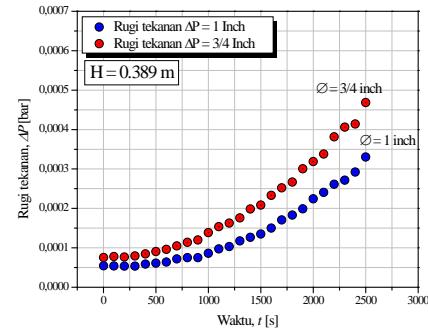
Perbandingan rugi tekanan digunakan untuk mengetahui perbandingan nilai rugi tekanan pada diameter pipa 1 Inchi dan pipa diameter 0,75 Inchi. Kurva perbandingan rugi tekanan antara pipa diameter 1 Inchi dengan pipa diameter 0,75 Inchi seperti disajikan pada Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 12. Perbandingan rugi tekanan terhadap waktu pada ketinggian 0,275 m

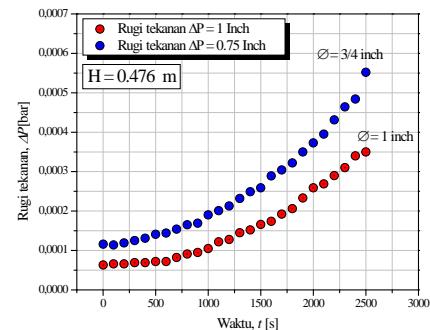
Berdasarkan Gambar 12 ditunjukkan, pada diameter pipa yang lebih kecil yaitu 0,75 Inchi, nilai

rugi tekanan nya lebih besar di bandingkan dengan pipa berdiameter lebih besar yaitu pipa berdiameter 1 Inchi. Hal tersebut dikarenakan pada pipa berdiameter 0,75 Inchi memiliki luas penampang yang lebih kecil dibandingkan dengan pipa diameter 1 Inchi, sehingga perpindahan kalor yang terjadi pun lebih besar sehingga menyebabkan perbedaan temperatur antara *heater* dan *cooler* yang besar pula yang berdampak pada kecepatan aliran yang terjadi lebih besar yaitu $4,5 \times 10^{-3}$ m/s.



Gambar 13. Perbandingan rugi tekanan terhadap waktu pada ketinggian 0,389 m

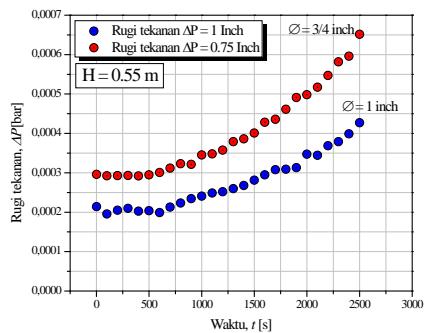
Berdasarkan Gambar 13 ditunjukkan, ketinggian 0,389 antara *heater* dan *cooler* menyebabkan nilai rugi tekanan yang ditimbulkan lebih besar pada diameter 0,75 Inchi di bandingkan dengan pipa berdiameter lebih besar yaitu pipa berdiameter 1 Inchi. Hal tersebut dikarenakan pada pipa berdiameter 0,75 Inchi memiliki luas penampang yang lebih kecil dibandingkan dengan pipa diameter 1 Inchi, sehingga perpindahan kalor yang terjadi pun lebih besar sehingga menyebabkan perbedaan temperatur antara *heater* dan *cooler* yang besar pula yang berdampak pada kecepatan aliran yang terjadi lebih besar yaitu 5×10^{-3} m/s. Selain kecepatan aliran yang tinggi, salah satu penyebab tingginya rugi tekanan pada pipa berdiameter 0,75 Inchi adalah faktor gesek yang relatif besar dibanding pada pipa diameter 1 Inchi.



Gambar 14. Perbandingan rugi tekanan terhadap waktu pada ketinggian 0,476 m

Berdasarkan Gambar 14 ditunjukkan, rugi tekanan pada diameter 0,75 Inchi lebih mendominasi tinggi dibandingkan dengan pipa berdiameter 1 Inchi. Hal

tersebut dikarenakan pada pipa berdiameter 0,75 Inch memiliki luas penampang yang lebih kecil dibandingkan dengan pipa diameter 1 Inch, sehingga perpindahan kalor yang terjadi pun lebih besar sehingga menyebabkan perbedaan temperatur antara *heater* dan *cooler* yang besar pula yang berdampak pada kecepatan aliran yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan pipa diameter 1 Inch.



Gambar 15. Perbandingan rugi tekanan terhadap waktu pada ketinggian 0,55 m

Berdasarkan Gambar 15 ditunjukkan, ketinggian 0,55 m antara *heater* dan *cooler* pada diameter pipa yang lebih kecil yaitu 0,75 Inch, nilai rugi tekanan yang ditimbulkan lebih besar di bandingkan dengan pipa berdiameter lebih besar yaitu pipa berdiameter 1 Inch. Hal tersebut dikarenakan pada pipa berdiameter 0,75 Inch memiliki perbedaan temperatur (ΔT) yang lebih besar akibat luas permukaan pada pipa berdiameter 0,75 Inch lebih kecil dibandingkan dengan pipa berdiameter 1 Inch, sehingga perpindahan kalor di daerah *heater* pada pipa berdiameter 0,75 Inch lebih cepat yang akan mempengaruhi temperatur pada *cooler* sehingga perbedaan temperatur (ΔT) yang timbul pada pipa berdiameter 0,75 Inch akan lebih besar daripada perbedaan temperatur (ΔT) pada pipa berdiameter 1 Inch. Selain perbedaan temperatur yang tinggi, salah satu penyebab tingginya rugi tekanan pada pipa berdiameter 0,75 Inch adalah kecepatan aliran air yang relatif besar dibanding pada pipa diameter 1 Inch yaitu yaitu $6,7 \times 10^{-2}$ m/s, semakin besar nilai kecepatan aliran air maka akan menyebabkan nilai rugi tekanan semakin besar seiring dengan kenaikan kecepatan aliran air. Rugi tekanan tertinggi terjadi pada pipa berdiameter 0,75 meter dengan perbedaan ketinggian antara *heater* dan *cooler* 0,55 meter yaitu 0,65 mbar.

Kesimpulan

Karakterisasi perubahan temperatur pada setiap perbedaan ketinggian menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dipengaruhi oleh perubahan waktu. Karakterisasi kecepatan aliran menyimpulkan bahwa semakin besar perbedaan temperatur (ΔT) pada *loop* akan mengakibatkan kecepatan aliran naik secara

signifikan, faktor densitas air, viskositas dan luas penampang adalah variabel yang menyebabkan kenaikan kecepatan. Nilai bilangan Reynolds untuk masing-masing diameter yaitu diameter 1 Inch dan 0,75 Inch menunjukkan bahwa aliran yang terjadi ialah laminar karena nilai bilangan Reynolds < 2300 dimana bilangan Reynolds terbesar terjadi pada pipa berdiameter 0,75 Inch dengan ketinggian 0,55 meter yaitu 1316,91. Nilai rugi tekanan yang terjadi pada *loop* USSA FT-02 disebabkan oleh adanya belokan, sambungan, katup, dan perbedaan luas penampang. Rugi tekanan meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan aliran air. Hasil perbandingan rugi tekanan menurut eksperimen antara pipa diameter 1 Inch dan pipa diameter 0,75 Inch menunjukkan deviasi yang tidak terlalu besar, hal ini menunjukkan bahwa rugi tekanan pada pipa berdiameter lebih kecil yaitu 0,75 Inch menyebabkan rugi tekanan yang cukup besar karena pengaruh perbedaan temperatur antara *heater* dan *cooler* dibandingkan dengan pipa berdiameter 1 Inch. Rugi tekanan tertinggi terjadi pada pipa berdiameter 0,75 Inch yaitu 65×10^{-4} bar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala lab. EDfEC untuk menyediakan fasilitas untuk riset, serta ketua jurusan Teknik Mesin dan para dosen untuk dukungan moril. Kepada asosiate riset lab EDfEC dan para rekan mahasiswa riset atas kerjasamanya kami capkan terima kasih. Terimakasih kepada Hibah Bersaing nasional DIKTI TA.2011 atas dukungan dananya.

Daftar simbol

A	Luas penampang (m^2)
d	Diameter dalam (m)
f	Koefisien gesek (-)
H	Ketinggian (m)
K_L	Koefisien kehilangan (m)
l	Panjang <i>loop</i> (m)
m	Massa (kg)
P	Tekanan (bar)
Re	Bilangan Reynolds (-)
T	Temperatur ($^{\circ}C$)
v	Kecepatan aliran (m/s)
ΔP_{major}	Rugi tekanan pada <i>tube</i> lurus (Pa)
ΔP_{minor}	Rugi tekanan akibat <i>fitting</i> dan katup (Pa)
ΔP_{total}	Rugi tekanan total (Pa)
μ	Viskositas dinamik fluida (kg/m.s)
ρ	Densitas fluida (kg/m.s)
R	Tahanan (m^4)

Daftar Pustaka

Juarsa, Mulya, dkk, *Analisis Aliran Sirkulasi alamiah Dengan Bilangan Reynolds Berdasarka Variasi Sudut Kemiringan Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah*, Engineering and Devices for Energy Conversion (EDfEC) Laboratory, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Bogor, 2011.

Juarsa, Mulya, dkk, *Studi Eksperimental Laju Aliran Massa Air Berdasarkan Perubahan Sudut Kemiringan Untai Pada Kasus Sirklesi Alamiah Menggunakan Untai Sirklesi Alamiah (USSA-FT01)*, Jurnal Material dan Energi Indonesia, Jursan Fisika FMIPA, Universitas Padjajaran Vol. 01, No. 01 (20011) 22-30.

F. D'Auria, et al., Insights Into Natural Circulation Stability, Dipartimento Di Ingegneria

Meccanica, Nucleare e Della Produzione Universita' di Pisa 56100 Pisa, Italy, IAEA Course on Natural Circulation in Water-Cooled Nuclear Power Plants, ICTP, Trieste, Italy, 25-29 June (2007).

M. Misale et al., Experiments in a single-phase natural circulation mini-loop, University of Genoa, Genoa, Italy (2006).

Setianto, Agus Putra, *Analisis Perpindahan Kalor Melalui Pipa SS304 Berdasarkan Pengukuran Temperatur Pada Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah*, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Bogor, 2010.

Vijayan P.K., *Experimental Validation And Database of Simple Loop Facilities, Reactor*