

OPTIMALISASI *FLOWMETER* DYNASONICS PADA FASILITAS EKSPERIMEN TERMOSIFON

Tresna Mustikasari¹, Bambang Heru², M. Hadi Kusuma^{2,3}

¹Mahasiswa FMIPA Fisika UNPAD Jatinangor

²Laboratorium Eksperimental Termohidrolika Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, BATAN

³Applied Heat Transfer Research Group, Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Depok

ABSTRAK

OPTIMALISASI *FLOWMETER* DYNASONICS PADA FASILITAS EKSPERIMEN TERMOSIFON. Flowmeter Dynasonics digunakan sebagai alat ukur laju alir pada fasilitas eksperimen termosifon dalam rangka pengembangan sistem keselamatan pasif pada PLTN. Untuk dapat digunakan, telah dilakukan optimalisasi pada alat tersebut karena adanya kerusakan pada sistem tampilannya. Optimalisasi dilakukan dengan menggunakan keluaran arus yang diberikan *Flowmeter Dynasonic* sehingga dapat dibaca oleh sistem akuisisi data *National Instruments* (DAS-NI). Hal ini dilakukan karena program aplikasi *Lab View* pada DAS-NI memerlukan persamaan karakterisasi untuk dapat menampilkan data laju alir berdasarkan arus yang diberikan *Flowmeter*. Pengujian untuk optimalisasi dilakukan dengan membandingkan hasil karakterisasi dan simulasi pada DAS-NI menggunakan kalibrator *Jofra. Error* pada pembacaan diperoleh dengan membandingkan persamaan karakterisasi dengan simulasi untuk masukan arus yang sama. Dari hasil karakterisasi dan pengujian yang dilakukan diperoleh persamaan karakterisasi $y = 177,1x - 871,0$ dan persamaan pengujian $y = 172,8x - 851,0$ dengan *error* relatif pembacaan sebesar 3,052297 %. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *Flowmeter Dynasonics* dapat dioptimalkan dengan menggunakan program *Lab View*.

Kata Kunci : termosifon, *flowmeter*, karakterisasi

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF DYNASONICS FLOWMETER ON THERMOSIPHON EXPERIMENTAL FACILITIES. Dynasonics Flowmeters was used as flowrate measurement instrumentation on the thermosiphon experimental facilities for the development of passive safety systems in Nuclear Power Plant. The reading optimization of the flowmeter has been done to correct reading malfunction in the system display. Reading optimization was performed using output current given by Dynasonics Flowmeter to be read by data acquisition system of National Instrument (DAS-NI). The reason was because Lab View application program on the DAS-NI needed characterization equation to show flowrate data based on output current of the flowmeter. Optimization testing was done by comparing both characterization results and simulation on DAS-NI using Jofra calibrator. Reading relative error was obtained by comparing the simulation results with the characterization of the equation for the same current input. From characterization and optimization testing results, characterization equation of $y = 177, 1 x - 871,0$ and $y = 172, 8 x - 851,0$ have been obtained with reading relative error of 2,974%. The optimization results show that Dynasonics flowmeters can be optimized by using Lab View program.

Keywords : thermosiphon, *flowmeter*, characterization

PENDAHULUAN

Kecelakaan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) Fukushima Daiichi yang diakibatkan oleh kejadian *station blackout* karena adanya gempa dan tsunami menjadi momen penting terhadap perkembangan disain sistem keselamatan nuklir saat ini. Dari kecelakaan tersebut didapatkan *lesson learn* yang berhubungan dengan disain sistem keselamatan, diantaranya adalah diperlukan sistem keselamatan pasif. Sistem keselamatan pasif ini digunakan untuk membantu membuang panas sisa hasil peluruhan yang dihasilkan ketika terjadinya *shutdown* dalam waktu yang lama akibat terjadinya *station blackout* atau sebab-sebab lain yang mengakibatkan sistem aktif tidak berfungsi. Namun sistem pasif tersebut harus sederhana dan dapat dijaga untuk dapat menanggulangi *severe accident*. Sistem pasif harus dapat digunakan dengan mudah untuk mencegah *human errors* dan kegagalan sistem karena ketiadaan pengukuran interpretasi kecelakaan.

Sistem keselamatan pasif memiliki prinsip dasar proses konveksi alami atau sirkulasi alami (*natural circulation*). Fenomena sirkulasi alamiah adalah fenomena yang muncul berdasarkan hukum-hukum fisika, dimana sirkulasi yang timbul secara alami tanpa menggunakan alat bantu seperti pompa. Sirkulasi alamiah timbul akibat perbedaan kerapatan fluida dan perbedaan ketinggian, salah satu penyebab terjadinya perbedaan kerapatan adalah perbedaan temperatur. Sirkulasi alami atau sistem pasif tersebut berguna untuk membantu membuang panas sisa

hasil peluruhan secara alami tanpa memerlukan sistem aktif seperti pompa dan peralatan yang terhubung dengan sumber listrik lainnya. Sejak tahun 2011 *International Atomic Energy Agency (IAEA)* telah membuat *coordinated research project (CRP)* yang difokuskan pada fenomena sirkulasi alami pada pendinginan *decay heat*.^[1]

Untuk mempelajari mengenai sistem keselamatan pasif yang akan diterapkan pada berbagai jenis reaktor masa depan, maka pengetahuan mengenai sistem yang menggunakan prinsip sirkulasi alamiah perlu dipelajari lebih lanjut dengan melakukan eksperimen termosifon di laboratorium Termohidrolika, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Sedikitnya terdapat tiga besaran yang akan digunakan dalam eksperimen ini, yaitu temperatur, tekanan dan laju alir. Ketiga besaran tersebut akan dihubungkan dalam suatu sistem komputasi untuk pengambilan data secara simultan dan *real time*. Untuk menunjang sistem akuisisi data pengukuran berbasis komputerisasi maka diperlukan karakterisasi dari setiap alat ukur yang digunakan dalam eksperimen. Alat yang digunakan untuk mengukur temperatur adalah termokopel tipe K, *Differential Pressure Transmitters (DPT)* untuk tekanan dan *Flowmeter Dynasonics* untuk laju alir. Adapun alat *Flowmeter Dynasonics* pada laboratorium Termohidrolika PTKRN mengalami kerusakan pada tampilannya namun masih dapat memberikan keluaran berupa arus. Untuk dapat digunakan dalam eksperimen,

digunakan dalam eksperimen, maka dilakukan kegiatan optimalisasi alat dengan cara karakterisasi berdasarkan keluarannya yang merupakan tujuan dari makalah ini. Karakterisasi yang diperoleh digunakan sebagai dasar perhitungan pada suatu sistem akuisisi data (*data acquisition system / DAS*) dan dicoba untuk ditampilkan menggunakan suatu program. Dengan demikian kerusakan tampilan pada alat dapat teratasi dan alat tersebut dapat digunakan kembali.

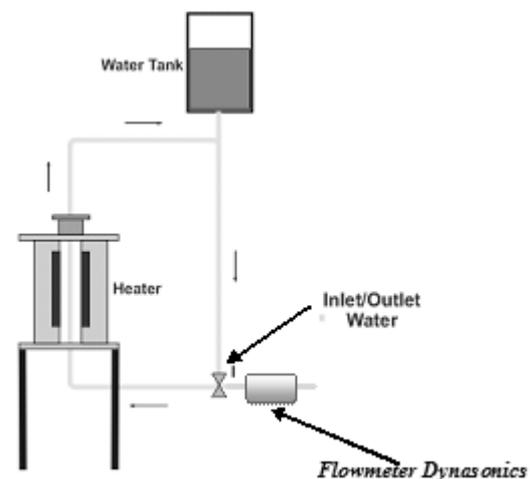
TEORI

Termosifon

Termosifon merupakan sarana eksperimen untuk mengetahui proses terjadinya sirkulasi alami yang dikembangkan dalam sistem keselamatan pasif. Menurut IAEA yang dikutip oleh Lu *et al.*, (2010) sirkulasi alami adalah fenomena aliran fluida dalam sebuah *loop* tertutup tanpa adanya gaya eksternal^[2]. Fasilitas yang disediakan oleh termosifon bisa digunakan untuk menganalisa besaran temperatur, laju alir dan tekanan. Variasi eksperimen bisa dikembangkan dengan memberikan perubahan pada daya *heater*, ketinggian *cooler*, dan perubahan geometri *tube*.

Konsep yang mendasari dari termosifon adalah perpindahan panas secara konveksi alami. Karakteristik yang berpengaruh pada konveksi alami adalah densitas. Ketika suatu fluida dikenai kalor, maka partikel-partikel penyusun fluida tersebut akan memiliki kecepatan kinetik yang tinggi. Akibatnya gaya ikat antar partikel semakin kecil dan menyebab-

kan jarak antara keduanya semakin jauh. Apabila terjadi demikian, pemuaian akan terjadi dan volume fluida tersebut semakin besar. Karena densitas adalah kerapatan massa per volume, maka ketika fluida dikenai kalor nilai densitas akan semakin kecil. Fluida yang densitasnya kecil akan bergerak ke atas, sebaliknya jika densitas besar maka akan bergerak ke bawah. Maka terjadilah sirkulasi alami akibat sifat densitasnya. Gambar 1 menunjukkan skema dari sarana eksperimen termosifon.

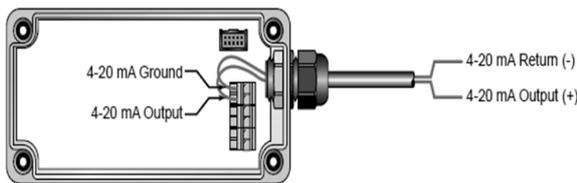


Gambar 1. Skema Sarana Eksperimen Termosifon

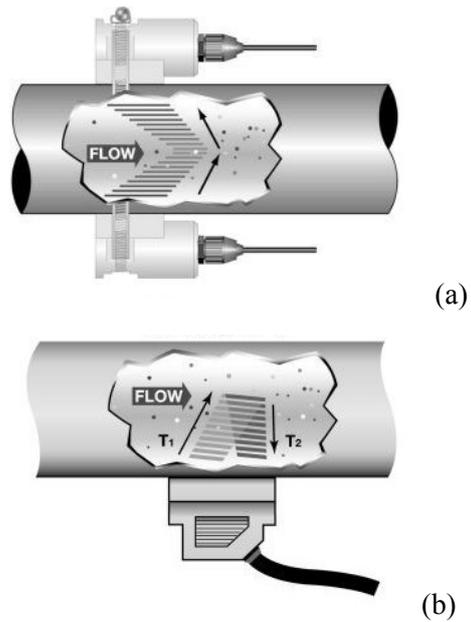
Prinsip Kerja Flowmeter Dynasonics

Flowmeter Dynasonisc adalah alat untuk mengukur besarnya laju alir dalam suatu *tube* atau pipa. Rentang keluaran arus yang diberikan adalah 4-20 mA. Keluaran berupa arus dapat dilihat pada Gambar 2. Alat ini memanfaatkan dua buah *transduser* yang berfungsi sebagai pemancar dan penerima ultrasonik^[3]. Ada dua jenis kepala *transduser*, yaitu kepala *transduser* yang menyatu dan kepala *transduser* yang terpisah. Untuk kepala

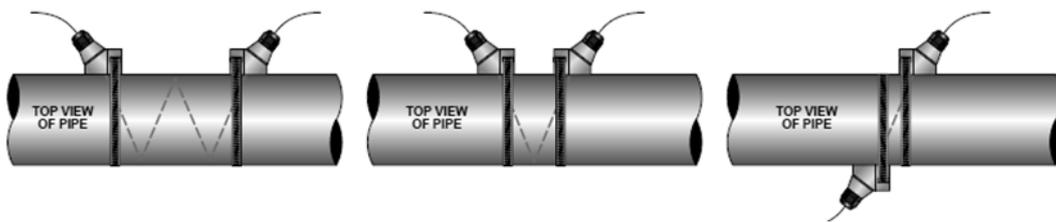
transduser yang terpisah, terdapat tiga tipe konfigurasi cara penempatan *transduser* pada pipa, yaitu tipe W, V dan Z. Gambar 3 dan Gambar 4 memperlihatkan perbedaan antara *transduser* yang menyatu dan terpisah serta jenis-jenis konfigurasi *transduser*-nya.



Gambar 2. Rentang keluaran arus *flowmeter* Dynasonics



Gambar 3. a) *Transduser* Terpisah dan b) *Transduser* Menyatu [4]



Gambar 4. Konfigurasi Tipe *Transduser* a) Tipe W, b) Tipe V dan c) Tipe Z [3]

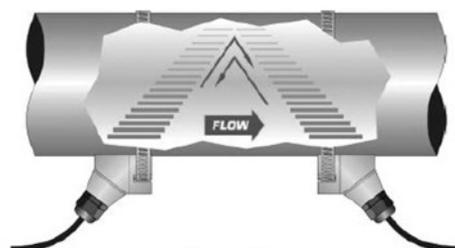
Sinyal ultrasonik tersebut dihasilkan oleh kristal piezoelektrik yang terkandung dalam kepala *transduser*. Gelombang ultrasonik ditransmisikan dari salah satu kristal ke dalam aliran fluida dan kemudian frekuensinya dicatat oleh *transduser* penerima [4]. Karena energi yang perjalanannya searah dengan aliran fluida lebih cepat dibandingkan dengan perjalanannya yang berlawanan aliran fluida, maka akan terjadi perbedaan waktu tempuh. Oleh karena itu kecepatan cairan (v) dalam pipa dapat dikaitkan dengan perbedaan waktu yang ada (dt) melalui persamaan berikut [3]:

$$v = \frac{(K \times D)}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

- K = konstanta
- D = jarak antar *transduser* (m)
- dt = perbedaan waktu tempuh (detik)

Gambaran mengenai adanya dua aliran gelombang yang berbeda arah bisa dilihat pada Gambar 5 untuk tipe konfigurasi *transduser* dengan waktu transit tipe V.



Gambar 5. Konfigurasi Waktu Transit untuk *Transduser* Tipe V [3]

Flowmeter Dynasonics yang ada di laboratorium Termohidrolika PTKRN BATAN merupakan *transduser* menyatu yang masih berfungsi dengan baik. Hanya saja mengalami kerusakan pada *display* hasil pengukuran, sehingga perlu dilakukan karakterisasi keluaran arus yang diberikan dengan menggunakan program Lab *View* agar bisa dioptimalkan penggunaannya.

METODOLOGI

Optimalisasi *Flowmeter* Dynasonics dilakukan dengan serangkaian kegiatan sebagai berikut:

1. Karakterisasi *Flowmeter* Dynasonics:

Tujuan karakterisasi adalah untuk mendapatkan persamaan keluaran yang akan dijadikan sebagai *input* awal dalam program Lab *View*.

2. Simulasi DAS dari *National Instrumentation* (DAS-NI) dengan kalibrator Jofra:

Tujuan simulasi adalah untuk mendapatkan persamaan perbandingan dari hasil simulasi yang dibaca menggunakan program Lab *View*.

3. Pengujian:

Tujuan pengujian adalah untuk membandingkan kedua persamaan yang didapatkan dari langkah 1 dan 2 di atas sehingga diketahui *error* relatifnya.

Tangki berisi air dialirkan melalui pipa yang telah dipasang *flowmeter* Dynasonics di atasnya. Dengan pemberian frekuensi pompa yang berbeda-beda dimulai rentang 0-10 Hz debit air dicari dengan menggunakan data jumlah volume air yang dihasilkan dalam waktu 10 detik. Arus yang terbaca oleh Jofra saat mencapai waktu 10 detik dicatat untuk mencari hubungan linieritas antara laju alir dengan keluaran arus. Untuk keakuratan data pengambilan data dilakukan masing-masing sebanyak tiga kali.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi *Flowmeter* Dynasonics

f (Hz)	rata-rata I (mA)	rata-rata V (ml)	Q (ml/detik)
0	5,607	1196,000	119,600
5	5,867	1725,000	172,500
6	5,947	1824,667	182,467
7	6,013	1920,667	192,067
8	6,123	2151,000	215,100
9	6,247	2354,333	235,433
10	6,333	2491,667	249,167

Dengan:

f = frekuensi pompa (Hz)

I = arus yang terbaca oleh Jofra (mA)

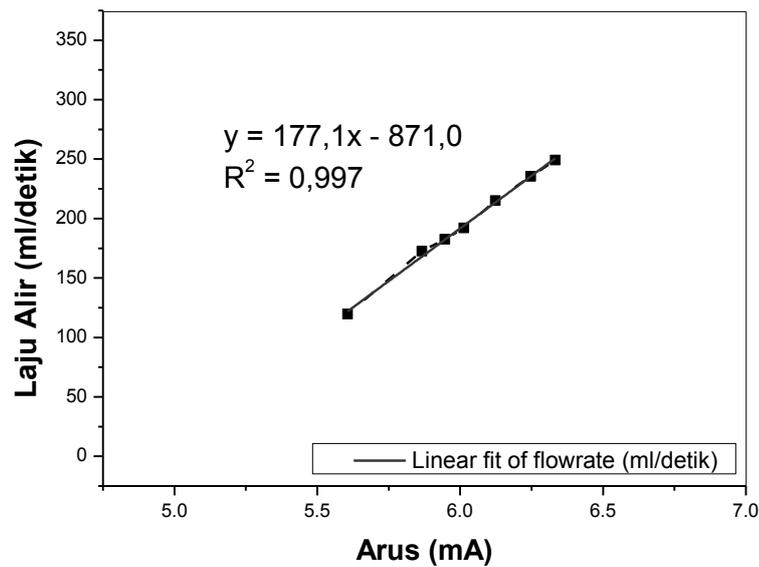
V = volume air yang dihasilkan dalam waktu 10 detik (ml)

Q = debit aliran air (ml/detik)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi *flowmeter* Dynasonics

Karakterisasi *flowmeter* Dynasonics dilakukan dengan cara pengukuran langsung. Hasil karakterisasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 6.

Gambar 6. Hasil karakterisasi *Flowmeter* Dynasonics

Dari data yang dihasilkan, dilakukan *fitting* terhadap data laju aliran air dan arus yang dibaca oleh Jofra. Dari *fitting* tersebut didapatkan persamaan karakterisasi *Flowmeter* Dynasonic yaitu $y = 177,1x - 871,0$, dimana y adalah laju aliran air (ml/detik) dan x adalah arus yang terbaca oleh Jofra (mA).

Simulasi DAS-NI dengan Kalibrator Jofra

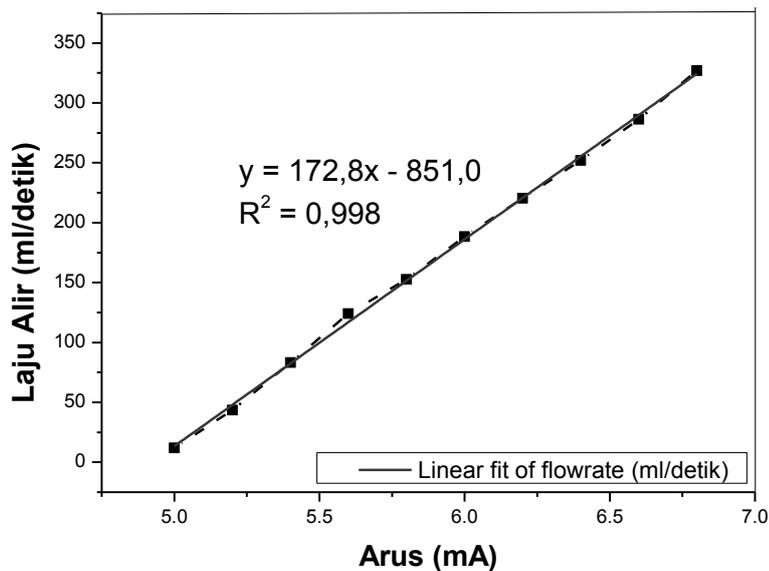
DAS-NI merupakan sebuah sistem akuisisi data pengukuran berbasis komputerisasi. Terdapat dua jenis masukan yang bisa digunakan oleh DAS-NI, yaitu arus dan tegangan. *Flowmeter* Dynasonics adalah alat ukur laju alir yang memberikan arus sebagai keluarannya. Sebelum arus keluaran tersebut digunakan dalam DAS-NI, maka perlu dilakukan karakterisasi dari *flowmeter* Dynasonics untuk mengetahui hubungan arus yang dikeluarkan dengan nilai laju alir yang terhitung.

Uji hasil karakterisasi dilakukan dengan

menggunakan metodologi pengujian simulasi kalibrasi menggunakan kalibrator Jofra pada DAS-NI. Nilai karakterisasi yang telah didapatkan dijadikan rujukan dalam pembuatan program *Lab View*. Kalibrator Jofra pada tahap ini berfungsi sebagai masukan arus yang diberikan pada DAS-NI dan terbaca oleh program *Lab View*. Tabel 2 dan Gambar 7 menunjukkan nilai yang didapatkan pada tahapan simulasi menggunakan DAS-NI.

Tabel 2. Hasil Simulasi DAS-NI

I (mA)	rata-rata Q (ml/detik)
5,0	11,807
5,2	43,527
5,4	83,233
5,6	124,00
5,8	152,517
6,0	188,270
6,2	220,370
6,4	252,073
6,6	286,373
6,8	326,890



Gambar 7. Hasil karakterisasi *flowmeter* Dynasonics menggunakan DAS-NI

Dari data yang dihasilkan, dilakukan *fitting* terhadap data laju aliran air terhadap arus yang dibaca oleh kalibrator Jofra sehingga didapatkan persamaan karakterisasi $y = 172,8x - 851,0$.

Pengujian

Pada tahap pengujian dilakukan perhitungan *error* relatif dengan membandingkan antara nilai pengukuran dan pembacaan oleh DAS-NI. Dengan demikian didapatkan nilai *error* antara keduanya dengan menggunakan persamaan (2).

$$error = \left| \frac{(\text{nilai simulasi} - \text{nilai pengukuran})}{\text{nilai pengukuran}} \right| \times 100\% \quad ..(2)$$

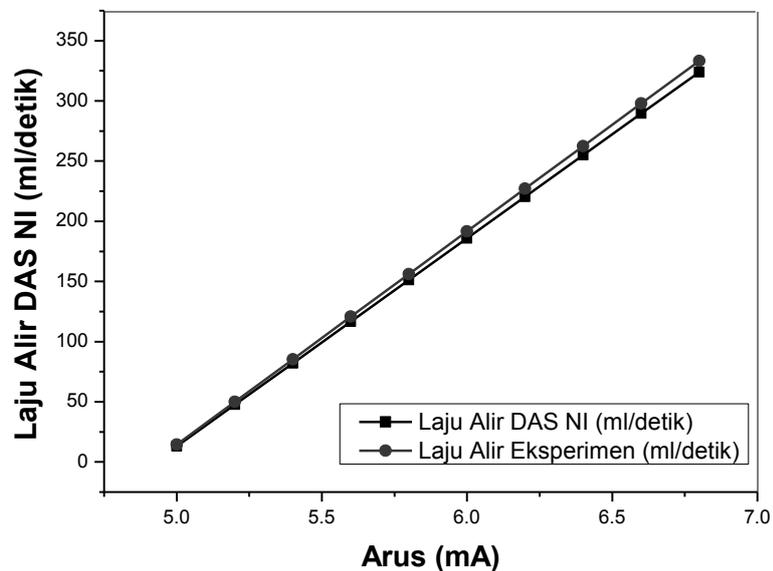
Dalam hal ini nilai sebenarnya adalah nilai hasil pengukuran dan nilai simulasi adalah nilai dari uji coba DAS-NI. Perbandingan antara nilai pengukuran dan pembacaan DAS-NI dan hasil dari perhitungan *error* yang dila-

kukan bisa dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 8 pada halaman selanjutnya.

Dari pengujian diatas dapat dilihat bahwa hasil karakterisasi laju aliran secara eksperimen dan laju aliran DAS-NI memiliki linearitas yang hampir sama, namun memiliki kemiringan yang sedikit berbeda. Kemiringan yang berbeda ini menunjukkan *error* relatif antara keduanya, yaitu rata-rata sebesar 3,052297 %. Dari Tabel 3 maupun Gambar 8 terlihat semakin besar arus yang diberikan, semakin besar pula *error* yang didapatkan.

Tabel 3. Nilai *Error* untuk Nilai Arus yang Berbeda

No	I (mA)	Q (ml/detik)		<i>Error</i>
		Pengukuran ($y = 177,1x - 871,0$)	DAS NI ($y = 172,8x - 851,0$)	
1	5	14,5	13	10,34483
2	6	191,6	185,8	3,02714
3	7	368,7	358,6	2,739354
4	8	545,8	531,4	2,638329
5	9	722,9	704,2	2,586803
6	10	900	877	2,555556
7	11	1077,1	1049,8	2,534584
8	12	1254,2	1222,6	2,519534
9	13	1431,3	1395,4	2,508209
10	14	1608,4	1568,2	2,499378
11	15	1785,5	1741	2,492299
12	16	1962,6	1913,8	2,486498
13	17	2139,7	2086,6	2,481656
14	18	2316,8	2259,4	2,477555
15	19	2493,9	2432,2	2,474037
16	20	2671	2605	2,470985
rata-rata				3,052297



Gambar 8. Perbandingan Antara Nilai Pengukuran dan Pembacaan DAS-NI

KESIMPULAN

Flowmeter Dynasonic telah berhasil dikarakterisasi dengan hasil akhir $y = 177,1x - 871,0$ yang menunjukkan hubungan antara y sebagai laju alir (ml/detik) dan x sebagai arus (mA). Karakterisasi ini kemudian digunakan dalam pembuatan program *Lab View* dan setelah dilakukan simulasi didapatkan persamaan linear yang baru $y = 172,8x - 851,0$. *Error* relatif rata-rata yang dihasilkan untuk rentang arus 4-20 mA adalah 3,052297 %. Dengan demikian pembacaan laju alir secara manual pada alat *Flowmeter* Dynasonic dapat digantikan dengan penggunaan program *Lab View* pada DAS-NI sehingga penggunaan alat tersebut lebih optimal selama eksperimen termosifon.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada staf Laboratorium Termohidrolika PTKRN BATAN dan teman-teman Teknik Mesin Universitas Ibnu Qaldun yang telah membantu dalam pelaksanaan eksperimen dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. CHOI, J.-H., J. CLEVELAND, and N. AKSAN, "Improvement in understanding of natural circulation phenomena in water cooled nuclear power plants", *Nuclear Engineering and Design*, **241**(11), p. 4504-4514, 2011.
2. LU, D., Z. XIAO, and B. CHEN, "A new method to derive one set of scaling criteria for reactor natural circulation at single and two-phase conditions," *Nuclear Engineering and Design*, **240**(11), p. 3851-3861, 2010.
3. *Dynasonics TFXL Series Ultrasonic Flowmeter*. [cited 2014 29 April]; Available from: www.instrumart.com.
4. *Doppler Ultrasonic Flowmeters*. [cited 2014 29 April]; Available from: www.dynasonics.com.